

RIMAX

→ Risikomanagement extremer
Hochwasserereignisse

Ergebnisse aus der Hochwasser- forschung

RIMAX

→ Risikomanagement extremer
Hochwasserereignisse

Ergebnisse aus der
Hochwasserforschung

Inhalt

- VORWORT → 5
- 01 KONSEQUENZEN AUS DER FLUT → 7
- 02 LEHREN AUS DER GESCHICHTE → 11
 - Risikomanagement* → 13
 - 02.1 Fluten in der Statistik → 14
 - Jahrhundert- und Jahrtausendfluten* → 15
 - 02.2 Historische Hochwasser am Neckar → 16
 - 02.3 Elbe und Unstrut → 17
- 03 GEFAHR UND RISIKO → 19
 - 03.1 Rechnen mit der Unsicherheit → 24
 - Hochwasser im Computer* → 25
 - 03.2 Wichtige Quellregion → 25
 - Warnen vor der Flut* → 26
 - 03.3 Vorhersagen des Hochwassers → 28
 - 03.4 Vom Niederschlag zum Hochwasserschaden → 29
 - Gefährdung und Risiko* → 30
 - 03.5 Vorhersagen für Klimaszenarien → 30
 - IPCC* → 31
 - Hochwasserrisikokarten* → 33
 - Digitales Geländemodell* → 34
 - 03.6 Polderbewirtschaftung im Modell → 35
 - 03.7 Niederschlag im Rechner → 36
 - 03.8 Dessau und die Muldemündung → 37
- 04 DAS ERBE DER FLUTEN: SCHWERMETALLE, PESTIZIDE, WASSERSCHÄDEN → 41
 - 04.1 Der Blick aus dem All → 43
 - 04.2 Giftige Fracht → 45
 - 04.3 Hochwasserschutz und Trinkwassergewinnung → 47
 - 04.4 Schwermetall und Sonnenblumen → 50
 - 04.5 Gebäude unter Wasser → 52
 - 04.6 Gefahr von unten → 54
 - Technischer Hochwasserschutz* → 56
- 05 TECHNIK GEGEN DIE FLUTEN → 57
 - 05.1 Blick in den Deich → 61
 - 05.2 Wo droht der Bruch? → 62
 - 05.3 Mit Textilien und PVC-Rohren gegen Hochwasser → 64
 - 05.4 Risiko Staudamm → 66
 - 05.5 Was nützen Talsperren und Polder? → 66
 - 05.6 Der Wasser-Kompromiss → 69
- 06 NACH DER FLUT IST VOR DER FLUT: VORSORGEN UND BEWÄLTIGEN → 71
 - 06.1 Retentionsvermögen natürlicher Gewässer → 73
 - Retention – natürliches Rezept gegen Hochwasserspitzen* → 73
 - 06.2 Schwachstellen im Hochwassermanagement → 74
 - Der Transfer in die Praxis* → 76
 - 06.3 Kommunale Hochwasserpartnerschaft Elbe – Die Zukunft der Elbe → 76
 - 06.4 Alarmieren oder abwiegeln? → 77
 - Flusshochwasser, Sturmfluten, Sturzfluten* → 80
 - 06.5 Entscheidungshilfe für Flutmanager → 80
 - 06.6 Spezialfall Sturzflut → 81
 - 06.7 Klimawandel an der Küste → 85
- ANHANG
 - Projekte → 93
 - Bilder → 99

Vorwort

Große Hochwasserereignisse bedrohen seit alters her Menschen und ihren Besitz. Um sich vor diesen Gefahren zu schützen, hat die Gesellschaft im Laufe der Jahrhunderte immer aufwendigere Maßnahmen ergriffen. Trotz dieser Anstrengungen gefährden Hochwasser weiterhin Menschen, Sachwerte, die Landwirtschaft und die Umwelt. Ein katastrophales Hochwasser mit ca. 12 Mrd. € Schaden allein in Deutschland ereignete sich im Sommer 2002 in den Einzugsgebieten von Elbe und Donau.

Zur wirksamen Verbesserung bei der Gefahrenabwehr als auch bei der Vermeidung von Hochwasserrisiken hat die Bundesregierung nach dem Hochwasser 2002 ein 5-Punkte-Programm aufgestellt. Das besteht aus einem gemeinsamen Hochwasserschutzprogramm von Bund und Ländern, flussgebietsbezogenen länderübergreifenden Aktionsplänen, der verstärkten europäischen Zusammenarbeit, der Überprüfung des Flussausbaus mit der Entwicklung einer umweltfreundlichen Schifffahrt sowie aus Sofortmaßnahmen zum Hochwasserschutz zur Beseitigung der Hochwasserschäden nach der Elbeflut 2002.

Um mit wissenschaftlich fundierten Methoden und Werkzeugen für ein modernes Risikomanagement einen Beitrag zu diesem 5-Punkte-Programm der Bundesregierung zu leisten, hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung [BMBF] die Förderaktivität *Risikomanagement extremer Hochwasserereignisse*, kurz RIMAX, ins Leben gerufen. Seit Anfang 2005 arbeiten 38 Projekte im Rahmen dieser Förderaktivität. Bis zu 25 Millionen Euro stehen dafür zur Verfügung. Wichtige Aspekte sind Anwendungsorientierung und Transdisziplinarität, also der Versuch, die wissenschaftlichen Arbeiten in das gesellschaftliche Problemumfeld einzubetten. Deshalb sind in allen RIMAX-Projekten die für den Hochwasserschutz zuständigen Behörden involviert. Inhaltlich und organisatorisch werden die Projekte von einer Koordinierungsstelle am Deutschen GeoForschungsZentrum [GFZ] in Potsdam begleitet. Hier werden Synergieeffekte über Länder- und Staatsgrenzen hinweg zu nationalen und europäischen Forschungsaktivitäten hergestellt und das Programm und seine Ergebnisse in der Fachwelt und im politischen Raum präsentiert.



Prof. Dr. Dr. h.c. Reinhard Hüttl
*Wissenschaftlicher Vorstand des
Helmholtz-Zentrums Potsdam,
Deutsches GeoForschungsZentrum[GFZ]*

RIMAX widmet sich folgenden Fragen: Wie sehen integrative Konzepte im Hochwassermanagement aus, die auf das jeweilige Risiko zugeschnitten einen nachhaltigen Schutz bieten? Wie müssen die traditionellen Vorsorgesstrategien vor dem Hintergrund des globalen Wandels weiterentwickelt werden? Welche innovativen Verfahren erhöhen die Sicherheit technischer Schutzanlagen? In welcher Form können die Projektergebnisse den Betroffenen vermittelt werden?

Die vorliegende Broschüre soll helfen, die Ergebnisse von RIMAX einer interessierten Öffentlichkeit näher zu bringen.



Prof. Dr. Dr. h.c. Reinhard Hüttl
*Wissenschaftlicher Vorstand des Helmholtz-Zentrums Potsdam,
Deutsches GeoForschungsZentrum[GFZ]*



01

Konsequenzen aus der Elbe-Flut

In fast jedem Jahr ereignen sich auf der ganzen Welt große Überschwemmungen. Auch in Deutschland kam es in den vergangenen Jahren immer wieder zu großen Hochwassern.

Anfang August 2002 lösten extreme Niederschläge in den Alpen sowie im Erzgebirge und Riesengebirge schwere Überschwemmungen und verheerende Schlammlawinen in Deutschland, Österreich, Polen, Tschechien und Italien aus. In Zinnwald im Osterzgebirge maßen die Meteorologen am 12. August 2002 mit 312 Litern Regen auf jeden Quadratmeter die höchsten Niederschlagsmengen innerhalb von 24 Stunden, die jemals in Deutschland registriert wurden.



→ ABB. 1 Blick von der Brühlischen Terasse in die Münzgasse während des Hochwassers in Dresden.

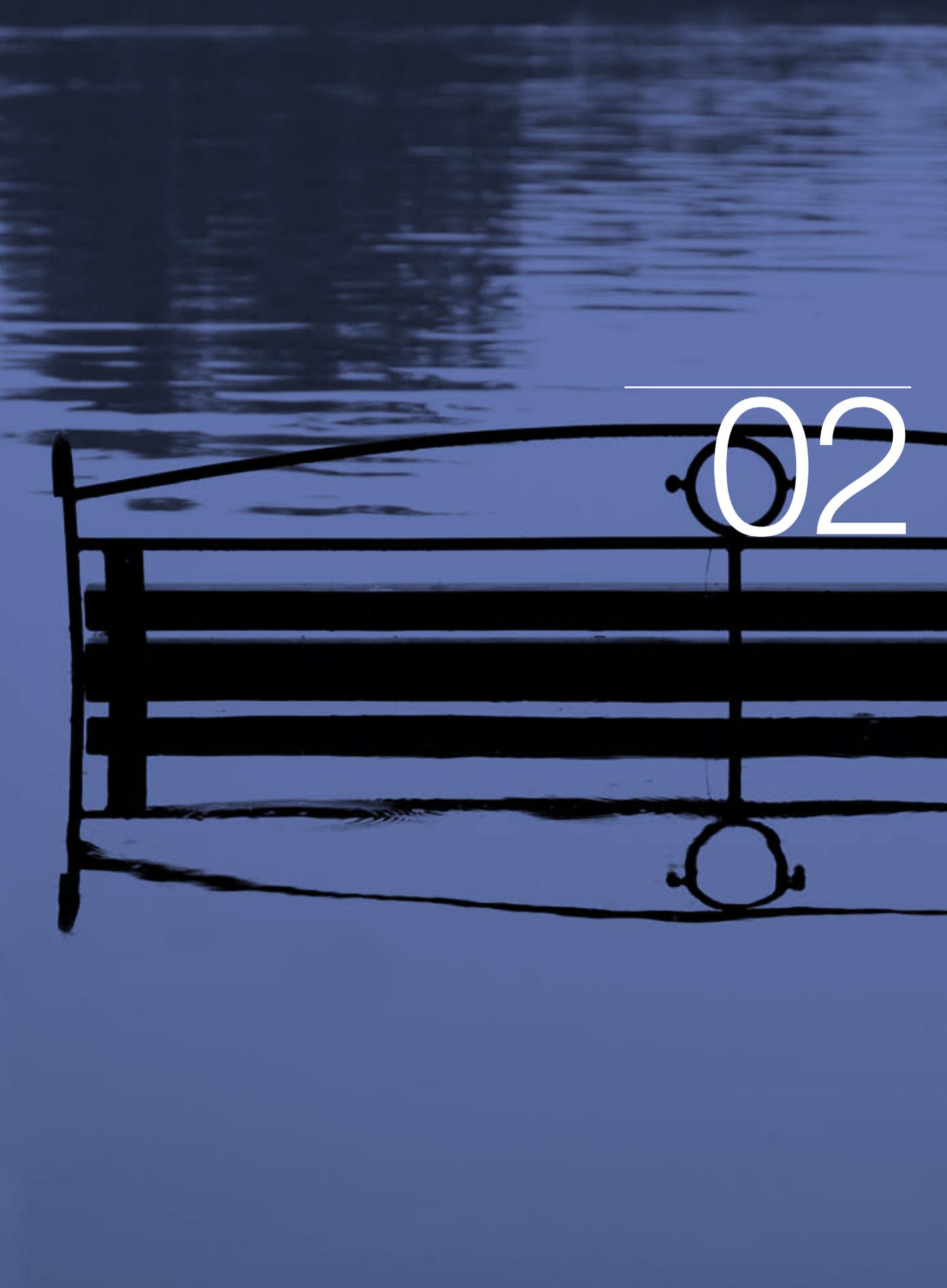
Die Weißeritz ist ein Zufluss der Elbe, der in Dresden in die Elbe mündet. Als dort 1893 die Eisenbahn gebaut wurde, verlegten die Ingenieure kurzerhand die Mündung des Flusses in die Elbe, um Bauland für den Hauptbahnhof zu gewinnen. Mehr als hundert Jahre später hatten die Dresdner längst vergessen, wo einst die Weißeritz floss. Die Rekordniederschläge am 12. August 2002 aber ließen nicht nur die Müglitz und andere Gewässer aus dem Erzgebirge in wenigen Stunden auf ein Vielfaches ihrer ursprünglichen Größe anwachsen, sondern auch die Weißeritz. In Dresden aber fasste das beim Eisenbahnbau entstandene neue Flussbett die Wassermassen nicht mehr, mit 450 Kubikmetern in der Sekunde schoss mehr Wasser durch den Seitenfluss als bei normalen Pegeln in der Elbe fließen. Das Hochwasser kehrte nicht nur in das ursprüngliche Bett der

Weißeritz zurück, sondern überflutete auch andere, tief gelegene Gebiete, die einst natürliche Überschwemmungsflächen des Gewässers waren. Jetzt aber gab es dort Häuser und Straßen, durch die das Hochwasser floss. Es ging ein Bild um die Welt, auf dem ein halb in den Fluten versunkener roter Regionalexpress der Deutschen Bahn vor dem Dresdener Hauptbahnhof steht.

Auch andere Gemeinden in den Tälern des Erzgebirges traf es, oft war mangelnde Vorbereitung der Grund, erinnert sich der Bürgermeister der Stadt Colditz im Muldetal Manfred Heinz: *»Erst konnten wir nirgends Säcke auftreiben, dann gab es keinen Sand. Und als wir beides organisiert hatten, fehlten die Schaufeln.«* Prompt überflutete der Fluss Mulde die Stadt – und lieferte weitere Katastrophenbilder für die Medien der Welt.

Es war bei weitem nicht das letzte Bild, das von der Elbeflut gezeigt wurde. Die Extremniederschläge waren auch im Einzugsgebiet der Elbe in Tschechien gefallen. Langsam verlagerte sich die Hochwasserkatastrophe dann nach Deutschland. Nach der Weißeritz wenige Tage vorher traf jetzt die zweite Flutwelle Dresden, mit 9,40 Metern erreichte die Elbe dort am 17. August 2002 nie zuvor gemessene Wasserstände. Sandsackbarrieren verhinderten erst einmal, dass die Fluten sich oberirdisch den Weg Richtung Semperoper und Zwinger bahnten.

Hochwasser gelten neben Stürmen als schlimmste Naturkatastrophen in Deutschland. 1997 traf es zum Beispiel die Oder. Die Anwohner des Rheins und der Donau, sowie ihrer Nebenflüsse mussten allein in historischer Zeit mehrmals mit ansehen, wie Hochwasser ihre Täler verwüsteten. Klimaforscher sind sich einig, dass der Klimawandel Extremniederschläge wie im August 2002 häufiger auftreten lassen wird. Zudem konzentrieren sich in den gefährdeten Gebieten heute um das Vielfache höhere Werte als noch vor wenigen Jahrzehnten. Da sich solche Extremereignisse kaum verhindern lassen, muss man ihre Folgen mindern. Aus diesem Grund hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung [BMBF] das Forschungsprogramm RIMAX ins Leben gerufen. In 39 Projekten untersuchen Wissenschaftler und Ingenieure in Deutschland unter diesem Kürzel, wie ein *Risiko-management extremer Hochwasserereignisse* aussehen soll.



02

Lehren aus der Geschichte

Ein Risikomanagement funktioniert nur dann zuverlässig, wenn bereits vorher die möglichen Gefahren bekannt sind und man sich so auf diese vorbereiten kann.

Doch woher weiß man, welche Wetterlagen ein Hochwasser auslösen und wie stark es anschwellen oder wie lange die Katastrophe dauern kann?



An der Müglitz konnte sich schließlich niemand an ein ähnlich katastrophales Hochwasser wie im August 2002 erinnern. Der Dresdner Hauptbahnhof wurde 1898 eröffnet und stand bis zur Flut 2002 nicht unter Wasser. Auch an der Elbe stieg der Wasserstand am Pegel Dresden auf vorher nie gemessene 9,40 Meter. Kann man die Stärke extremer Hochwasser also vielleicht gar nicht kalkulieren?

02

RISIKOMANAGEMENT

Einen absoluten Schutz vor Hochwasser wird es auch in Zukunft nicht geben. Daher müssen die Verantwortlichen und die potentiell Betroffenen sich mit den Risiken von Hochwasser auseinandersetzen: Mit welchen Risiken ist überhaupt zu rechnen? Welche Schäden können Hochwasser anrichten und wie wahrscheinlich sind sie? Was muss getan werden, wenn ein solcher Schaden eintritt? Sind diese Fragen beantwortet, wird bewertet, wie mit den Risiken umzugehen ist und ob sie zur reduzieren sind.

Das »Risikomanagement« ist also die systematische Erfassung und Bewertung von Risiken und die Steuerung von Reaktionen auf diese festgestellten Risiken. In den Dialog über diese Risiken müssen alle Beteiligten einbezogen werden. Es bleibt jedoch immer ein Restrisiko bestehen: Wer sich auf ein Jahrhunderthochwasser gut vorbereitet hat, den kann ein Jahrtausendhochwasser trotzdem treffen. Auch bei optimaler Vorbereitung kann menschliches Versagen zu einer Katastrophe führen, weil zum Beispiel ein Beteiligter falsch reagiert. Nur ein Teil dieses Risikomanagements ist das Katastrophenmanagement, das sich mit der richtigen Reaktion auf eine Katastrophe auseinandersetzt, die trotz aller Vorbereitungen eingetreten ist.

Erst seit etwas mehr als hundert Jahren werden Niederschlag und Hochwasser mit modernen Instrumenten großflächig beobachtet, die relativ genaue Daten liefern. Auf diesen Zeitraum konzentriert sich daher der größte Teil des heutigen Wissens um die Hochwasserentstehung.

Von anderen Naturkatastrophen ist jedoch längst bekannt, dass sich ähnliche Ereignisse oft erst nach einem viel längeren Zeitraum wiederholen. Erdbebenforscher zum Beispiel kennen Regionen, in denen ein schweres Beben erst tausend oder mehr Jahre nach der letzten Katastrophe *wieder kehrt*. Bei Supervulkanen wie dem Yellowstone-Gebiet in den USA gehen Geowissenschaftler sogar von Perioden von mehreren Hunderttausend Jahren aus, in denen der Supervulkan relativ ruhig bleibt, bevor die nächste gigantische Eruption große Teile Nordamerikas verwüstet. Könnten also nicht manche Hochwasser-Typen viel längere Wiederkehr-Intervalle haben als die hundert Jahre, die man heute sehr zuverlässig überblicken kann?

→ ABB. 2 Hochwasser der Weißeritz nach Überlauf der Malter Talsperre



02.1

FLUTEN IN DER STATISTIK

Um die Gefahr des Hochwassers richtig einschätzen zu können, ist ein Vergleich des Elbehochwassers vom August 2002 mit früheren Ereignissen notwendig. Beim Elbehochwasser vom August 2002 flossen 4500 Kubikmeter Wasser in jeder Sekunde flussabwärts. »*Ein nie da gewesener Rekord*«, titelte so manche Zeitung oder Nachrichtensendung.

Beim Vergleich der August-Fluten mit anderen Hochwassern, die zwischen 1936 und 2002 in Dresden auftraten, scheint es sich tatsächlich um ein sehr seltenes Ereignis zu handeln: Etwa alle tausend Jahre sollte sich ein Hochwasser wie im August 2002 wiederholen, zeigt die auf diesen Daten basierende Statistik.

Die oft bemühte Schlagzeile von der *Jahrtausendflut* scheint die Sache also durchaus zu treffen. Vergleicht man diese Katastrophe aber mit einem anderen Zeitraum, nämlich den Jahren 1901 bis 2002, schrumpft die angebliche Jahrtausendflut bereits zu einem Ereignis, das so alle 200 bis 400 Jahre einmal zu erwarten ist. Da in Dresden die Messungen

noch weiter zurückreichen, kann man auch mit dem Zeitraum von 1879 bis 2002 vergleichen – und schon wird die Jahrtausendflut zu einer Jahrhundertflut, die laut Statistik alle 100 bis 150 Jahre in dieser Stärke auftritt.

JAHRHUNDERT- UND JAHRTAUSENDFLUTEN

Eine »Jahrhundertflut« nennen Experten die Abflussmenge eines Gewässers, die durchschnittlich nur einmal alle hundert Jahre erreicht oder überschritten wird. Dieser Wert hat auch praktische Bedeutung, weil auf seiner Basis beispielsweise die Dimensionen von Brücken und Hochwasserschutzanlagen geplant werden. Für noch größere und damit seltenere Hochwasser gibt es entsprechend auch den Begriff der »Jahrtausendflut«.

Allerdings handelt es sich in beiden Fällen nur um statistische Durchschnittswerte. Die Jahrhundertflut tritt also nicht nach genau hundert Jahren wieder auf. Sie kann zum Beispiel in den ersten 200 Jahren fünf Mal wiederkehren, danach könnten fünf Jahrhunderte ohne Hochwasser kommen, während in den letzten drei Jahrhunderten noch mal fünf Jahrhundertfluten registriert werden.

An diesem Beispiel wird deutlich: Je länger eine Messreihe ist, umso zuverlässiger wird die mit ihrer Hilfe erstellte Statistik – zumindest bei gleich bleibenden Randbedingungen. Gravierende Veränderungen wie der Klimawandel müssen bei der Interpretation der Werte natürlich berücksichtigt werden.

Doch wer die heutige und zukünftige Hochwassergefahr an einem Fluss einschätzen will, braucht möglichst viele Daten aus der Vergangenheit. Dafür ist ein Blick in die Hochwassergeschichte sehr hilfreich. Schließlich haben die Menschen auch früher schon Naturereignisse recht gut aufgezeichnet, meist mit anderen Instrumenten und manchmal auch mit einem anderen Maßstab. Die alten Aufzeichnungen müssen also in moderne Werte *umgerechnet* werden, um vergleichbar zu sein. Pegelwerte des beginnenden 19. Jahrhunderts stimmen zum Beispiel nur selten mit den Wasserständen des beginnenden 21. Jahrhunderts überein, weil seither die Flüsse vielerorts reguliert, eingedeicht, aufgestaut und kanalisiert wurden. Wenn sich ein Gewässer daher früher bei Hochwasser auf eine Breite von zwei Kilometern ausweiten konnte, lassen ihm die Deiche heute vielleicht nur noch 400 Meter Platz. Also messen die Pegel heute höhere Wasserstände, wenn die gleiche Wassermenge wie früher durchfließt.

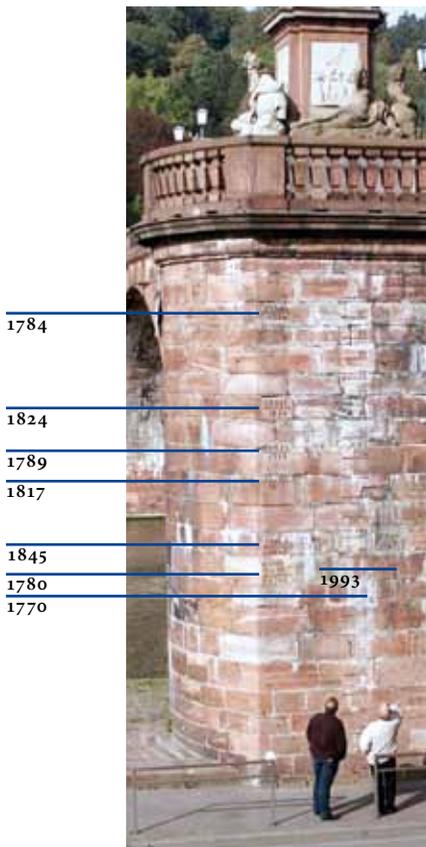
02.2

HISTORISCHE HOCHWASSER AM NECKER

Der heutige Hochwasserschutz steht immer noch vor dem Problem einer verlässlichen Einschätzung wie hoch das Risiko von Hochwassergefahren an Flüssen ist. Zum einen herrscht Unklarheit darüber wie häufig extreme Hochwasser wiederkehren und zum anderen wie stark die extremen Hochwasser dann sein können. Der Grund sind zu kurze Betrachtungszeiträume, die häufig nur bis 1950 zurückreichen, um belastbare Vergleiche und Aussagen über das Hochwasserverhalten eines Flusses treffen zu können. Hier bietet die Integration historischer Hochwasser in den aktuellen Hochwasserschutz eine verbesserte Bewertungsmöglichkeit des Risikos und einen sichereren Umgang mit zukünftigen Hochwassern. Im Projekt *Xfloods* [→ Projekt 1] der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg wurden historische Hochwasserereignisse für den Neckar bis zum Jahr 1560 aufgelistet und mit geschichts- und naturwissenschaftlichen Methoden analysiert.

Die historischen Hochwasserereignisse wurden mit Modellen simuliert, um eine Vorstellung davon zu bekommen, wie hoch das Wasser bei so einem Ereignis heute steigen kann und den Verantwortlichen und Behörden einen klaren Hinweis zu geben, auf welche möglichen Ereignisse man sich einstellen muss. Neben dem Herbsthochwasser von 1824 wurde auch noch das Winterhochwasser vom Dezember 1882 sehr detailliert rekonstruiert. Es wurden die jeweiligen Wetterlagen und die gefallenen Niederschläge nachgebildet. Durch den Vergleich heutiger Wetterlagen mit der historischen Wettersituation konnte das räumliche Niederschlagsmuster für die historischen Hochwasser modelliert werden.

Der Klimawandel macht in unserer heutigen Zeit extreme Hochwasser wie beispielsweise das Neckarhochwasser von 1824 wahrscheinlicher. Die Ursache für dieses Hochwasser war ein stark ausgeprägtes Tiefdruckgebiet über Großbritannien welches einem dominierenden Hoch über der iberischen Halbinsel gegenüber stand. Zwischen beiden Druckgebilden trug ein starker Wind Luftmassen in Richtung Neckar, die sich über dem Atlantik kräftig mit Wasser vollgesogen hatten. Drei Tage Dauerregen führten zu einer Flutkatastrophe, wie sie am Neckar seither nicht mehr beobachtet wurde. Kein anderes durch intensive Niederschläge verursachtes Hochwasser hat dort in den vergangenen 300 Jahren ähnliche Ausmaße erreicht. Der IPCC Report [siehe Textbox IPCC] aus dem Jahr 2007 prognostiziert besonders für Mitteleuropa ein häufigeres Auftreten solcher Wetterereignisse. Die zu diesem historischen Hochwasser ermittelten Daten [Wetterlage, Niederschläge, Abflüsse, Pegelstände] liefern damit wertvolle Informationen



→ ABB. 3 Historische Hochwassermarken an der Alten Neckarbrücke in Heidelberg



welche Auswirkungen ein Hochwasser mit den Ausmaßen des Ereignisses von 1824 heute im Neckareinzugsgebiet hätte. Diese Informationen sind von besonderem Interesse für Behörden und Planer des Hochwasserschutzes in Baden-Württemberg.

ELBE UND UNSTRUT

Auch die Anrainer der Elbe und ihrer Nebenflüsse würden gern wissen, ob sie in Zukunft mit ähnlichen Katastrophen rechnen müssen, wie im Jahr 2002. Also haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler im Rahmen von RIMAX auch Archive durchgearbeitet, die historische Informationen über diese Gewässer enthalten. In ihrer historischen Analyse der Hochwasser an der Unstrut [→ Projekt 3], die als Nebenfluss der Saale zum Einzugsgebiet der Elbe gehört, haben Forscherinnen und Forscher der Universitäten in Göttingen und Weimar die vorhandenen Daten des 19. und 20. Jahrhunderts um mehr als hundert zusätzliche Jahre ergänzt. Damit können nun verbesserte Aussagen zu den Ursachen und zum Verlauf eines Hochwasserereignisses getroffen werden.

Besser ist die Datenlage an der Elbe selbst und vor allem am Pegel Dresden. Schließlich stand die sächsische Landeshauptstadt nicht nur beim Elbehochwasser 2002 im Zentrum des Interesses, sondern auch

→ ABB. 4 Augustbrücke zu Dresden im Winter 1845 – Einsturz des Kruzifix-Pfeilers während des schweren Hochwassers am 31. März 1845 um 9:30 Uhr

bei etlichen früheren Fluten. Die ersten schriftlichen Informationen über einzelne Extrem-Wasserstände und maximale Abflüsse lassen sich sogar bis zum Anfang des 16. Jahrhunderts zurück verfolgen. Seit 1776 gibt es in Dresden einen Pegel, von dem zunächst allerdings nur einzelne Aufzeichnungen über Hochwasserereignisse überliefert sind. Ab dem Jahr 1806 sind dann die höchsten Wasserstände eines jeden Jahres vorhanden und ab 1852 wurde schließlich sogar täglich die Wassermenge bestimmt, die der Elbe an Dresden vorbeiströmt. Nach Analyse all dieser Dokumente hielten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Brandenburgischen Technischen Universität [BTU] in Cottbus [→ Projekt 2] schließlich eine Reihe täglicher Wasserstandsdaten am Elbepiegel Dresden in Händen, die ohne Lücken bis ins 19. Jahrhundert zurück reicht. Und daraus wiederum ließ sich die Menge des Wassers bestimmen, die am jeweiligen Tag in einer Sekunde am Pegel vorbei geflossen sind. Mithilfe dieser Abflussmengen ließen sich die historischen Ereignisse dann viel besser einordnen und die Forscherinnen und Forscher konnten sich ähnlich wie am Neckar auch ein Bild von den in Zukunft zu erwartenden Hochwasserereignissen machen.



03

Gefahr und Risiko



Wer historische Hochwasser und die Wetterlagen kennt, die sie einst ausgelöst haben, kann zwar die generelle Gefahr einschätzen, die von einer bestimmten Wetterlage ausgeht. Welche Gefahr aber im konkreten Fall droht, lässt sich so allenfalls grob ermitteln.

Das Elbehochwasser vom August 2002 wurde zum Beispiel von einer sogenannten Vb-Wetterlage ausgelöst: Ein Tiefdruckgebiet zog vom Atlantik südlich der Alpen über das von der Sommersonne aufgeheizte Mittelmeer erwärmte sich und konnte somit viel Feuchtigkeit aufnehmen. In Verbindung mit einer Nordwestwetterlage zog es weiter nach Norden, wo sich die warmen und feuchten Luftmassen abkühlten. Über dem östlichen Mitteleuropa zwischen der Donau und dem Erzgebirge regneten diese Wassermengen wieder ab. Solche Wetterlagen sind nicht ungewöhnlich. Vorrangig treten sie im Frühjahr oder Herbst auf, können prinzipiell aber auch in anderen Jahreszeiten auftreten. Besonders in den Sommermonaten sind die auftretenden Niederschläge oft sehr ergiebig. Aber nur in Ausnahmefällen wie eben 2002 an der Elbe und 1997 an der Oder verursachen sie extreme Hochwasser.

Eine Einschätzung des Gefährdungspotenzials solcher Ereignisse ist aufgrund der großen Variabilität der verschiedenen Atmosphärenparameter [Wind, Luftfeuchtigkeit, Stabilität der Luftschichten, etc.] sehr schwierig. 2002 hat der Deutsche Wetterdienst die konkrete Gefahr der herannahenden Luftmassen erkannt und auch vor einem möglichen Hochwasser gewarnt. Das tatsächliche gewaltige Ausmaß der Katastrophe aber ahnte niemand, bis die Fluten in den Flüssen des Erzgebirges talwärts donnerten und sich später in der Elbe stromabwärts wälzten.

Die Ursache Niederschlag

Das Erkennen und die Einschätzung solcher extremen Hochwasser im Voraus ist nur möglich, wenn man die Niederschläge im Einzugsgebiet der Flüsse misst. Aus diesem Grund wird versucht, die herannahenden Luftmassen bezüglich ihres Gehaltes der Niederschlagsmengen zu beurteilen. Genau das aber ist eine der Schwachstellen bei allen Wetterdiensten der Welt: Während fast alle wichtigen Wetterwerte wie Temperatur und Luftdruck inzwischen zumindest für die nächsten ein, zwei oder drei Tage sehr zuverlässig vorher gesagt werden, sind die Prognosen für die Niederschläge weniger genau. Aufgrund der hohen Variabilität der Niederschläge lassen sich weder



→ ABB. 5 Eishochwasser der Elbe im Januar 2003 bei Wittenberge

der Ort noch Menge und Intensität von Regen und Schneefall auch nur annähernd so gut im Voraus bestimmen wie Temperatur und Druck.

Aus unsicheren Angaben über künftige Niederschläge lassen sich extreme Hochwasser daher nur schwer vorhersagen. Allerdings gibt es eine Prognosemöglichkeit, während es schon regnet. Zwischen dem Einsetzen heftiger Niederschläge und der gewaltigen Flutwelle, die im Oberlauf von Gewässern mit großen Einzugsgebieten flussabwärts rauscht, können ein paar Stunden vergehen. Diesen zeitlichen Rahmen versucht man zu nutzen, um aus bereits gefallenem Niederschlägen auf ein daraus entstehendes Hochwasser zu schließen.

Sofort taucht dann allerdings der nächste Knackpunkt auf: die Messung des Niederschlags. Zwar kann man Regen längst sehr exakt an den Wetterstationen messen. Anders als die Temperaturen aber verteilen sich Niederschläge oft sehr unterschiedlich. Während an einer Stelle sintflutartige Niederschläge vom Himmel fallen, muss es zwei oder drei Kilometer weiter gar nicht so sehr regnen. Auch Gewitterzellen treffen nur ein bestimmtes Gebiet, schon ein paar Hundert Meter weiter scheint die Sonne vom tiefblauen Himmel. Und selbst ausgewachsene Gewitterfronten lassen manchmal kleinere Gebiete einfach aus. Zur bestmöglichen Erkennung von kleinräumig auftretenden Ereignissen mittels Niederschlagsmessern bedarf es eines sehr engmaschigen Messnetzes von Stationen. In Deutschland gibt es bereits ein gut ausgebautes Netz, was vom Deutschen Wetterdienst, den ansässigen Landesämtern, einzelnen Städten und verschiedenen Forschungseinrichtungen unterhalten wird. Trotz allem entstehen vor allem bei sehr lokalen Niederschlagsereignissen zwangsläufig immer Lücken, in denen der Niederschlag nicht aufgezeichnet wird. Gerade bei Extremniederschlägen aber ist die gesamte tatsächlich gefallene Wassermenge im Einzugsbereich eines Flusses für das daraus entstehende Hochwasser sehr wichtig.

Niederschlagsmessung mit einem Wetterradar

Um diese Lücken zu schließen, tastet der Deutsche Wetterdienst [DWD] die Luft mit 16 Wetterradar-Stationen ab, die Deutschland fast vollständig abdecken. Jedes dieser Geräte sendet Radarsignale in Form von elektromagnetischen Wellen im Mikrowellen-Bereich aus. Dieses Signal wird von kleinen Teilchen wie Wassertropfen, Schneekristallen und Hagelkörnern in der Luft reflektiert und zurückgestreut. Misst das Radargerät ein solches *Echo*, wird das Signal interpretiert, um eventuell auftretende Fehlechos zu eliminieren und zu bestimmen, ob

Regen oder Schnee gefallen sind. Die Richtung, aus der ein Echo zurück kommt, zeigt die Gegend an, in der Niederschlag fällt. Je länger das Echo bis zum Radargerät braucht, umso weiter ist das Niederschlagsgebiet entfernt. Die Stärke des Echos ist abhängig von der Größe der reflektierenden Tropfen und ermöglicht die Aussage, wie kräftig z.B. der Schauer über einem bestimmten Gebiet ist. Um eine flächendeckende Abtastung zu ermöglichen, rotiert die Radarschüssel um ihre eigene Achse und kann Niederschlag bis zu einer Entfernung von zweihundert Kilometern ermittelt. Zur vertikalen Aufnahme der Niederschlagszellen wird in einem bestimmten Winkelbereich zwischen dem Horizont und dem Himmel abgetastet. Da der Niederschlag natürlich nicht selbst, sondern nur die von ihm erzeugten Radar-Echos gemessen wird, ist das Ergebnis zwangsläufig ungenauer als die Werte einer Wetterstation. Andererseits lassen sich im Gegensatz zur einzelnen Bodenstation Niederschlagsdaten von der gesamten Fläche gewinnen, welche von den 16 Wetterradar-Stationen erfasst wird. Da liegt die Idee nahe, die Werte der Wetterstationen und des Wetterradars zu kombinieren, um daraus flächendeckend die Niederschläge viel genauer zu berechnen. Auch das macht der Deutsche Wetterdienst schon längst.

Erweiterung der Niederschlagsaufzeichnungen

Für eine gute Hochwasserprognose reicht das allerdings immer noch nicht, weil auch das Bodenstationsnetz des Deutschen Wetterdienstes begrenzt ist. Daher nehmen die Hydrologinnen und Hydrologen von der Fachrichtung Wasserwesen der Technischen Universität Dresden im RIMAX-Projekt EXTRA [→ Projekt 12] zu dieser Analyse zusätzlich noch die Wetterstationen des Freistaates Sachsen dazu, die vom Land unterhalten werden. So können die Forscher für die 21.000 Quadratkilometer von Sachsen und den angrenzenden Regionen umfassenden Projektgebietes auf 69 Stationen zurück greifen, die jede Stunde einen Niederschlagswert liefern und auf weitere 380 Stationen, die Tages-werte für Niederschläge messen.

Mit dieser gigantischen Datenbank können die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler nun auf einen Kilometer genau ermitteln, welcher Niederschlag innerhalb einer Stunde gefallen ist und wie die Regenbilanz in Gebieten aussieht, die nur wenige Quadratkilometer groß sind. Zudem treffen sie eine qualitative Aussage zum ermittelten Niederschlagsfeld. Diese gute zeitliche und räumliche Auflösung des Niederschlagsproduktes ist für eine zuverlässige Hochwasser-Modellierung extrem wichtig. Durch die Ergebnisse aus EXTRA können dann potentielle Hochwasser mit einem Modell besser modelliert werden



→ ABB. 6 Überflutetes Gelände der Fakultät für Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften der TU Dresden [13.08.2002]

und die Verantwortlichen sind damit in der Lage auch die gefährdeten Anwohner von Oberläufen mit kleinen Einzugsgebieten besser zu warnen, ohne bei nicht Betroffenen in der Nachbarschaft Fehlalarm auszulösen.

Um im Falle eines Ausfalls der Radarinformation trotz allem flächige Niederschlagsinformationen zu erhalten, verwenden die Hydrologen auch noch Daten der Meteosat-Wettersatelliten, die im Bereich infraroter Strahlung den Wasserdampf messen. Auch wenn die hieraus ableiteten Niederschläge nicht sehr genau sind, können sie die Niederschlagsanalysen und damit die Möglichkeiten, vor kleinräumigen Hochwassern gezielt zu warnen, verbessern.

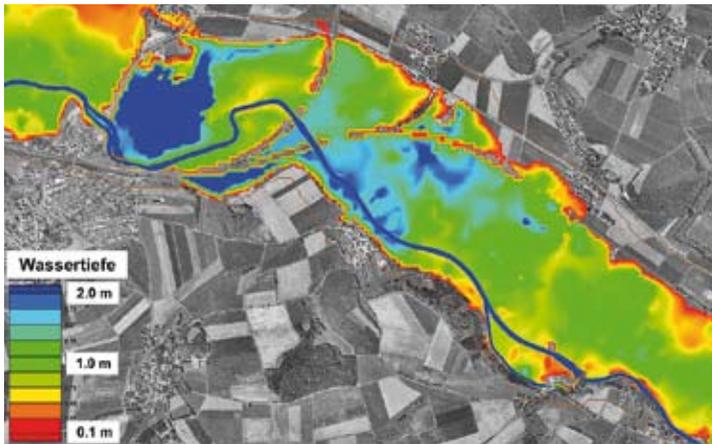
03.1

RECHNEN MIT DER UNSICHERHEIT

Bei der Bestimmung und Vorhersage der Niederschläge bestehen Unsicherheiten. Diese können den Unterschied zwischen einem normalen Hochwasser ohne größere Schäden und einer Katastrophe ausmachen. Sämtliche Computermodelle, die das Ausmaß von zu erwartenden Hochwassern berechnen, basieren auf den Angaben zum Niederschlag. Fehler in diesem Bereich machen also die gesamte Prognose schwierig.

Im Projekt HORIX [→ Projekt 15] integrieren Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler von der Universität der Bundeswehr München zusammen mit weiteren Partneruniversitäten und Ingenieurbüros diese Unsicherheit bei der Niederschlagsvorhersage gleich mit in ihr Modell. Sie wollen für kleinere und mittlere Einzugsgebiete im Mittelgebirge wie den Oberlauf des Mains in Franken aus der Wettervorhersage für die kommenden Tage das Hochwasserrisiko berechnen. Da Wettervorhersagen generell umso zuverlässiger werden, je kürzer der Zeitraum für die Prognose ist, wird auch diese Abhängigkeit in der Kalkulation berücksichtigt. Der Computer rechnet dann die erwarteten Niederschläge in mögliche Überschwemmungen um.

Allerdings werden diese Kalkulationen nicht erst im Ernstfall angestellt, sondern lange vorher. Bei einer entsprechenden Vorhersage kann man dann rasch auf diese schon bekannte Palette von verschiedenen Überschwemmungsszenarien zurückgreifen. So kann viel früher als bisher und gleichzeitig zuverlässiger gewarnt werden. Dadurch aber gewinnen alle Beteiligten wertvolle Zeit, die sich für notwendige Evakuierungen und andere vorbereitende Maßnahmen nutzen lässt. Obendrein können die Verantwortlichen mit diesem Modell auch den Umgang mit den unvermeidlichen Unsicherheiten schon vor einer Katastrophe virtuell trainieren und ihre Erfahrungen bereits vor dem Ernstfall machen, Fehler sollten so verringert werden.



→ ABB. 7 Einzugsgebiet des Oberen Mains bis zum Pegel Kemmern mit Überschwemmungsflächen

HOCHWASSER IM COMPUTER

Ein Hochwasser vorherzusagen, ist nicht so einfach. Niederschlag und Schneeschmelze, die Beschaffenheit des Bodens, die Gestalt der Landschaft und des Flusslaufs – diese und noch etliche weitere Faktoren entscheiden darüber, wann eine Hochwasserwelle wo auftaucht und wie hoch sie ausfällt. Wissenschaftler versuchen daher, die einzelnen Elemente der Hochwasserentstehung in mathematische Formeln zu fassen. Diese mathematischen, die natürlichen Prozesse beschreibenden Formulierungen können zu komplexen Computermodellen zusammengesetzt werden, die dann zu den wichtigsten Werkzeugen für die Erforschung und Prognose von gefährlichen Hochwassern gehören.

In diese Modelle kann man Ausgangswerte wie etwa die prognostizierten Niederschlagsmengen einspeisen. Daraus berechnet das Programm dann beispielsweise die im Fluss talwärts strömenden Wassermengen, die Wasserstände an einem Pegel oder das Ausmaß der Überschwemmungen. Solche Simulationen liefern allerdings nur dann realistische Ergebnisse, wenn man die Vorgänge im Einzugsgebiet der Flüsse, die verschiedenen Komponenten des Wasserkreislaufs und auch die im Gewässer selbst ablaufenden Vorgänge genau kennt.

WICHTIGE QUELLREGION

Gerade an den Oberläufen und in den Quellregionen großer Flüsse und ihrer Seitenflüsse sind Zeitgewinne bei der Vorhersage von Hochwasser besonders wichtig. Diese Gebiete liegen häufig in den Mittelgebirgen, die Böden sind dort oft nicht sehr tiefgründig und können daher wenig Wasser aufnehmen. Wenn sie sich vollgesogen haben, laufen extreme Niederschläge rasch auf der Bodenoberfläche ab und versickern nicht mehr. Ungebremst schießt dieses Wasser über oft

steile Hänge sehr schnell in die Oberläufe und lässt so in kürzester Zeit ein Hochwasser entstehen. Bereits ein Sommergewitter kann in diesen Gebieten ein starkes Hochwasser verursachen.

Dort sind die Vorwarnzeiten daher viel kürzer als in den flussabwärts gelegenen Regionen, das zeigten unter anderem die Extremniederschläge am 12. August 2002 im Erzgebirge. Später lassen die Fluten an den Oberläufen auch die großen Flüsse in der Ebene mächtig anschwellen, wie das Augusthochwasser 2002 vor allem an der Elbe und der Donau demonstrierte. Für das von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern der Universität Potsdam geleitete Projekt OPAQUE [→ Projekt 14] gibt es also eine Reihe guter Gründe. Die Forscherinnen und Forscher untersuchen Hochwasser in den Quellgebieten und wollen mit diesen Analysen die Vorhersage drohender Gefahren verbessern und damit Warnungen schneller zur Verfügung stellen. Dazu arbeiten sie am Elbe-Nebenfluss Weißeritz, der im August 2002 besonders stark vom Hochwasser betroffen war, sowie am Oberlauf der Donau und an der Iller. Zunächst analysieren sie, welche Wetterlagen überhaupt für die Entwicklung gefährlicher Fluten verantwortlich sind. Extreme Niederschläge werden unter anderem mit dem Regenradar des Deutschen Wetterdienstes sehr genau unter die Lupe genommen.

WARNEN VOR DER FLUT

Vor allem Wasserwirtschaftsämter und Katastrophenschutz-Einrichtungen brauchen möglichst frühzeitig Informationen über die zu erwartenden Wasserstände. Nur dann können sie rechtzeitig die Bevölkerung warnen, mobile Hochwasserschutzwände aufbauen und andere Vorsorgemaßnahmen treffen.

Damit solche Warnungen auch bei den richtigen Stellen landen, liefert der Deutsche Wetterdienst Informationen über Niederschlag und Schneeschmelze an verschiedene Behörden wie die Innenministerien, Hochwassermeldestellen und Wasser- und Schifffahrtsämter der einzelnen Bundesländer. Hochwasserschutz ist in Deutschland Ländersache, die entsprechenden Zuständigkeiten sind von Land zu Land unterschiedlich geregelt. Bei den jeweils zuständigen Stellen werden die Daten in weiteren Computermodellen verarbeitet. Die so berechneten Hochwasserprognosen leiten die Behörden dann auf genau vorgegebenen Wegen an andere Stellen wie Landratsämter, Städte und Gemeinden weiter, die den Hochwasserschutz vor Ort organisieren. Vorhersagen und aktuelle Pegelstände werden zudem im Internet veröffentlicht [z.B. www.hochwasserzentralen.de].

Neben den Niederschlägen sind in den Quellgebieten vor allem die Bodenverhältnisse für das Entstehen von Hochwasser und Extremhochwasser entscheidend. Im Quellgebiet der Weißeritz setzten die Forscherinnen und Forscher Sonden im Boden, ein mit Radarsystemen ausgerüstetes Forschungsflugzeug des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt [DLR] und Satellitenmessungen ein, um die Bodenfeuchtigkeit zu bestimmen. Solche Werte sind für Hochwasservorhersagen sehr wichtig, weil zum Beispiel sehr feuchte Böden kaum Wasser aufnehmen können. Daher fließt ein großer Teil des Niederschlags an der Oberfläche ab und begünstigt das Entstehen von Hochwasser.

Vor allem im Mittelgebirge steigt im Winter und Frühjahr die Hochwassergefahr kräftig, wenn Warmlufteinbrüche und Regenfälle eine Schneedecke rasch schmelzen lassen. Aus diesem Grund untersuchen die Forscherinnen und Forscher auch die Schneeverhältnisse im Erzgebirge. Allerdings leidet dieser Teil des Projektes unter den milden Wintern der vergangenen Jahre, in denen Schneedecken selten waren und daher kaum untersucht werden konnten.

Die Ergebnisse der Messungen fließen in ein Computermodell zur Vorhersage von Hochwassern ein. Mit Hilfe dieser Daten soll das Computermodell LARSIM [Large Area Runoff Simulation Model] im dritten Schwerpunkt des OPAQUE-Projektes weiter verbessert werden. Gemeinsam mit den Hochwasserzentralen der betroffenen Bundesländer soll dieses Modell schließlich auch für die Steuerung der Talsperren und der Rückhaltebecken eingesetzt werden, die an den Oberläufen der Flüsse entstanden sind.

Allein der Freistaat Sachsen hat insgesamt fünfzig Standorte für solche Rückhaltebecken im Erzgebirge untersucht. Seit dem Jahr 2006 kann zum Beispiel das mehr als 30 Millionen Euro teure Rückhaltebecken in Lauenstein im Erzgebirge fünf Millionen Kubikmeter Wasser aufnehmen, das andernfalls ungebremst die Müglitz hinunter schießen würde. Weitere Rückhaltebecken werden im Laufe der Jahre fertig.

Eine laut Statistik alle hundert Jahre einmal auftretende Flut sollen diese Rückhaltebecken aufnehmen, wenn die Verantwortlichen im richtigen Moment einen Teil der Wassermassen dort speichern. Aber auch bei stärkerem Hochwasser wie der 200-Jahresflut vom August 2002 verringern solche Bauwerke die Schäden flussabwärts enorm, weil sie wenigstens einen Teil der Fluten abfangen. Dazu müssen sie aber gut gesteuert werden und im richtigen Moment die zu Tal schießenden Wassermassen aufnehmen. Fangen die Talsperren die Fluten zu früh ein, ist das Rückhaltebecken möglicherweise bereits voll, wenn die höchste Welle ankommt, die dann ungebremst weiter talwärts fließt.

03.3

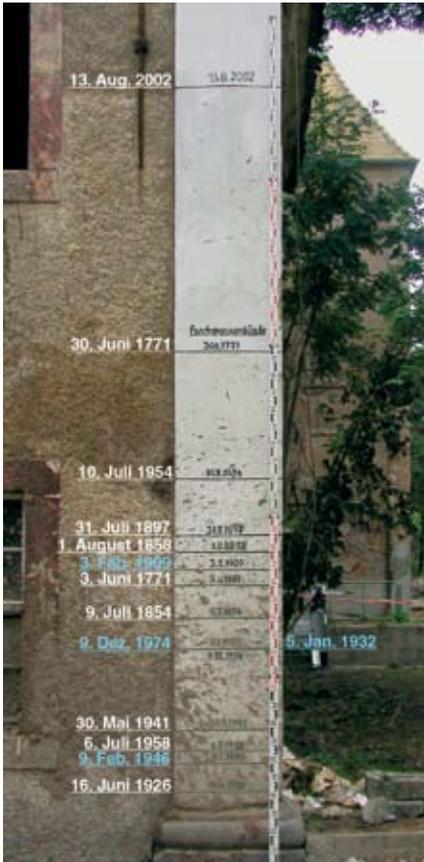
Gerade für die Oberläufe ist ein zuverlässiges Vorhersagemodell für Hochwasser daher extrem wichtig, um den Verantwortlichen die richtigen Zeitpunkte für die Talsperrensteuerung aufzuzeigen.

VORHERSAGEN DES HOCHWASSERS

Computermodelle für die Hochwasservorhersage an den Oberläufen der Flüsse haben ein generelles Problem: Hochwasser entstehen dort sehr rasch, während die gängigen Programme zur Berechnung relativ aufwändig sind und entsprechende lange Rechenzeiten benötigen um sichere Aussagen zu treffen. Dies kann eine rechtzeitige Warnung der betroffenen Menschen erschweren oder gar verhindern. In einem Projekt namens PAI-OFF [→ Projekt 4] verwenden Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vom Institut für Hydrologie und Meteorologie der Universität Dresden daher sehr einfache und schnelle Modelle. Diese so genannten neuronalen Netze arbeiten ähnlich wie ein Gehirn: Mit Daten [vergleichbar mit Erfahrungen/Erlebnissen eines echten Gehirns] aus dem potentiellen Hochwassergebiet wird das Programm trainiert, bis das neuronale Netz gute Vorhersagen machen kann [entspricht Weisheit/Lebenserfahrung eines echten Gehirns]. Somit können Hochwasserschutzzentralen schnell und zuverlässig eine Gefahrensituation analysieren und entsprechende Maßnahmen veranlassen.

Forscherinnen und Forscher vom Lehrstuhl für Hydrologie, Wasserwirtschaft und Umwelttechnik der Ruhr-Universität Bochum und des Deutschen Wetterdienstes versuchen die Unsicherheiten bei Niederschlags- und Hochwasserprognosen zu berücksichtigen [→ Projekt 17]. Statt einer Wettervorhersage verwenden sie mehrfach wiederholte Prognosen, bei denen nur bestimmte Eingangswerte ein wenig verändert wurden. Damit simulieren sie die Unsicherheiten der Modelle, da bereits kleine Änderungen in den Ausgangsdaten manchmal gravierend voneinander abweichende Vorhersagen liefern. Rechnen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler nun mit verschiedenen, jeweils ein wenig veränderten Ausgangswerten, erhalten sie am Ende ein Spektrum unterschiedlicher Vorhersagen, das in etwa die Bandbreite der möglichen Wetterentwicklungen zeigt. Meteorologen nennen diese verschiedenen Szenarien *Ensembles*.

Für das Einzugsgebiet der Mulde in Sachsen, das vom Extremhochwasser im August 2002 sehr stark betroffen war, haben die Forscher für die Jahre 2002 bis 2006 diese Ensembles für verschiedene extreme Niederschläge durchgerechnet und die Ergebnisse mit den tatsächlichen Niederschlägen verglichen. Damit bewiesen sie nicht nur, dass die Probleme bei der zuverlässigen Vorhersage von Niederschlägen



→ ABB. 8 Hochwassermarke der Alten Mühle in Grimma



→ ABB. 9 Durch das Hochwasser 2002 zerstörtes Wohnhaus an der Flöha



→ ABB. 10 Hochwasserschäden im Einzugsgebiet der Mulde

tatsächlich die gesamte Hochwasserprognose dominieren. Gleichzeitig demonstrierten die Forscher auch, dass solche Ensemble-Rechnungen zu deutlich besseren Hochwasservorhersagen führen, da auf diesem Weg die Unsicherheiten der weiteren Wetterentwicklung berücksichtigt werden können. Sie erlauben dann zum Beispiel Aussagen wie *»die Alarmstufe drei für Hochwasser wird in den nächsten drei Tagen mit einer Wahrscheinlichkeit von 40 Prozent überschritten«*. Solche Angaben erleichtern notwendige Entscheidungen enorm.

VOM NIEDERSCHLAG ZUM HOCHWASSERSCHADEN

Sintflutartige Regenfälle und über die Ufer tretende Flüsse allein lösen noch keine Katastrophe aus. Schließlich sind dieses natürliche Prozesse. Tiere und Pflanzen in den Flussauen haben sich daran angepasst und sind oft sogar darauf angewiesen. Wirklich kritisch werden die Überschwemmungen also erst, wenn sie vom Menschen besiedelte Gebiete treffen. Doch selbst diese Regionen sind nicht alle gleich anfällig für Hochwasserrisiken.

GEFÄHRDUNG UND RISIKO

Hochwasser beginnt in der Regel entweder mit kräftigen Niederschlägen oder mit einer starken Schneeschmelze. Wie häufig und wie stark treffen solche Ereignisse das Einzugsgebiet eines Flusses? Wie wahrscheinlich ist ein anschließendes Hochwasser und wie heftig kann es ausfallen? Von den Antworten auf diese Fragen hängt die Hochwasser-Gefährdung eines Gebietes ab.

Entscheidend für die Folgen eines solchen Ereignisses ist nicht nur das Ausmaß der Fluten, sondern auch die Nutzung der überschwemmten Flächen. In einem Wohn- oder Industriegebiet richtet das Wasser viel mehr Schaden an, als auf einer unbebauten Wiese. Deshalb berechnen Hochwasser-Experten neben der Gefährdung auch das Schadenspotential einer Region. Beide Komponenten zusammen bestimmen schließlich das Risiko für die dort lebenden Menschen und ihren Besitz.



→ ABB. 11 Hochwasser im Dresdner Zwinger

Wer das Schlimmste verhüten will, sollte also möglichst genau wissen, welche Regionen entlang der Flüsse ein besonders hohes Hochwasserrisiko haben. Dort kann man dann Vorsorgemaßnahmen und im Ernstfall auch die Katastrophenschutz-Einsätze konzentrieren. Solche Brennpunkte ausfindig zu machen, ist allerdings nicht ganz einfach. Mehrere RIMAX-Projekte an verschiedenen Flüssen arbeiten daran, die Hochwasserrisiken berechenbar zu machen. So koordinieren Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung in Dresden ein Vorhaben namens VERIS-Elbe [→ Projekt 6], das mit dem gesamten Einzugsgebiet der Elbe eine internationale Region in Mitteleuropa untersucht.

VORHERSAGEN FÜR KLIMASZENARIEN

Zunächst geben die Hydrologen für die gesamte Elberegion die Niederschlagswerte der letzten 50 Jahre in Computermodelle ein und berechnen für verschiedene Hochwasserereignisse die in der Elbe strömenden Wassermengen. Dabei stellt sich zum Beispiel rasch heraus, dass diese Durchflusswerte bei der Flutkatastrophe vom August 2002 ähnlich hoch lagen wie beim Winterhochwasser vom 31. März 1845. Ausgehend von diesen historischen Hochwasseranalysen werfen die Forscher dann einen Blick in die Zukunft. Mit den Klimaszenarien vom Weltklimarat IPCC berechnen sie die möglichen Niederschläge im Elbe-Einzugsgebiet bis zum Jahr 2100.



→ ABB. 12 Transnationales Einzugsgebiet der Elbe

IPPC

Als sich zunehmend abzeichnete, dass sich das Weltklima durch die wachsenden Konzentrationen von Treibhausgasen in der Luft gravierend zu ändern begann, gründeten das Umweltprogramm der Vereinten Nationen und die Weltorganisation für Meteorologie 1988 den sogenannten »Weltklimarat«. In diesem »Intergovernmental Panel on Climate Change« oder kurz »IPPC« tragen renommierte Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Forschungsergebnisse verschiedener Disziplinen zusammen. Eine IPPC-Arbeitsgruppe befasst sich dabei mit dem Klimasystem und seinen Änderungen. Die zweite Gruppe analysiert wie sich Gesellschaften und Ökosysteme durch den Klimawandel verändern, eine dritte beschäftigt sich mit Maßnahmen gegen den Klimawandel. Die Berichte dieser Arbeitsgruppen werden vom gesamten Plenum diskutiert. Dort versuchen daher Regierungen, ihnen nicht genehme Berichte abzuschwächen. Trotz solcher Kritikpunkte gilt der IPPC nach wie vor als unabhängige Beratungsinstanz für die Regierungen der Erde. 2007 wurde der IPPC zusammen mit dem US-Politiker Al Gore mit dem Friedensnobelpreis ausgezeichnet.

Mit diesen Niederschlägen ermitteln sie den Hochwasserabfluss und die Wahrscheinlichkeit, mit der sich ein bestimmtes Hochwasser wiederholt. Solche Computermodelle sind wichtig, weil ein sich wandelndes Klima auch das zukünftige Hochwassergeschehen verändert. Da ein Hochwasserabfluss allein wenig über die Sicherheit von Deichen aussagt, die von den Ingenieuren für einen bestimmten Wasserstand errichtet werden, rechnen die Forscherinnen und Forscher auch die zu erwartenden Wasserstände aus. Mit diesen Wasserständen kann dann im Computer simuliert werden, wie welche Flächen in der Elbaue zwischen der tschechischen Grenze und Niedersachsen wie oft unter Wasser stehen werden. Führt der Klimawandel bis zum Jahr 2100 also zu häufigeren Extremniederschlägen, die große Hochwasser nach sich ziehen, dürften auch die jeweiligen Flächen häufiger überschwemmt werden.

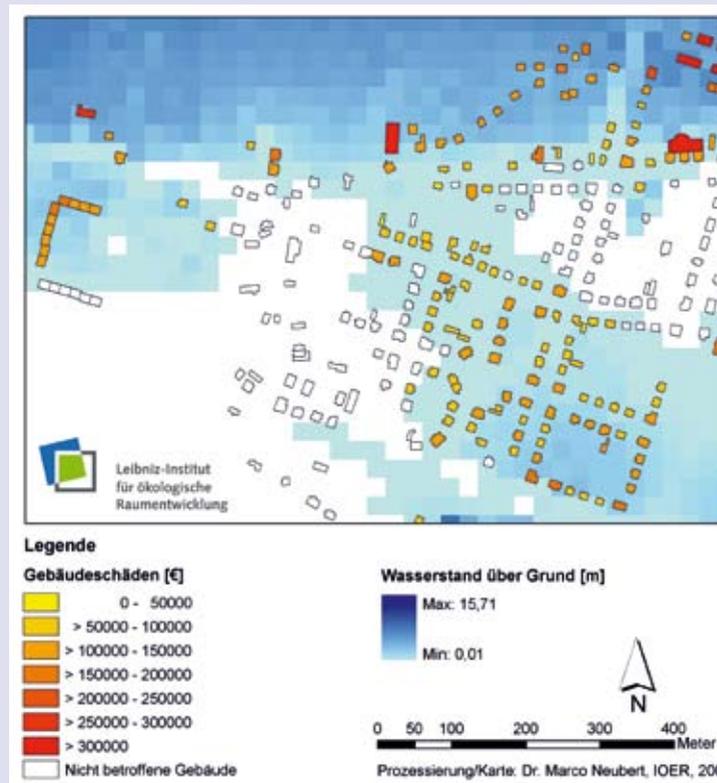
Schäden an Gebäuden

Um zu beurteilen wie hoch die Schäden durch das Hochwasser sind, untersuchen die Forscherinnen und Forscher die Werte der Gebäude auf den vom Hochwasser bedrohten Flächen. Wohngebäude werden zum Beispiel aus Luftbildern nach Baualter und Anzahl der Stockwerke in Typen eingeteilt. Bei Industrie- und Gewerbebauten, sowie bei öffentlichen Gebäuden wie Veranstaltungs- oder Sporthallen wird der Vermögenswert mithilfe der Wirtschaftsstatistik und auch mit Einschätzungen vor Ort gewonnen. Auf der Basis von Erfahrungswerten aus früheren Überschwemmungen können für einzelne Gebäudetypen die Reparaturkosten bei bestimmten Hochwasserereignissen abgeschätzt werden. Mit diesen Daten werden dann die Gesamtschäden auf überschwemmten Flächen viel genauer als mit den bisher üblichen groben Schätzwerten ermittelt.

Schrittweise lässt sich so für verschiedene Klimaszenarien ausrechnen, wie sich das Hochwasserrisiko entlang der Elbe verändern wird. Auch Veränderungen in der Bebauung lassen sich mit den Modellen simulieren. Durch das Errichten von Wirtschaftsbetrieben oder Bauten für z. B. Freizeitveranstaltungen in Ufernähe werden immer größere Sachwerte in den potentiellen Überschwemmungsgebieten angehäuft. Das bedeutet, dass ein ähnliches Hochwasser einige Jahre später einen erheblich größeren Schaden anrichten wird.

HOCHWASSERRISIKOKARTEN

Versicherungsverbände und Behörden veröffentlichen für einige Regionen und Länder sogenannte »Hochwassergefahren- und -risikokarten«. Dort zeigen verschiedene Farben unter anderem die jeweilige Gefahr einer Überschwemmung an. Dunkelblau steht zum Beispiel für stark gefährdete Gebiete, hellblau kennzeichnet weniger stark gefährdete Gebiete, während eine dritte Farbe ein geringe Gefährdung symbolisiert. Bleibt eine Fläche weiß, ist dort kein Hochwasser zu erwarten. Soll ein Gebäude in einer solchen Zone errichtet oder versichert werden, können die Behörden und Versicherer je nach Grad der Gefährdung bestimmte Schutzmaßnahmen verlangen. Bei geringerer Gefahr kann es dann zum Beispiel genügen, Kellerabgänge, sowie Türen und Fenster im Erdgeschoss so vorzubereiten, dass sie rasch und zuverlässig abgedichtet werden können.



→ ABB. 13 Berechnung der Schäden für einzelne Gebäude bei einem bestimmten Hochwasser mit dem Modell HOWAD

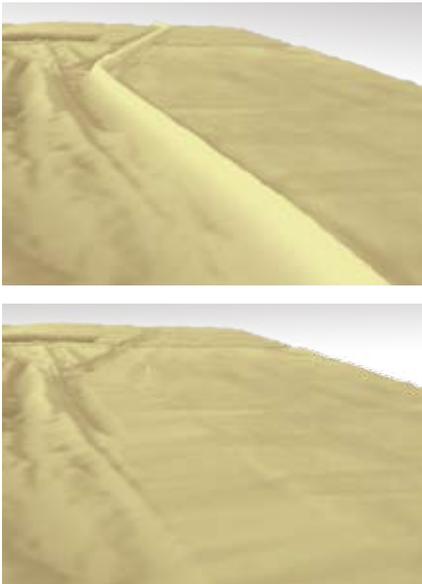
VERIS-Elbe liefert wichtige Erkenntnisse, die in Bebauungs- und Regionalpläne eingearbeitet werden können. Planern und Bauherren bieten die Simulationen eine gute Grundlage, auf der sie entscheiden können, ob sie das Risiko für eine vorgesehene Bebauung auf einer potentiellen Überschwemmungsfläche eingehen wollen oder nicht. Und da die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler die Unsicherheiten der zukünftigen Entwicklung zeigen, können die Betroffenen sich auf den schlimmsten Fall besser einstellen. So werden auch Möglichkeiten vorgeschlagen, mit denen sich das erwartete Schadenrisiko bei extremem Hochwasser verringern lässt. Bei Bauten mit einer bestimmten Überschwemmungsgefahr sollte beispielsweise vorgeschrieben werden, dass Anlagen wie der Elektroverteiler oder der Heizöltank nicht in den Keller, sondern in die vor den Fluten sicheren oberen Stockwerke gehören.

Bewertung von Maßnahmen

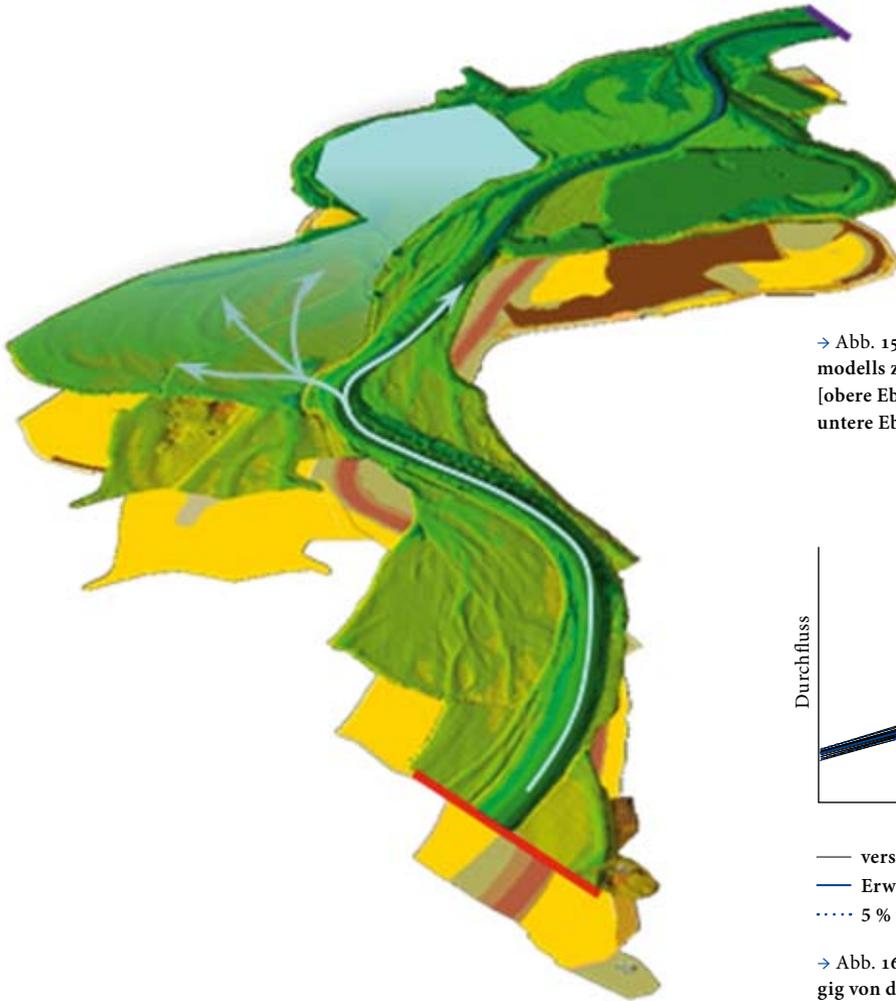
Doch nicht jede Maßnahme zum Schutz vor extremem Hochwasser ist sinnvoll. Daher werden die Kosten für Vorsorgemaßnahmen aufgezeigt und deren Nutzen dargestellt. Damit kann eine Maßnahme bewertet und die sinnvollste Maßnahme ausgewählt werden, um den größten möglichen Nutzen zu erzielen. Für eine solche Entscheidungshilfe kann zum Beispiel in ein digitales Geländemodell, auf dessen Grundlage die möglichen Überschwemmungsflächen ausgerechnet werden, an beliebigen Stellen virtuelle Hochwasserdeiche eingebaut und die Auswirkungen dieser Schutzanlagen bei verschiedenen Klima- und Bebauungsentwicklungen simuliert werden. Ebenso können die Deiche probeweise an verschiedenen Stellen errichtet und durchgerechnet werden, wo sie den größten Nutzen bringen.

DIGITALES GELÄNDEMOMELL

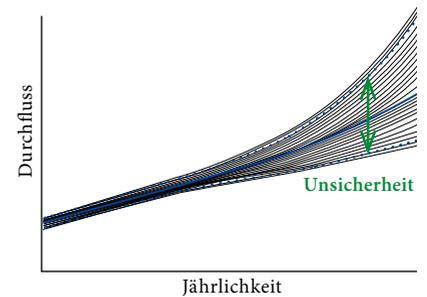
Wollen die Forscher Überschwemmungsflächen bei einem Hochwasser mit Computermodellen berechnen, müssen sie auch das betroffene Gelände im Rechner nachbilden. Seit 1980 geben Geoforscher daher für einzelne Punkte im Gelände die Höhe über dem Meeresspiegel und die exakten Daten zu Längen- und Breitengrad in Computerprogramme ein. Aus vielen solcher Daten für eine bestimmte Region entsteht so ein digitales Geländemodell, mit dem der Verlauf geplanter Straßen oder Bahnstrecken, aber auch die Ausbreitung von Überschwemmungsflächen berechnet werden können.



→ ABB. 14 Schrägansicht eines Geländemodells mit und ohne Deich



→ Abb. 15 Prinzipdarstellung eines Strömungsmodells zur Simulation einer Polderflutung
[obere Ebene: Geländemodell
untere Ebene: Fließwiderstände]



— verschied. künftige Entwicklungen
— Erwartungswert
⋯ 5 % und 95 % Quantil

→ Abb. 16 Hochwasserabflüsse der Elbe abhängig von der Auftretenswahrscheinlichkeit und unter Berücksichtigung verschiedener zukünftiger Entwicklungen

Polderbewirtschaftung im Modell

Doch auch wenn das Hochwasser schon da ist, kann man von den Computerberechnungen noch profitieren. An Flüssen wie der Elbe gibt es einige große Flächen, die von Bauern normal bewirtschaftet werden, in die bei extremem Hochwasser aber ein Teil des Wassers übergeleitet werden kann, um die Durchflussmenge und damit die Pegelstände flussabwärts zu senken. Werden diese *Flutpolder* zu einer bestimmten Zeit aktiviert, kann die Ernte der dort wirtschaftenden Bauern vernichtet und die Betroffenen müssen entschädigt werden. Mit Hilfe von Modellen lässt sich nun ausrechnen, welche Schäden in den flussabwärts gelegenen Regionen durch das Fluten des Polders vermieden werden. Ein Vergleich mit den erwarteten Entschädigungen liefert dann einen Hinweis darauf, ob diese Maßnahme sinnvoll ist

oder nicht. Damit haben die Verantwortlichen eine wertvolle Entscheidungshilfe in der Hand, mit der sie ermitteln können, welche Auswirkungen die einzelnen Flutungsmöglichkeiten nach sich ziehen.

03.7

NIEDERSCHLAG IM RECHNER

Viele RIMAX-Projekte nutzen gekoppelte Computermodelle, deren Bausteine vom Niederschlag über das Abflussgeschehen und die überschwemmten Flächen bis zum Gebäudeschaden die ganze Kette des Hochwassergeschehens abbilden. Etliche Vorhaben versuchen dabei mit unterschiedlichen Methoden, das schwer zu prognostizierende Niederschlagsgeschehen künftiger Jahrzehnte und Jahrhunderte besser zu simulieren.

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Leibniz Universität Hannover interessieren sich für die Hochwasser-Zukunft der Bode [-> Projekt 5]. Dieser 169 Kilometer lange Fluss entspringt am höchsten Berg des Harzes, dem Brocken, und mündet weiter im Osten in die Saale, einen Nebenfluss der Elbe. Auch wenn die Bode zur großen Elbeflut im August 2002 nichts beigetragen hat, gibt es dort immer wieder extreme Hochwasser. Ein besonders großes Hochwasser ereignete sich im April 1994.

-> ABB. 17 Hochwasser an der Selke in der Ortslage am 13. 04. 1994



Mit drei völlig unterschiedlichen Methoden analysieren die Forscherinnen und Forscher, welche Niederschläge in Zukunft in dieser Region zu erwarten sind. Einmal gehen sie von den vorhandenen Niederschlagsaufzeichnungen der 18 Stationen des Deutschen Wetterdienstes in dem Gebiet aus, die allerdings nur kurze Perioden zwischen sechs und 14 Jahren mit stündlichen Werten abdecken. Für ein Jahrhundertereignis ist das natürlich zu wenig, deshalb zogen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler weitere Daten von 123 Stationen heran, die immerhin täglich den Niederschlag gemessen haben. Aus diesen

Werten ermittelten sie dann mit statistischen Methoden den Extremniederschlag, der erreicht werden kann und der als Grundlage für den Hochwasserschutz heran gezogen wird.

Der zweite Ansatz stützt sich auf Computermodelle, mit denen sich der Klimawandel berechnen lässt. Für Hochwasserereignisse eignen sich diese Modelle in ihrer ursprünglichen Form allerdings nicht, weil sie zuverlässige Angaben nur für erheblich größere Regionen als das Einzugsgebiet der Bode liefern. Also greifen die Forscherinnen und Forscher zum sogenannten *Downscaling* und übertragen die groben Daten des Weltmodells in das engmaschigere Netz eines regionalen Klimamodells namens REMO. Allerdings reicht auch REMO für zuverlässige Analysen noch nicht aus und die Daten werden in einem weiteren Schritt auf das vorhandene, noch engmaschigere Netzwerk von Messstationen herunter gerechnet. Am Ende kommen die Forscher so auf ein Berechnungsnetz mit fünf Kilometern Maschenweite, das für ein zuverlässiges Schätzen von extremen Niederschlägen durchaus reicht.

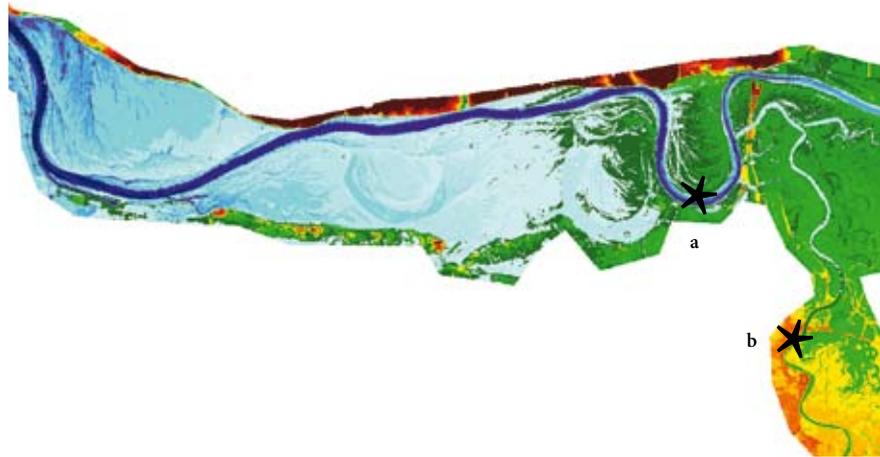
Die dritte Methode ermittelt schließlich aus den vorhanden stündlichen Niederschlagsmessungen, die nur wenige Jahre abdecken, längere Zeitreihen, die den tatsächlichen Niederschlag recht gut wiedergeben. Die mit den drei Modellen errechneten Extremwerte für den künftigen Niederschlag geben die Forscherinnen und Forscher anschließend in zwei weitere Computermodelle ein, die den Abfluss und die Überschwemmungsflächen im Einzugsgebiet der Bode simulieren. Unter Hinzunahme der Informationen über die Landnutzung in diesen hochwassergefährdeten Bereichen werden dann potentielle Schäden abgeschätzt. Mit solch einem Modellsystem lässt sich schließlich analysieren, ob geplante Hochwasserschutzmaßnahmen wie Deiche, Rückhaltebecken oder Polder effektiv sind.

DESSAU UND DIE MULDEMÜNDUNG

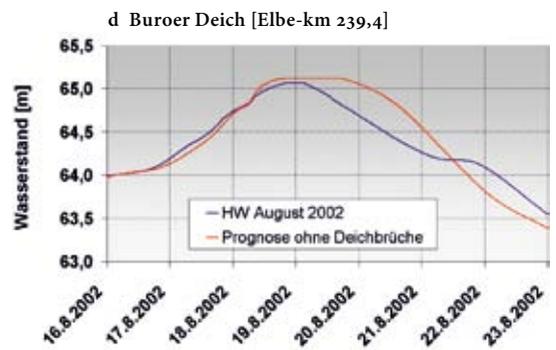
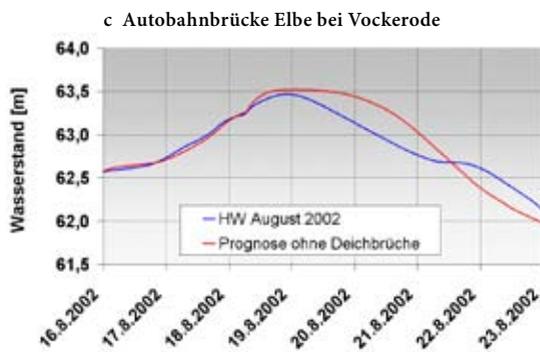
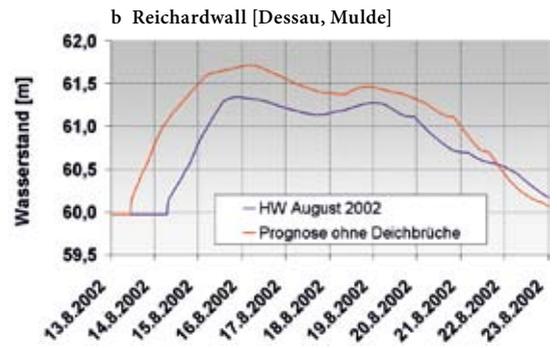
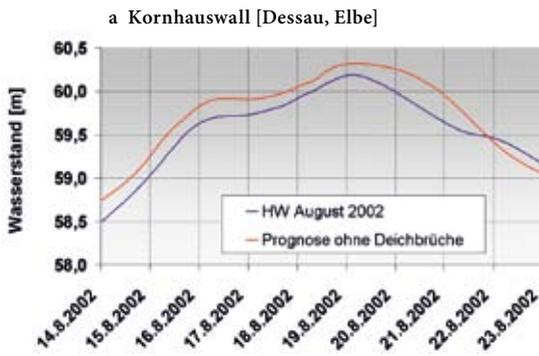
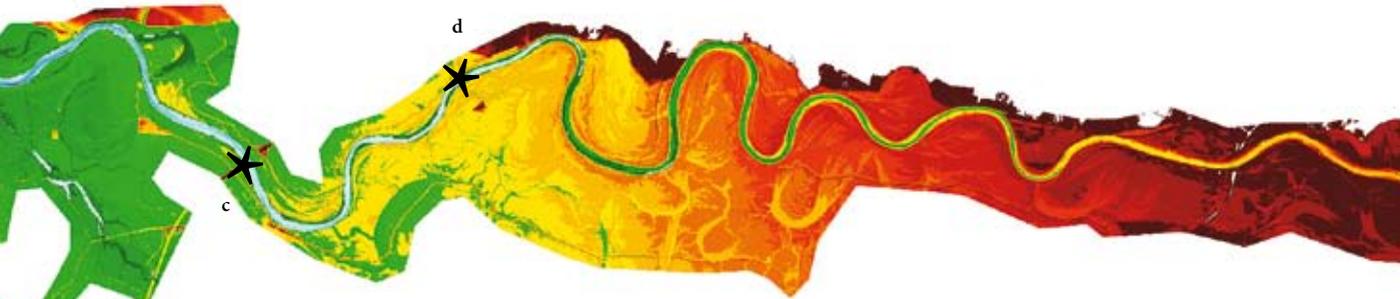
Auf noch einem anderen Weg versuchen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler unter Federführung der Universität Karlsruhe, extreme Niederschläge und die daraus resultierenden Hochwasserereignisse im Einzugsgebiet der Elbe bis zur Muldemündung zu berechnen [→ Projekt 16]. Ein Beispiel ist der Regen vom August 2002, der damals zur Elbeflut führte. Was würde eigentlich passieren, wenn die Temperaturen ein wenig stärker stiegen als damals, wenn die Luftfeuchtigkeit höher läge oder wenn das Niederschlagsfeld anders wäre? Genau das wollen die Forscherinnen und Forscher wissen, um künftige Extremfluten im Mündungsgebiet der Mulde in die Elbe in der Stadt Dessau-Roßlau besser einschätzen zu können.

→ ABB. 18 Elbe-Abschnitt zwischen Wittenberg und Aken in einem Digitalen Geländemodell

→ ABB. 19 Vergleich von Wasserstandslinien mit und ohne Deichbrüche



Also rechnen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der Universität gemeinsam mit ihren Kollegen vom Tschechischen Meteorologischen Instituts mit Computermodellen durch, welche Niederschläge bei solchen geänderten Bedingungen jeweils in ihrer Region zu erwarten wären und mit welchen Abflussmengen zu rechnen wäre. Mit diesen verschiedenen Szenarien füttern die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler dann ihre Computermodelle für den 60 Kilometer langen Elbe-Abschnitt zwischen der Lutherstadt Wittenberg und der 9000-Einwohnerstadt Aken. Diese Modelle können nicht nur Strömungsverhältnisse und Überschwemmungen simulieren, sondern berechnen auch, wie hoch das Wasser bei den jeweiligen Szenarien an den Deichen stehen wird. So identifizieren sie die Stellen, an denen die Fluten über die Deichkrone treten werden Sie können auch bewerten, welche Deichabschnitte infolge von Durchströmung durch den Deichkörper bruchgefährdet sind. Wissen die Verantwortlichen, wo ein solches *Versagen* droht, können sie rasch reagieren und ihre Kräfte bereits vor der Katastrophe auf diese Problemstellen konzentrieren. Die Simulationen zeigen außerdem, zu welchem Zeitpunkt Durchfahrten durch die Deiche vom Hochwasser geflutet werden würden und geben so die Möglichkeit, diese rechtzeitig zu schließen Nach Abschluss des Projektes sollen die Verantwortlichen diese Computersimulationen selbst durchführen.



Polderflutungen im Modell

Die Modelle der Forscher können aber auch die Situation nach einem Deichbruch berechnen, den man im Computer mit wenigen Mausklicks simulieren kann. Das ist nicht nur wichtig, um das vorausberechnete Überschwemmungsgebiet auf die Katastrophe vorzubereiten und zum Beispiel die dort bedrohten Menschen zu evakuieren. Das in die Regionen hinter den Deichen laufende Wasser fehlt ja auch der flussabwärts laufenden Hochwasserwelle, das dann entsprechend niedriger ausfällt. Also werden in den weiter talwärts gelegenen Regionen die Deiche weniger belastet und auch das Risiko des Überströmens verringert sich.

Interessant ist zum Beispiel die Situation an einem Polder, der wenige Kilometer flussaufwärts der Muldemündung in der Nähe der Gemeinde Klieken und der Elbebrücke der Autobahn 9 von Berlin nach Leipzig und München liegt. Bricht dort der Deich oder wird er von den Behörden geöffnet, sinkt der höchste Pegelstand flussabwärts und damit auch an der Mündung der Mulde und in der Stadt Dessau-Roßlau. Welche Deichbereiche in diesem Fall nicht mehr überströmungsgefährdet sind, ermittelt das Modell ebenfalls. Damit kann sich auch der Verantwortliche in der Region Dessau ein erheblich besseres Bild von der Lage machen als im August 2002. Damals gab es in diesem Bereich verschiedene Deichbrüche und dramatische Entwicklungen in den zum Teil bebauten Gebieten hinter den zerstörten Deichen.

Als im August 2002 an der Mulde Deiche brachen, strömte ein Teil der Fluten auch in den Tagebau Goitzsche und flutete diesen. Dadurch sank der Abfluss der Mulde auf rund 850 Kubikmeter pro Sekunde. Ohne diese Deichbrüche wäre der höchste Abfluss mit knapp 1200 Kubikmetern pro Sekunde nicht nur wesentlich stärker gewesen, sondern hätte auch erheblich länger gedauert, haben die Forscherinnen und Forscher ausgerechnet. Weniger ausgeprägt, aber im Prinzip ähnlich war auch an der Elbe die Situation nach Deichbrüchen flussabwärts von Dresden. Die Daten aus den Computern der RIMAX-Mitarbeiterinnen und -Mitarbeiter zeigen den Verantwortlichen vor Ort also, welche Fluten in Zukunft drohen. Das erleichtert die Planung von Vorsorge- und Schutzmaßnahmen enorm.



04

Das Erbe der Fluten:

Schwermetalle, Pestizide, Wasserschäden

Die Statistik der Versicherungsgesellschaften zeigt wie wichtig Maßnahmen zum Hochwasserschutz sind.

Danach gehört Hochwasser nicht nur zu den häufigsten und tödlichsten, sondern auch zu den teuersten Naturkatastrophen der Erde. Von allen Schäden, die solche Ereignisse weltweit anrichten, gehen etwa ein Drittel auf das Konto von Überschwemmungen.

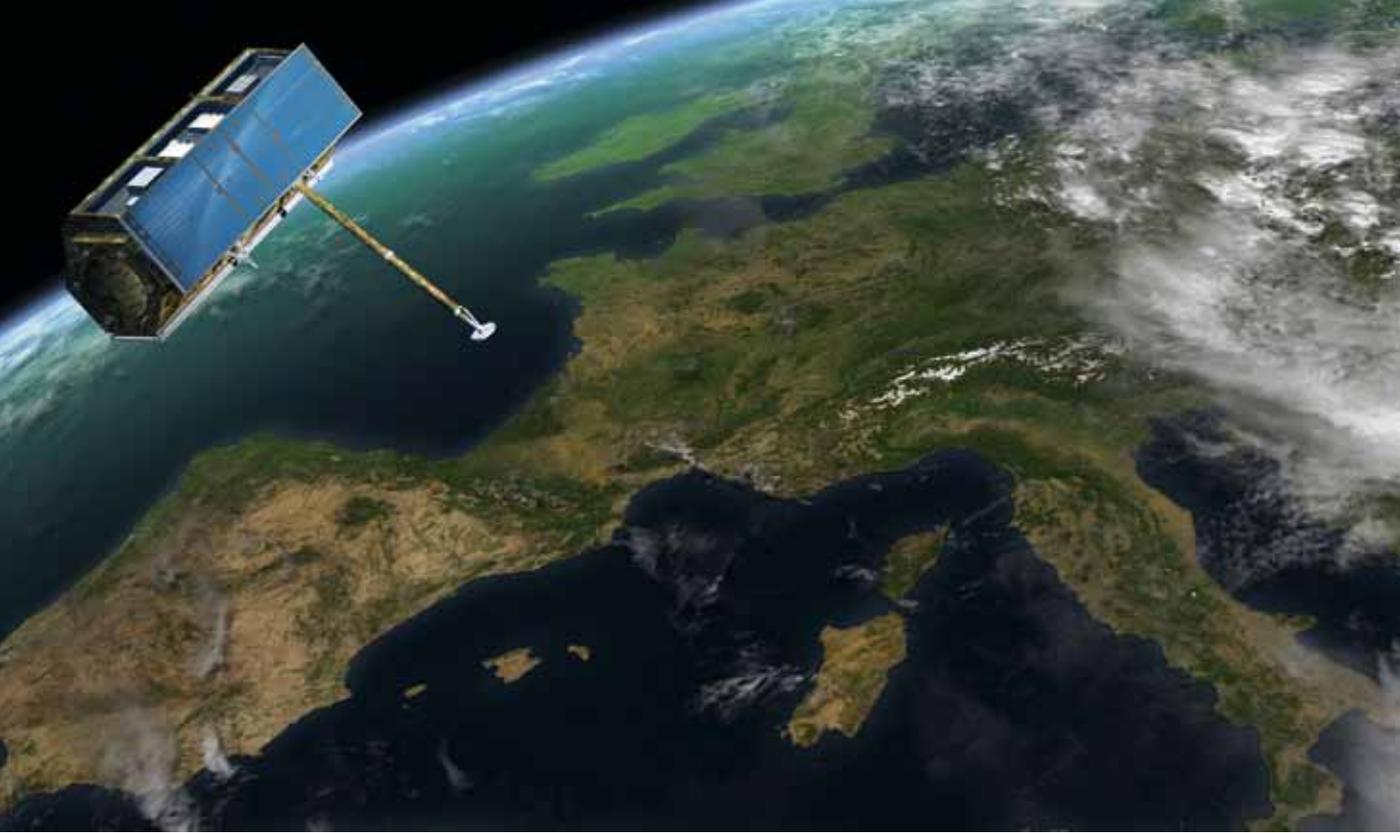
Die Münchener Rück beziffert die weltweiten volkswirtschaftlichen Flut-Schäden allein für die 1990er Jahre auf 200 Milliarden US-Dollar. Nach Angaben der Gesellschaft hat in den letzten Jahrzehnten keine Naturgewalt mehr Häuser zerstört und mehr Ackerland vernichtet. Angesichts solcher Dimensionen liegt es nahe, auch für Deutschland die Hochwasserschäden näher zu untersuchen. Gleich mehrere RIMAX-Projekte beschäftigen sich damit, wie man solche Schäden abschätzen und begrenzen kann.

DER BLICK AUS DEM ALL

Bei großen Hochwasserkatastrophen ist es notwendig, für die Einleitung von Maßnahmen des Katastrophenschutzes, sich schnell einen Überblick über das Ausmaß von Überflutungen zu verschaffen. Das ist bei sehr großen Hochwasserereignissen nur mit einem Blick aus dem All möglich. Dazu braucht man Satelliten, die auch durch dicke Wolkendecken schauen können – schließlich ist der Himmel bei gefährlichen Hochwasser-Wetterlagen oft bedeckt.

Eine spezielle Radartechnik namens SAR [*Synthetic Aperture Radar*] liefert Tag und Nacht und bei jedem Wetter Aufnahmen von der Erdoberfläche. Der neue deutsche Radarsatellit *TerrasAR-x*, der am 15. Juni 2007 vom Weltraumbahnhof Baikonur in Kasachstan gestartet wurde, arbeitet mit dieser wetterunabhängigen Technik. Es gibt noch einen anderen Vorteil, der diesen Satelliten zu einem besonders qualifizierten Hochwasserbeobachter macht. Wie das x in seinem Namen verrät, arbeitet er im so genannten x-Frequenzband bei einer Frequenz von 9,6 Gigahertz und einer Wellenlänge von 31 Millimetern. Damit verwendet er deutlich kurzwelligere Radarsignale als frühere Satelliten. Das bedeutet, dass er deutlich mehr Details an der Erdoberfläche erkennen kann.

Ältere Radarsatelliten haben zwar durchaus auch schon interessante Hochwasserbilder geliefert. Wenn es aber auf kleinräumige Details ankam, mussten sie häufig passen. Welche Straßenzüge in einer Stadt genau überflutet waren, konnten sie beispielsweise nur schwer erkennen. Der neue Satellit liefert nun aber gestochen scharfe Bilder



mit einer sehr hohen Auflösung. Für Flutkarten ist das ideal. Mit diesen Bildern kann man sehr rasch und genau feststellen, welche Flächen überschwemmt sind und welche Schäden das Hochwasser angerichtet hat. Neben *TerrasAR-X* soll auch ein weiteres europäisches x-Band Radar-System namens *Cosmo-SkyMed* Daten für die Hochwasserkartierung liefern. Der letzte der vier dafür nötigen Satelliten startet 2009.

Wie aber lassen sich die neuen x-Band-Daten am besten für das Hochwassermanagement nutzen? Mit dieser Frage beschäftigt sich das RIMAX-Projekt *SAR-HQ* unter Federführung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt [→ Projekt 8]. Die Forscherinnen und Forscher entwickeln neue, verfeinerte Methoden für eine zeitnahe Verarbeitung und Auswertung der Daten. So sollen die Krisenmanager bei Hochwasserkatastrophen sehr schnell und zuverlässig genaue Informationen darüber bekommen, wo gerade welche Notmaßnahmen gefragt sind.

Dabei ist frühzeitiges Reagieren entscheidend. Möglichst kurz nach dem Höhepunkt des Hochwassers sollten daher schon die aus den Radardaten errechneten Flutkarten zur Verfügung stehen. Einen wichtigen Zeitgewinn versprechen sich die Forscher dabei vor allem von einer Kombination der Informationen von *TerrasAR-X* und *Cosmo-SkyMed*. Doch nicht nur für die Bewältigung der akuten Krise sind die Flutkarten ein nützliches Hilfsmittel. Auch wenn man die Hochwasserrisiken eines Gebietes im Vorfeld einschätzen oder im Nachhinein die angerichteten Schäden dokumentieren und den Wiederaufbau planen will, hilft der Blick aus dem All weiter.



→ ABB. 20 Künstlerische Darstellung von TerraSAR-x über Europa

→ ABB. 21 Wasserfläche der Überflutung um Tewkesbury, England, abgeleitet aus hochauflösenden TerraSAR-x Daten [Aufnahmezeitpunkt: 25.07.2007; dunkelblau: Normalwasserpegel, hellblau: Überflutungsfläche]

GIFTIGE FRACHT

Hochwasserschäden entstehen nicht nur durch die zerstörerische Kraft des Wassers selbst. Denn mitunter führen die Fluten auch noch gefährliche Schadstoffe mit sich, die in den überschwemmten Gebieten verteilen. Ein Teil dieser Substanzen stammt häufig aus gefluteten Industriebetrieben und Kläranlagen, Öltanks und Bergbaugebieten. Doch auch die Böden enthalten oft Belastungen aus Pflanzenschutzmitteln und Schwermetallen, die vom Hochwasser mitgerissen und später anderenorts wieder abgelagert werden. Auch diese Schadstoffe müssen bei einem umfassenden Management der Hochwasserrisiken berücksichtigt werden. Wo werden die Schadstoffe abgelagert? Welche Konsequenzen hat das für die spätere Nutzung der überfluteten Flächen?

Mit solchen Fragen haben sich Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler unter Federführung des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung *UFZ* in Magdeburg beschäftigt [→ Projekt 20]. Als Untersuchungsgebiet für ihr *SARISK* genanntes Projekt haben die Forscher einen besonders hochwassergefährdeten und schadstoffbelasteten Abschnitt der Mulde gewählt. Dieser Nebenfluss der Elbe fließt durch die Industrieregion Bitterfeld, die mit zahlreichen Altlasten angereichert ist. Gewässer und Aue sind mit Schwermetallen belastet, die als Abfallstoffe im Kupfer-, Zinn- und Uranbergbau des Erzgebirges entstanden.

Das August-Hochwasser des Jahres 2002 hat große Mengen dieser in Jahrzehnten abgelagerten Schadstoffe mitgerissen und umgelagert. Dabei ist ein Teil der giftigen Fracht auch in Siedlungen gelandet.

So haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler nach der Flut in den Orten entlang der Mulde erhöhte Arsenkonzentrationen im Hochwasserschlamm gemessen. Um Gesundheitsgefahren zu vermeiden, haben die Behörden daher vorsorglich den Sand auf Spielplätzen austauschen und den Boden von Sportanlagen und Parks tief umgraben lassen.

Für künftige Überschwemmungen würden die Betroffenen solche Risiken natürlich gern besser einschätzen können. Daher untersuchen die SARISK-Mitarbeiterinnen und -Mitarbeiter nun, wie sich die Ausbreitung solcher Schadstoffe möglichst genau berechnen lässt. Dazu koppeln sie mehrere Computermodelle, um alle am Transport beteiligten Vorgänge erfassen zu können. Für dieses komplizierte Gesamtmodell brauchen sie nicht nur die üblichen Bausteine, die das Gelände, den Wasserhaushalt und die Abflussverhältnisse darstellen. Zusätzlich muss der Computer auch ausrechnen können, wo die Strömung Sedimente abträgt, wie weit sie das mitgerissene Material transportiert und wo sie es wieder ablagert.

So lässt sich auf dem Bildschirm durchspielen, wie sich Wasser- und Sedimentbewegungen bei unterschiedlich starken Hochwasser-Ereignissen verändern. Die Forscherinnen und Forscher haben dabei verschiedene Szenarien simuliert. Das Computermodell zeigt zum Beispiel, dass die Stadt östlich der Leine einschließlich des Chemieparks innerhalb weniger Stunden komplett überschwemmt wird, wenn der Deich oberhalb des Muldestausees nicht standhält. Bis zur totalen Überflutung mit Wassertiefen von bis zu einem Meter bleiben nach den Berechnungen der Forscher etwa 18 Stunden Vorwarnzeit.

Wie sich Schadstoffe bei einem Hochwasser im Gelände verteilen, hängt aber nicht nur vom Ausmaß der Überflutungen und von den Strömungsverhältnissen ab, sondern auch von den chemischen und physikalischen Eigenschaften der jeweiligen Substanz. Deshalb wurde von SARISK auch ein Modellbaustein entwickelt, der die Freisetzung und Ausbreitung einzelner Schadstoffe simulieren kann. Für verschiedene Hochwasserszenarien lässt sich so ausrechnen, auf welchen Flächen des Untersuchungsgebietes welche Mengen Arsen, Blei, Quecksilber, Zink oder Cadmium abgesetzt werden. Auch die Wege der Pestizide Hexachlorcyclohexan [HCH] und DDT und der Heizölteppiche aus leckgeschlagenen Tanks kann man auf dem Bildschirm verfolgen. Dabei liefern die Modelle sehr realistische Ergebnisse. Jedenfalls stimmen die berechneten Werte für Bleibelastungen sehr gut mit tatsächlich nach dem Hochwasser gemessenen Werten überein.

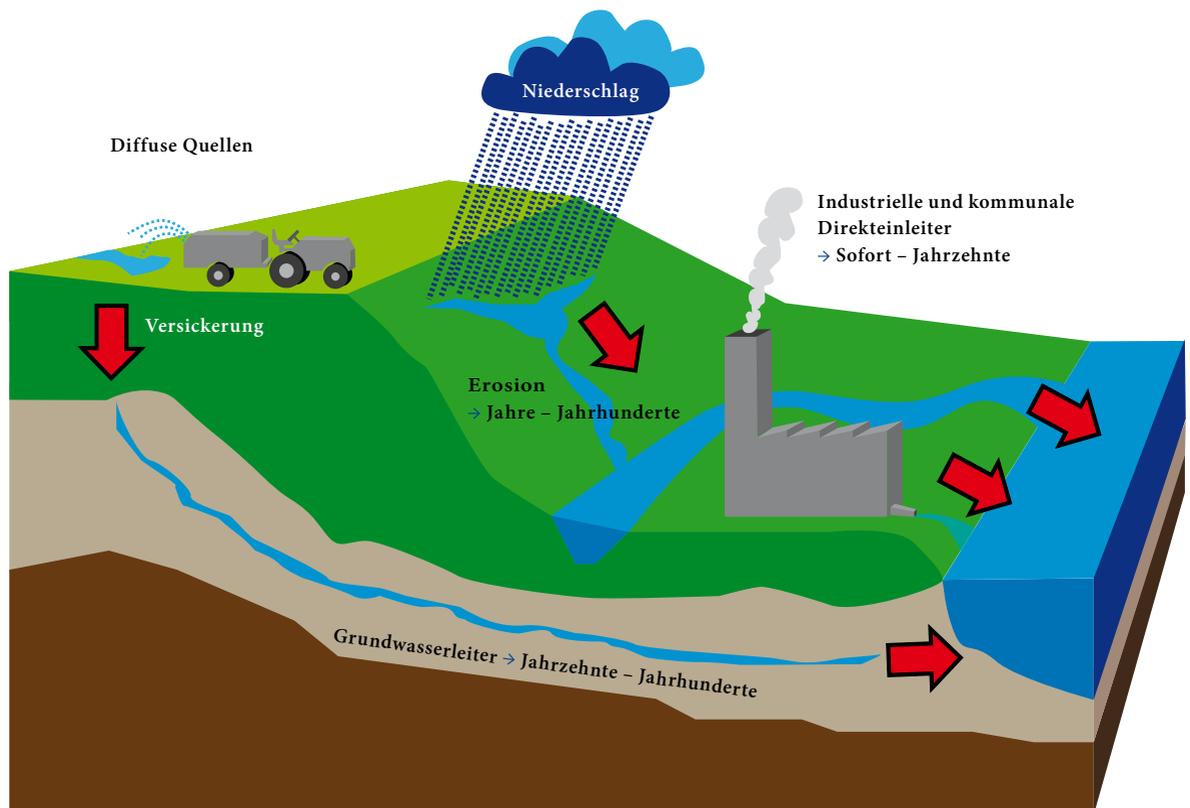
Die Forscherinnen und Forscher wollen sich abschließend ein Bild davon machen, welche Risiken von den Schadstoffbelastungen der einzelnen Flächen tatsächlich ausgehen. Also analysieren sie, in welchem Umfang die Schadstoffe aus dem Boden in Nutzpflanzen und Viehfutter aufgenommen werden. Die von den jeweiligen Substanzen ausgehenden Gesundheitsrisiken versuchen sie ebenso in Zahlen und Formeln zu fassen, wie die Schäden durch Ölablagerungen. Aus diesen Daten lassen sich dann Risikokarten der Schadstoffbelastungen entwickeln, die der Stadt und dem Landkreis Bitterfeld den Umgang mit den Schadstoffausbreitungen bei Hochwasser erleichtern sollen.

HOCHWASSERSCHUTZ UND TRINKWASSERGEWINNUNG

Besonders häufig landet schadstoffbelastetes Flusswasser auf solchen Flächen, die eigens als Überflutungszonen vorgesehen sind. Solche Retentionsgebiete leisten einen wichtigen Beitrag zum Hochwasserschutz, weil sie einen Teil der Wassermassen aufnehmen

04.3

→ ABB. 22 Eintragspfade und Eintragszeiträume für Schadstoffe in Gewässer



und zwischenspeichern. Diese können dann erst einmal nicht in die nächste Stadt strömen und dort die Hochwassergefahr verschärfen. Andererseits sehen es vor allem die Betreiber von Wassergewinnungsanlagen nicht gern, wenn in ihrer Nachbarschaft solche Rückhalteflächen angelegt werden sollen. Denn sie befürchten, dass die Qualität des Grundwassers unter dem Eintrag von Schadstoffen leiden könnte. Besonders bei extremem Hochwasser könnte die Belastung ihrer Einschätzung nach so stark ansteigen, dass kein einwandfreies Trinkwasser mehr gefördert würde und die Anlagen für längere Zeit stillgelegt werden müssten.

Wie groß aber ist diese Gefahr wirklich? Gibt es tatsächlich so starke Interessenskonflikte zwischen Trinkwassergewinnung und Hochwasserschutz? Und wie lassen sich diese entschärfen? Mit solchen Fragen beschäftigen sich Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler unter Federführung der Stadtwerke Karlsruhe im RIMAX-Projekt *HOT* [→ Projekt 35]. Untersucht haben die Forscherinnen und Forscher den Raum Kastenwört bei Karlsruhe. Dort ist sowohl ein Retentionsraum für Rheinhochwasser als auch der Bau eines Trinkwasserwerkes in unmittelbarer Nachbarschaft geplant.

Wie gut vertragen sich diese beiden Vorhaben? Indizien können Analysen von Grundwasser- und Bodenproben aus dem Gebiet liefern. Damit lässt sich feststellen, ob das Rheinwasser schon heute zu Belastungen führt. Die Ergebnisse der *HOT*-Experten sind eindeutig: Schon bei normalen Wasserständen hat der Rhein einen Einfluss auf den Zustand des Grundwassers in seiner Umgebung. Wenn er aber wie im August 2007 Hochwasser führt, verstärkt sich dieser Effekt: Nicht nur vom Fluss selbst, sondern auch über einen Altarm und ein kleineres Gewässer werden schadstoffbelastete Wassermassen ins Grundwasser eingetragen. Die Bodenproben verraten auch, dass sich an häufiger überschwemmten Stellen deutlich mehr Schadstoffe ansammeln als an solchen, die meistens trocken bleiben.

Interessant ist natürlich die Frage nach der Gefährlichkeit dieser Substanzen. Die Forscher haben getestet, welche Wirkungen an Schwebstoffe aus dem Rhein gebundene und im Boden abgelagerte Schadstoffe aus dem Überflutungsgebiet auf Lebewesen haben. Dabei haben sie vor allem mögliche Wirkungen nachgewiesen, die denen der extrem giftigen Dioxine ähneln.

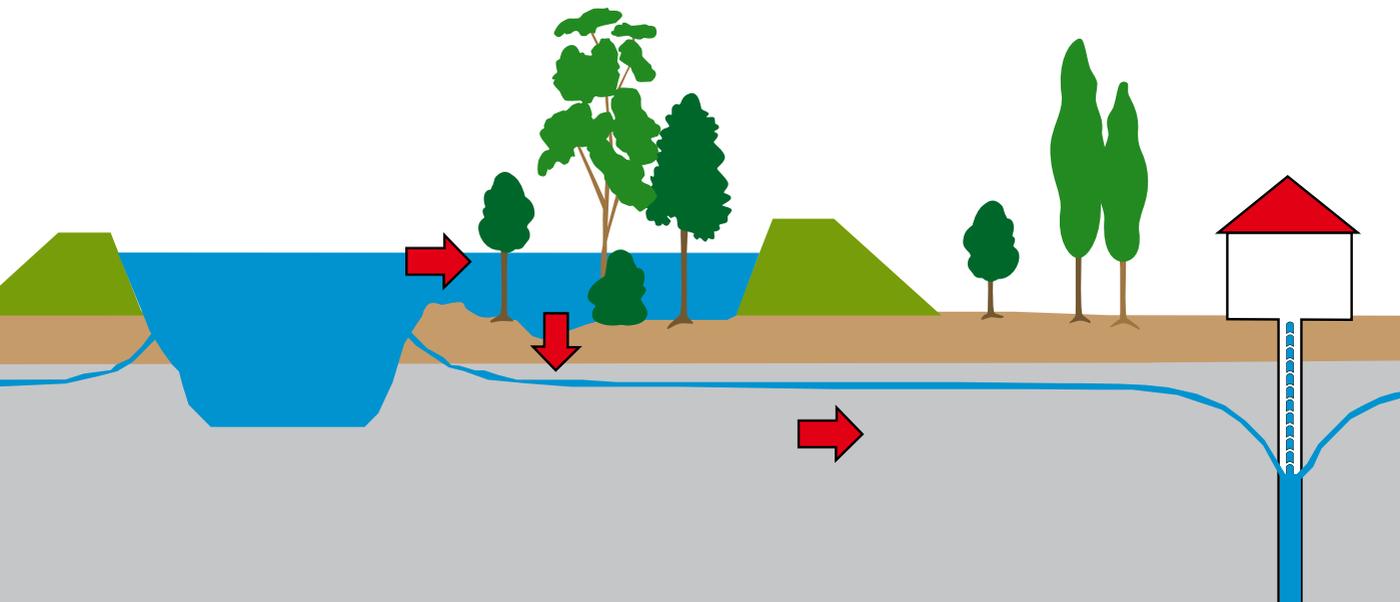
Es besteht also kein Zweifel daran, dass der Rhein trotz aller Bemühungen um seine Reinhaltung noch eine ganze Reihe von problematischen Substanzen im Gepäck hat. Ein Teil dieser Fracht hat sich im Wasser gelöst, manche Verbindungen sind aber auch an das von der

Strömung mitgerissene Sediment gebunden. Um die Größenordnung dieser Belastung abschätzen zu können, haben die Forscher gemessen, wie viele Schwebstoffe der Rhein normalerweise in das Untersuchungsgebiet trägt. Chemische Analysen dieser Schwebstoffe und des Wassers selbst verrieten dann mehr über die Schadstoffgehalte. So lässt sich berechnen, welche Mengen von gefährlichen Verbindungen ein Hochwasser überhaupt in das Überschwemmungsgebiet transportieren kann.

Die nächste Frage ist, wo sich diese Substanzen ablagern. Das kann man mit Computermodellen herausfinden, die Strömungs- und Transportverhältnisse bei verschiedenen Hochwasserverhältnissen simulieren. In seiner virtuellen Aue lässt der Rechner grobes Material vor allem in der Nähe des Flusses zu Boden sinken, wo die Fließgeschwindigkeiten noch relativ hoch sind. Feines Material dagegen verteilt er im gesamten Überschwemmungsgebiet, das meiste davon findet sich allerdings an den Stellen mit der größten Wassertiefe. Aus der Menge der Sedimente und dem Schadstoffgehalt lässt sich dann abschätzen, wo sich die größten Mengen schädlicher Substanzen ansammeln.

Der Aufbau des Bodens entscheidet darüber, welcher Teil dieser abgelagerten Belastung ins Grundwasser sickern kann. Auch diese Vorgänge haben die Forscherinnen und Forscher gemessen und mit Modellen berechnet. Direkt an landseitigen Deichen sowie an ehemaligen Baggerseen und anderen Stellen mit einer flachen

→ ABB. 23 Transportpfad der Schadstoffe von der Hochwasserwelle zum Wasserwerk



Bodenschicht gelangen demnach die meisten Schadstoffe ins Grundwasser. Auch Wurzelbahnen und Wurmrohren sorgen dafür, dass die Substanzen während eines Hochwassers in tiefere Schichten verlagert werden.

Nicht jede Verbindung, die ins Grundwasser gelangt, muss zwangsläufig im nächsten Wasserwerk landen. Schließlich leben in Boden und Grundwasser zahllose Mikroorganismen, die viele – jedoch nicht alle – Schadstoffe abbauen können. Also haben die Forscherinnen und Forscher die biologische Abbaubarkeit verschiedener im Rhein vorkommender Verbindungen im Labor getestet. Schadstoffe, die nach 25 Tagen mindestens zur Hälfte abgebaut sind, gelten als nicht relevant für den Betrieb von Wasserwerken. Dies konnte nicht allen Verbindungen attestiert werden. Manche Abbauprodukte von Pflanzenschutzmitteln und auch etliche Wirkstoffe aus Medikamenten erwiesen sich als sehr stabil. Sie erfüllten das 25-Tage-Kriterium nicht und haben daher genügend Zeit für ihre Reise zum nächsten Wasserwerk.

Den Weg der Schadstoffe bis dorthin können die Forscherinnen und Forscher mit drei aufeinander abgestimmten aufwändigen Rechenmodellen simulieren, das sie im Rahmen von HOT entwickelt haben. Es verrät, unter welchen Bedingungen die versickerten Schadstoffe die nahe gelegenen Wassergewinnungsanlagen tatsächlich erreichen könnten. Ziel ist es natürlich, dies möglichst zu verhindern. Leitgedanke ist dabei das Multi-Barrieren-Prinzip, so dass mit Schadstoffen belastete Wassermassen und Schwebstoffe bei einer Flutung des Rückhalteraaumes mehrere verschiedenartige Hindernisse überwinden müssen und nicht ungehindert in die naheliegende Wasserversorgung gelangen können. Die Forscher erstellen daher aus ihren Projektergebnissen eine Empfehlung mit Maßnahmen, die künftige Konflikte zwischen Hochwasserschutz und Trinkwassergewinnung vermeiden oder zumindest begrenzen können.

04.4

SCHWERMETALL UND SONNENBLUMEN

Bisherige Hochwasserschutzkonzepte beschränken sich bislang auf die Kontrolle der Wassermenge, um die Hochwasserschäden zu reduzieren. Fragen zum Eintrag von Schadstoffen in Überschwemmungsgebiete und die Konsequenzen für die landwirtschaftliche und bauliche Nutzung der überfluteten Flächen bleiben hingegen unberücksichtigt.

Mit dem Beginn von RIMAX aber änderte sich das. Eines der Vorhaben beschäftigt sich zum Beispiel mit der Frage, wie man eigens zum Hochwasserschutz angelegte Trockenbecken und andere Überflutungsräume am besten bewirtschaftet [→ Projekt 34]. Kann man

diese Flächen vielleicht als Schadstoffsinken verwenden, um gefährliche Schadstoffe zurückzuhalten und so die flussabwärts gelegenen Gebiete zu schützen? Und wie lassen sich die Überschwemmungsbereiche trotz der stofflichen Belastung noch nutzen? Um solche Fragen zu beantworten, haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Universitäten Stuttgart und Hohenheim in Zusammenarbeit mit dem Erftverband die Verhältnisse an der Erft in Nordrhein-Westfalen und der Rems in Baden-Württemberg genauer unter die Lupe genommen.

An der Erft gelangen beispielsweise bedingt durch historischen Erzbergbau noch bis heute große Mengen Schwermetalle in das Gewässer, dass sie mitschleppt und bei Hochwasser in seiner Aue verteilt. Hier gilt es also so weit wie möglich zu verhindern, dass kontinuierlich weitere Schwermetalle aus den Einzugsgebieten in den Fluss und seine Auen getragen werden. Manche der unerwünschten Schadstoffe stammen aus gut identifizierbaren Quellen wie etwa dem Mundloch eines Stollens. Andere aber werden bei starken Niederschlägen einfach von belasteten Flächen in den nächsten Bach oder Fluss geschwemmt.

Die Projektpartner haben Prozesse in Computermodellen nachgebildet, die aus Niederschlägen den Abfluss berechnen und dabei die mitgerissenen Bodenmengen berücksichtigen. So lassen sich die Flächen identifizieren, die besonders erosionsgefährdet sind und viel zur Belastung beitragen.

Auf regionaler Ebene [Einzugsgebiet] kann man dann mit einer Reihe von integrativen Maßnahmen dagegen steuern. In manchen Fällen genügt es schon, nicht längs, sondern quer zum Hang zu pflügen und große Felder mit ebenfalls quer zum Hang verlaufenden Erosionsbremsen wie Hecken zu unterteilen [Stichwort: Gute fachliche Praxis in der Landwirtschaft]. An anderen Stellen sollte man auf den Anbau von Kulturen wie Sonnenblumen, Mais, Rüben und Kartoffeln verzichten, die erst spät im Jahr und auch nur bis zur Ernte eine dichte Pflanzendecke bilden [→ s. Abb 24]. Denn in der restlichen Zeit sind die Böden Monate lang schutzlos erosiven Prozessen ausgesetzt. Auf besonders stark erosionsgefährdeten Flächen kann es auch sinnvoll sein, ganz auf Ackerbau zu verzichten und statt dessen diese Flächen auf Grünland oder Wald umzustellen. Denn der ganzjährige Bewuchs hält sowohl Wasser, als auch Sedimente und damit Schadstoffe deutlich besser zurück als jede Feldfrucht.

Selbst mit der besten Bewirtschaftung wird man aber auch in Zukunft wohl nicht verhindern können, dass bei Hochwasser belastete Sedimente ins Gewässer gelangen und anderenorts wieder abgelagert werden [→ s. Abb. 25].



→ ABB. 24 Schlechte fachliche Praxis: Beidseitiger Anbau von Mais ohne Gewässerrandstreifen mit Brennnesselbewuchs bis zur Oberkante der Uferböschung

→ ABB. 25 Flächenhafte Ablagerung von sandig-kiesigen Hochflutsedimenten während eines extremen Hochwasserereignisses



→ ABB. 26 Auslassbauwerk des Hochwasserrückhaltebeckens Horchheim an der Erft

So können auch Schwermetalle wieder in Bewegung geraten, die schon seit Jahrzehnten im Sediment geruht hatten. Die Frage ist natürlich, wo dieses Material dann landet. Schließlich richtet es ja nicht überall gleich viel Schaden an.

Für das an der Erft gelegene Hochwasserrückhaltebecken Horchheim haben die Forscher die Transport- und Absetzvorgänge mit Computermodellen simuliert. So haben sie für Hochwässer mit unterschiedlichen Jährlichkeiten bis hin zu einem extremen Hochwasser [HQ1000] berechnet, welche Strömungen entstehen und wo belastete Sedimente abgelagert werden. Das hängt nicht nur davon ab, wie schnell und wie hoch die Wasserstände steigen. Auch die Steuerung des Rückhaltebeckens hat einen Einfluss [→ s. Abb. 26].

Alle im Rahmen dieses RIMAX-Verbundprojektes erarbeiteten und erforschten Zusammenhänge werden in einem *Leitfaden zur Erarbeitung eines integrativen Bewirtschaftungskonzepts für Trockenbecken unter besonderer Berücksichtigung der stofflichen Komponente* zusammengefasst. Der Leitfaden ist als praxisrelevantes Instrument gedacht, das Entscheidungsträgern auf unterschiedlichster Ebene als Entscheidungsunterstützungs- und Hilfesystem dienen soll. Er enthält Handlungsempfehlungen und methodische Beschreibungen ebenso wie praktische Tipps zur Erarbeitung eines integrativen Bewirtschaftungskonzepts.

04.5

GEBÄUDE UNTER WASSER

Abschätzungen des Hochwasserschadens

Hochwasser hinterlassen neben Schadstoffen auch andere direkte und indirekte Schäden. Die Palette reicht von den Kosten für Rettungseinsätze, Evakuierungen und Aufräumarbeiten über vernichtete Ernten und ertrunkenes Vieh bis hin zu Schäden an Gebäuden, Wirtschaftsgütern und Straßen. Bisher werden die Hochwasserschäden in Deutschland in der Regel nur ziemlich grob geschätzt. Bei Gebäuden zum Beispiel schlägt sich die Art der Nutzung nieder, unterschieden wird also etwa zwischen Privathäusern und Fabriken. Sonst ist in den entsprechenden Formeln nur noch von Interesse, wie tief das jeweilige Gebäude unter Wasser stand. Viele andere Aspekte wie etwa der Einfluss von lokalen Vorsorgemaßnahmen, wie z.B. eine hochwasserresistente Baumaterialien, oder das Auftreten von zusätzlichen Schäden durch auslaufendes Heizöl und andere Verschmutzungen werden nicht berücksichtigt.

Im RIMAX-Projekt *MEDIS* [→ Projekt 7] unter Federführung des GeoForschungsZentrums Potsdam haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler für verschiedene Wirtschaftsbereiche neue Modelle

entwickelt, mit denen sich Schäden nun genauer abschätzen lassen. Grundlage war dabei die Fülle von neuen Schadensdaten, die nach der Elbeflut im August 2002 und weiteren Überschwemmungen im August 2005 und im April 2006 erhoben wurden.

So wurden nach dem Hochwasser 2002 knapp 1700 betroffene Haushalte im Einzugsgebiet von Elbe und Donau angerufen und nach den erlittenen Schäden und deren Begleitumständen gefragt. Dabei stellte sich heraus, dass bei Privathaushalten neben der Höhe der Überflutung vor allem Art und Wert des Gebäudes entscheidend sind. Besonders bei hohen Wasserständen kann es zum Beispiel einen großen Unterschied machen, ob ein Einfamilienhaus oder ein Wohnblock überschwemmt wird. Selbst wenn das Erdgeschoss mehr als einen Meter unter Wasser steht, ist bei einem Mehrfamilienhaus schließlich immer noch ein relativ großer Anteil des gesamten Gebäudes und damit auch des Wertes verschont geblieben. Ein Einfamilienhaus dagegen hat in der gleichen Situation schon einen viel größeren Teil seines Gesamtwertes verloren.

Solche Unterschiede fließen in einem ersten Rechenschritt in das Potsdamer Schadensmodell für Privathaushalte ein. Anschließend kann der Computer dann noch berücksichtigen, ob der Hausbesitzer Vorsorgemaßnahmen getroffen hat und ob das in den Gebäuden schwappende Wasser besonders stark mit Öl oder anderen Schadstoffen verunreinigt ist. Beide Faktoren haben nämlich einen großen Einfluss auf die Konsequenzen des Hochwassers für das jeweilige Gebäude. Während eine sehr gute Vorsorge die Schäden um mehr als die Hälfte verringern kann, führt stark belastetes Flutwasser zu fast 60 Prozent höheren Reparaturkosten.

Solche Kalkulationen kann das Modell für jedes einzelne Gebäude vornehmen. Da das aber bei großflächigen Überschwemmungen sehr aufwändig wäre, haben die Forscherinnen und Forscher auch statistische Daten ausgewertet und so für jede Gemeinde in Deutschland die typische Wohnbebauung ermittelt. So kann man die unterschiedlichen Arten und Qualitäten von Häusern je nach ihrer Häufigkeit einrechnen und erhält eine Angabe über die Schäden im gesamten Gebiet. Für die Gemeinde Eilenburg an der Mulde in Sachsen haben Forscherinnen und Forscher ihr Modell zu Testzwecken die Wohngebäude-Schäden des August-Hochwassers von 2002 ausrechnen lassen. Der Computer errechnete eine Summe von 95,4 Millionen Euro. Das liegt sehr nah an den damals von der Sächsischen Aufbaubank ermittelten Schäden/Reparaturkosten von 90,82 Millionen Euro.

Das Modell kann die tatsächlichen Schäden damit deutlich präziser ermitteln als bisher übliche Rechenverfahren. Mit einem ganz ähnlichen Modell berechnen die MEDIS-Mitarbeiterinnen und -Mitarbeiter auch die Schäden für Industrie und Handel. Berücksichtigt werden dabei die Größe der Firma und der Wirtschaftszweig. Im ersten Schritt berechnet der Computer Schäden an Gebäuden, Maschinen, Lagerbeständen und anderem Inventar. Wie bei den Privathaushalten kann man dann in einem zweiten Schritt Vorsorgemaßnahmen und Verunreinigungen des Wassers berücksichtigen.

Bei landwirtschaftlich genutzten Flächen sind überflutete Gebäude dagegen meist nicht das Problem. Deutlich größere Schäden entstehen dort durch zerstörte Ernten und verschlechterte Wachstumsbedingungen für die Pflanzen. Auch für diese Effekte haben die Forscherinnen und Forscher im Rahmen von MEDIS ein neues Modell entwickelt. Es berücksichtigt, in welchem Monat das jeweilige Hochwasser aufgetreten ist und welche Region in Deutschland es getroffen hat. Zudem ist entscheidend, was auf den überschwemmten Feldern angebaut wurde und wie lange die Feldfrüchte unter Wasser standen. Auch diese Berechnungen liefern realistische Ergebnisse, zeigt ein Vergleich der Computerwerte mit tatsächlich ermittelten Schäden nach dem Elbe-Hochwasser 2002.

Damit mehr betroffene Bürgerinnen und Bürger darüber informiert werden, wie sie sich und ihr Eigentum vor Hochwasser schützen können, wurde im MEDIS-Projekt umfangreiches Informationsmaterial zusammengetragen, das im Internet abrufbar ist. Daneben besteht für betroffene Bürgerinnen und Bürger die Möglichkeit, ihre Erfahrungen mit Hochwasser in eine Schadensdatenbank einfließen zu lassen [→ <http://nadine.helmholtz-eos.de>].

GEFAHR VON UNTEN

Wasserschäden an Gebäuden und Infrastruktur entstehen nicht nur durch über die Ufer getretene Flüsse. Mit jedem Hochwasser ist vielmehr auch ein hoher Grundwasserspiegel mit entsprechenden Wasserströmen verbunden, der vor allem Keller und andere unterirdische Räume bedroht. Vor dem Start von RIMAX wusste man allerdings so gut wie nichts darüber, wie groß diese Risiken tatsächlich sind. Daher untersuchen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler unter Federführung des Dresdner Grundwasserforschungszentrums zusammen mit der Stadt Dresden im Projekt *MULTISURE*, von welchen Faktoren das Ausmaß grundwasserbeeinflusster Schäden abhängt [→ Projekt 18]. Wieder gilt es dabei, verschiedene Gebäude- und Infra-

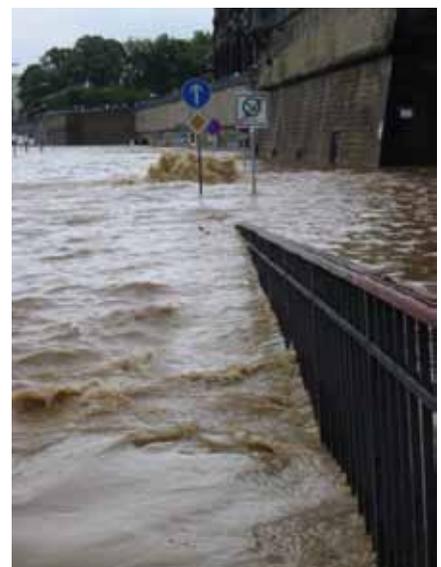
strukturtypen zu berücksichtigen. Auch diese Erkenntnisse fließen in ein Schadensmodell ein, mit dem sich dann auch die unterirdischen Flutschäden in Städten berechnen lassen.

Ein 3-Zonen-Modell

Die Dresdener Forscherinnen und Forscher interessieren sich nicht nur für die Zerstörungen, die das Grundwasser anrichten kann. Sie wollen auch besser verstehen, wie die Grundwasserströme mit dem Oberflächenwasser und der Kanalisation zusammenspielen. Die bisher angewandten Computermodelle haben sich jeweils auf ein oder zwei Komponenten konzentriert. In dem durch das Dresdner Grundwasserforschungszentrum koordinierten RIMAX-Projekt 3ZM-GRIMEX sollen alle drei Komponenten und deren Wechselwirkungen durch gekoppelte Modellierung abgebildet werden [→ Projekt 36].

Die Forscherinnen und Forscher gehen dabei von schon vorhandenen einzelnen Modellen für Grundwasser, Oberflächenwasser und Kanalnetz aus, die sich bereits bewährt haben. Für ihren Bereich können sie die bei Hochwasser entstehenden Wasserströme gut abbilden. Die Herausforderung war nun, diese drei Komponenten zu einem Gesamtmodell zu koppeln. Dazu mussten beispielsweise unterschiedliche zeitliche und räumliche Skalen der einzelnen Bausteine aufeinander abgestimmt werden. Mit einer speziellen Koppelungs-Software haben die Forscher dann die einzelnen Komponenten so verbunden, dass sie miteinander kommunizieren können. Oberflächenwassermodell, Kanalnetzmodell und Grundwassermodell rechnen nun jeweils eigenständig Wasserstände und Durchflussmengen in ihrem Bereich aus und tauschen diese Informationen dann in bestimmten Zeitabständen aus. Mit diesen neuen Angaben kann das jeweilige Einzelmodell dann wieder weiterrechnen.

Das so gekoppelte Modell haben die Forscher am Beispiel der Stadt Dresden getestet. Für den Hochwasserschutz kann es wichtige Informationen liefern, denn für unterschiedliche Überflutungsszenarien kann berechnet werden, wo sich welche Grundwasserstände einstellen werden und wo die städtische Kanalisation besonders stark belastet ist. Daraus kann man dann Strategien für das Management von Grundhochwasser ableiten. Wie gestaltet man die unterirdische Infrastruktur so, dass möglichst wenige Grundwasserschäden drohen? Welche Schutzstrategien für den unterirdischen Bereich sind die effizientesten? Derartige Fragen lassen sich mithilfe des Modells beantworten.



→ ABB. 27 Wasseraustritt durch die Kanalisation am Terrassenufer in Dresden

Wozu dienen Modelle?

Ganz ähnliche Ziele verfolgen auch viele andere der im Rahmen von RIMAX entwickelten Modelle: Mit ihrer Hilfe gewinnt man einen besseren Überblick über die bei Hochwasser ablaufenden Prozesse und die möglichen Schäden. So kann man mögliche Gegenmaßnahmen besser planen und deren Kosten und Nutzen abwägen. Welche Schäden sind in einer Gemeinde zu erwarten, wenn man den Hochwasserschutz nicht verbessert? Im Computer kann man das schon einmal für verschieden große Hochwasser durchrechnen. Dann fällt es leichter zu beurteilen, ob sich beispielsweise die Investition in einen neuen Deich oder andere technische Schutzmaßnahmen lohnen.

TECHNISCHER HOCHWASSERSCHUTZ

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, mit technischen Maßnahmen das Hochwasserrisiko zu verringern. So können mit Dämmen aufgestaute Rückhaltebecken im Oberlauf eines Flusses einen Teil der Wassermassen zurückhalten und später wieder abgeben. Oder es werden in flacheren Regionen größere Flächen neben dem Fluss als künstliche Überschwemmungsgebiete eingerichtet. In diese so genannten Polder kann man bei Gefahr einen Teil der Hochwassermassen einleiten, während man sie bei normalen Wasserständen zum Beispiel als Grünland bewirtschaftet.

Zusätzlich lassen sich Orte, Gebäude und andere gefährdete Objekte mit Deichen oder Schutzmauern sichern. Allerdings ist gerade in Städten nicht überall Platz für solche permanenten Bauwerke, die mancherorts zum Beispiel mitten über große Straßenkreuzungen oder andere Verkehrsknotenpunkte führen würden. An solchen Stellen kommen daher mobile Elemente wie zum Beispiel transportable Hochwasserschutzwände zum Einsatz. Diese können bei Bedarf rasch aufgebaut und nach dem Hochwasser leicht wieder entfernt werden.

A blue-tinted photograph of water with a concrete ledge and a striped vertical element. The water is in the foreground, showing ripples and reflections. A concrete ledge is visible in the middle ground, and a vertical element with horizontal stripes is on the right side. The number '05' is overlaid in white on the right side, with a horizontal line above it.

05

Technik gegen die Fluten



Es ist nicht immer sinnvoll einen neuen Deich zu bauen. Es gibt schließlich noch viele alte Hochwasserschutzanlagen, die oft bereits seit mehr als einem Jahrhundert ihren Dienst tun. Sind diese Bauwerke aber noch zeitgemäß? Wird ein Jahrhunderte alter Deich mit den Fluten fertig, die der Klimawandel in Zukunft bringen könnte?

05

Um solche Fragen zu beantworten, wartet man am besten auf ein Hochwasser und analysiert dann das Verhalten eines alten Deiches. Dieser Aufgabe widmen sich Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vom Institut für Grundbau und Bodenmechanik der Technischen Universität Braunschweig [→ Projekt 23].

Sie nehmen dazu einen Deich in der Nähe des Fachwerkdorfes Penkefitz unter die Lupe, das seit 1972 ein Stadtteil von Dannenberg in Niedersachsen ist. Dieser Ort war vom Elbehochwasser der Jahre 2002 und 2006 jeweils besonders stark betroffen. An zwei elf Meter voneinander entfernten Stellen dieses Deiches haben die Forscher jeweils an der Seite der Elbe und an der gegenüberliegenden Seite Sonden eingebaut, die den Porenwasserdruck messen. Alle zwölf Stunden melden diese Geräte die Temperatur- und Feuchtwerte aus dem Inneren des Deiches. Bei einem Hochwasser soll dieser Rhythmus auf einen Stundentakt verkürzt werden. Aus den direkt an ein Computernetzwerk gelieferten Werten kann man auf die Standfestigkeit der Schutzbauwerke schließen: Je höher die Feuchtigkeit, umso mehr Wasser ist bereits in den Deich gesickert und umso leichter kann er brechen.

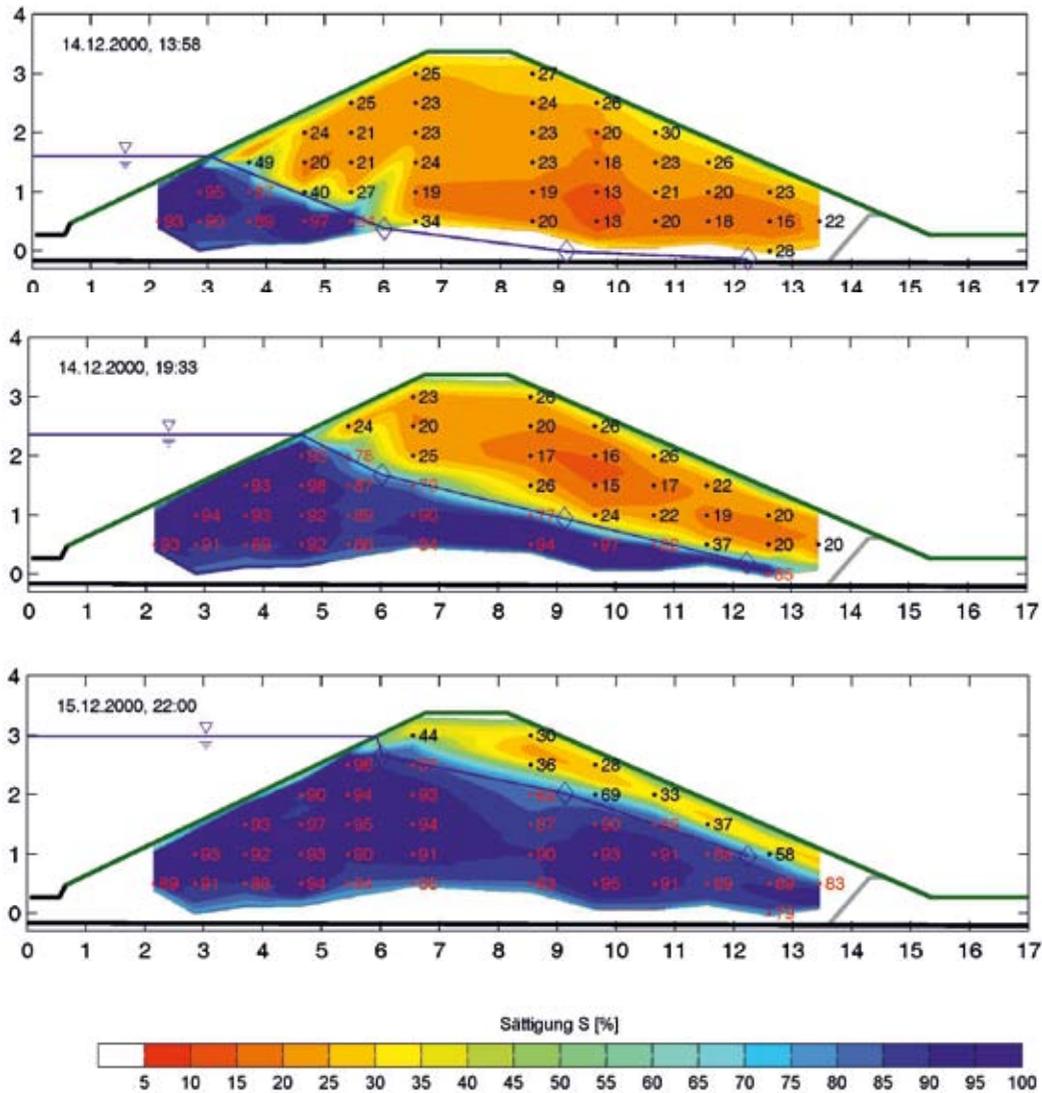
Um die Durchfeuchtung eines Deiches während eines Hochwassers zu verfolgen, kann man auch die Feuchteverteilung innerhalb des Deiches mit langen Flachbandkabeln aufnehmen.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vom Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik der Universität Karlsruhe und der Materialforschungs- und -prüfanstalt [MFPA] in Weimar schicken hierfür einen elektromagnetischen Impuls durch ein solches Kabel, der von der Feuchtigkeit im Untergrund unterschiedlich reflektiert wird [→ Projekt 26].

Aus dieser Antwort des feuchten Bodens auf den Impuls kann auf den Wasseranteil geschlossen werden. Auf diese Weise erhalten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler eine linienhafte – also nicht nur punktuelle – Information über die Wasserverteilung und den Durchfeuchtungsverlauf im Deich [→ s. Abb. 29]. Mit Hilfe geeigneter Modelle versuchen die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zu



→ ABB. 28 Versuch am Deich bei Penkefitz



→ ABB. 29 Mit Flachbandkabeln gemessene Feuchteverteilung innerhalb eines Deichkörpers als Sättigungsverteilung während eines Einstauversuches

prognostizieren, ob ein Deich bei vorliegender Hochwasservorhersage standsicher bleibt oder zu brechen droht. Zur Überprüfung des Systems wurden von den Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern beider Institute Deiche an der Unstrut in Thüringen und an der Elbe in Sachsen-Anhalt mit Messsystemen ausgerüstet.

BLICK IN DEN DEICH

Es gibt eine ganze Reihe von Methoden, mit denen Geophysiker einen Deich von außen *durchleuchten* können. Solche Verfahren bewerten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler unter Federführung der Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung in Berlin [→ Projekt 24]. Für ihr *DEISTRUKT* genanntes Projekt haben sie vier Deiche an den Flüssen Elbe und Mulde in Sachsen, Sachsen-Anhalt und Niedersachsen unter die Lupe genommen.

Verschiedene Einflüsse verändern im Laufe der Jahre den ursprünglichen Aufbau eines solchen Deiches: Die Belastungen durch die Hochwasser der vergangenen Jahrzehnte gehen zum Beispiel genauso wenig spurlos an ihm vorüber wie die Einflüsse des Menschen. Verkehr auf der Deichkrone, Landwirtschaft vor und hinter dem Deich, Schöpfanlagen, die nach und nach die Struktur der Anlage verändern – das alles bleibt nicht ohne Folgen. Wühlende Tiere können das Bauwerk unterminieren, Bäume schicken ihre Wurzeln unter den Deichkörper und schaffen so Bahnen, an denen bei einem Hochwasser bevorzugt Wasser entlang sickert. Andererseits bildet eine intakte Grasnarbe auf der Fluss-Seite des Deiches ein gutes Bollwerk gegen die Fluten, die ohne diesen Schutz bei einem Hochwasser unter Umständen Teile des Deiches abtragen können.

Den Aufbau des Deiches untersuchen die Forscher unter anderem mithilfe der Geoelektrik. Dabei fließt zwischen zwei Elektroden ein Gleichstrom durch einen Abschnitt des Bauwerks. Die Art des Bodens, der Anteil an Feinkorn, vorhandene Porosität sowie das Sickerwasser und dessen Salzgehalt verändern diesen Stromfluss. Da der elektrische Widerstand von mehreren Faktoren abhängt, kann man von einer geoelektrischen Messung allerdings nur selten direkt auf einen dieser Werte wie zum Beispiel die Porosität im Untergrund schließen. Erst zusammen mit der Analyse von Bohrungen gibt die Geoelektrik ein brauchbares Bild des Innenlebens eines Deiches. Kritisch wird es beispielsweise, wenn hohe elektrische Widerstände auf Sand oder Kies im oder unter dem Deich hinweisen. Dies kann bedeuten, dass der Deich bei Extremhochwasser an dieser Stelle durch- oder unterspült wird und schließlich bricht.

Kommt es nicht so sehr auf Details und Untersuchungstiefe an, können alternativ die schnellen, berührungsfreien elektromagnetischen Verfahren eingesetzt werden, die durch Induktion die elektrische Leitfähigkeit des Bodens bestimmen.



→ ABB. 30 Bodenradar-Untersuchungen auf einem Sanddamm

Es gibt aber auch noch andere Möglichkeiten, ein solches Bauwerk zu *durchschauen*. Das Georadar zum Beispiel sendet kurzwellige elektromagnetische Impulse durch den Deich und analysiert die zurückkommenden Echos. Da verschiedene Materialien Radarwellen unterschiedlich gut reflektieren, lassen sich damit Fremdkörper im Deich besonders gut erkennen. Da kann zum Beispiel ein Findling mit in den Deich eingebaut worden sein oder die Konstrukteure haben Spundwände unter dem Deich verschwinden lassen – das Georadar findet diese Strukturen relativ zuverlässig.

Bei der Seismik werden Schallwellen in den Untergrund geschickt, die von verschieden dichten Schichten unterschiedlich schnell weiter geleitet werden. Im einfachsten Fall schlägt der Forscher dabei mit einem Hammer auf den Boden oder lässt Gewichte auf den Untergrund fallen. *Geophone* genannte Sensoren registrieren die ankommenden Wellen, aus deren Laufzeit und Amplitude man Rückschlüsse auf die Struktur im Untergrund ziehen kann.

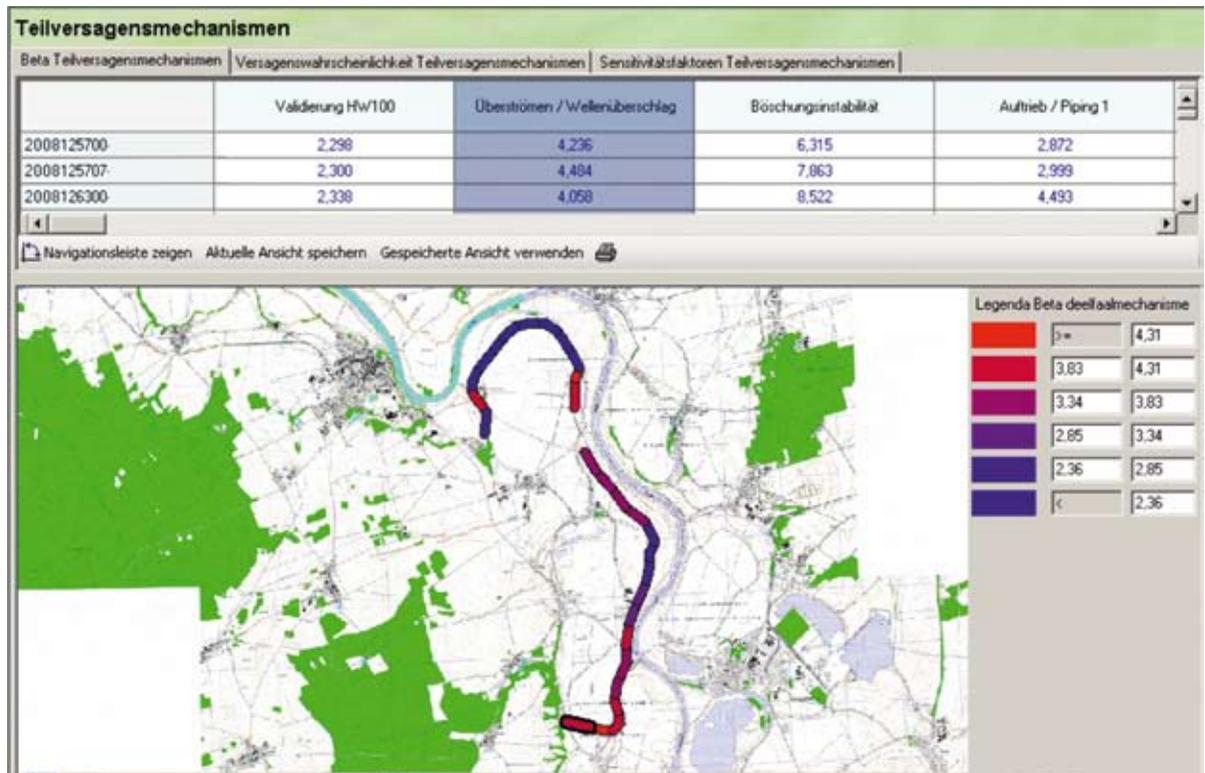
Bei der sogenannten *Ingenieurgeophysikalischen Sondierung* nutzen die Forscher Gamma- oder Neutronenstrahlen in einer Bohrung. Je dichter der Boden, umso besser werden Gammastrahlen absorbiert. Kommt nur wenig Gammastrahlung am Sensor an, ist der Bereich zwischen der Strahlenquelle und dem Sensor relativ dicht. Schnelle Neutronen dagegen werden vor allem von Wasser absorbiert. Damit kann man Dichte und Wassergehalt des Untergrundes messen, beides Größen, die für die Stabilität eines Deiches entscheidend sind. Diese Methode, die bei Deichuntersuchungen in der DDR erfolgreich eingesetzt wurde, sollte nach Ansicht der Forscher wieder verstärkt angewendet werden.

Aus den Ergebnissen wurde ein Handbuch zur geophysikalischen Deichuntersuchung zusammengestellt, das den Anwendern bei der richtigen Auswahl von Verfahren und Parametern hilft.

WO DROHT DER BRUCH?

Die Schwachstellen eines Deiches sollten natürlich möglichst schon lange vor einem aktuellen Hochwasser bekannt sein. Genau darauf zielt das Computerprogramm ab, das Forscher der Universität Stuttgart im Rahmen des Projekts *PC-River* entwickeln (→ Projekt 30). Sie bauen dabei auf ein ähnliches Software-Paket auf, wie es in den 1990er Jahren entwickelt wurde, um die Wahrscheinlichkeit eines Deichversagens in den Niederlanden zu berechnen.

Dieses Programm passen die Wissenschaftler für die Flüsse Elbe und Iller an die deutlich anderen Verhältnisse im Binnenland an.



→ ABB. 31 Benutzeroberfläche des Programms PC-Ring für eine Deichstrecke an der Elbe

Für jeden Deich werden zunächst wichtige, bei den Hochwasserbehörden normalerweise vorhandene Werte wie seine Höhe, der Neigungswinkel der Deichschulter, die Durchlässigkeit und die Grundwasser- verhältnisse eingegeben. Damit berechnet das Programm dann für die einzelnen Deichabschnitte, wie wahrscheinlich es ist, dass der Deich bei beliebigem Wasserstand überströmt wird. Ebenso lässt sich kalkulieren, wie hoch das Risiko für ein Unterströmen der Deich- basis ist, wie wahrscheinlich Teile der Deichschulter von den Fluten mitgerissen werden und ob vielleicht die Böschung an der vom Fluss abgewandten Seite abrutschen könnte.

Natürlich gehen auch weitere Werte wie die Dauer des Hochwassers oder die Windrichtung in die Rechnung ein. Denn diese Faktoren beeinflussen zum Beispiel die Durchfeuchtung des Deiches oder die Stärke und Richtung der Wellen, die Material vom Bauwerk abtragen könnten. Die Ergebnisse von PC-River zeigen den Verantwortlichen mögliche Schwachstellen ihrer Deiche und lassen auf das dadurch ent- stehende Risiko schließen. Mit dieser Information fällt die Entschei- dung leicht, an welchen Stellen die knappen Finanzmittel investiert werden sollten, um den bestmöglichen Hochwasserschutz zu erreichen.

05.3

MIT TEXTILIEN UND PVC-ROHREN GEGEN HOCHWASSER

Viele Deiche haben bereits ein sehr hohes Alter und müssten saniert werden, weil sie bei Hochwasser zu brechen drohen. Doch wegen der hohen Kosten können die gefährdeten Bauwerke nur im Laufe sehr vieler Jahre wieder komplett saniert werden. Dafür werden in RIMAX auch Verfahren und Materialien erprobt die ebenso effizient wie herkömmliche Sanierungsmethoden sind, aber deutlich preiswerter. Das können z. B. das Auffräsen des Deichkörpers und das Einbringen selbstverdichtenden Mörtels sein. An einem Forschungsdeich der Technischen Universität Darmstadt [→ Projekt 25] wird zusätzlich zu diesen Methoden untersucht wie Baumaterialien wie Recyclingmaterial und Geokunststoffe die Standsicherheit eines Deiches erhöhen können und wie diese Materialien der Erosion durch Hochwasser standhalten.

Für die kurzfristige Sicherung von Deichen, die nicht mehr dem Stand der Technik entsprechen, erproben Forscherinnen und Forscher der Universität Karlsruhe das Einbringen von Dränelementen in den Deichkörper [→ Projekt 27]. Im Hochwasserfall kommt es bei Deichen zu einer mit der Hochwasserdauer zunehmenden Durchfeuchtung von der Wasserseite hin zur Luftseite. Bei Deichen alter Bauart führt diese mit der Zeit zunehmende Durchfeuchtung zu einem Aufweichen der luftseitigen Böschung. Es besteht die Gefahr eines Deichbruchs. Durch eingebrachte Dränelemente aus geschlitzten PVC-Rohren, die vom luftseitigen Deichfuß bis in das Deichinnere reichen, kann das Wasser im Deichkörper sicher gefasst und abgeleitet werden. Ein Aufweichen der luftseitigen Böschung sowie der daraus evtl. resultierende Bruch des Deiches kann so verhindert werden und der Deich wird damit zusätzlich bewehrt.

→ ABB. 32 Einbringen von Dränelementen aus geschlitzten PVC-Rohren in einen Deich

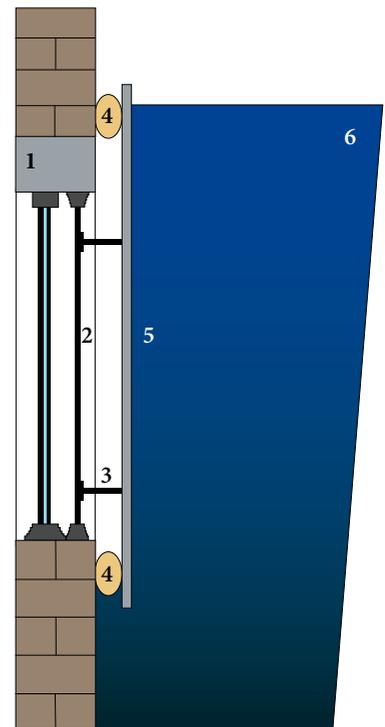


Eine Kombination von Deichertüchtigung und kontinuierlicher Überwachung untersuchen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vom Sächsischen Textilforschungsinstitut an der Technischen Universität Chemnitz [→ Projekt 28]. Schon bisher stabilisieren Ingenieure Deiche am Ufer von Flüssen mit Geotextilien. Um den aktuellen Zustand der Deiche zu kontrollieren, sind auch heute noch wie seit vielen Jahrhunderten Deichläufer im Einsatz. Personal für diese Aufgabe ist allerdings vor allem dann knapp, wenn ein Hochwasser kommt. Denn in solchen Krisenzeiten werden die Mitarbeiter oft für andere Aufgaben gebraucht.

Die Chemnitzer Forscherinnen und Forscher integrieren daher im Abstand von 50 Zentimetern parallel verlaufende Glasfasern, wie sie auch in der herkömmlichen Telekommunikationstechnik Verwendung finden, in die stabilisierenden Textilstrukturen ein. Diese Textilien werden auf der vom Fluss abgewandten Seite des Deiches parallel zum Deichfuß verlegt. Rutscht dort nun ein Stück des Deiches ab, werden auch die Glasfasern verschoben und können die Veränderung an die angeschlossene automatische Mess-Station melden. Dann kann die Hochwasserzentrale gezielt Hilfstrupps an diese potentielle Schwachstelle schicken, die ein Deichläufer vielleicht erst viel später entdeckt hätte. In Experimenten an Versuchsdeichen und Altdeichen wurde die Effektivität der Methode bereits in der Praxis untersucht.

Bei Hochwassern werden gerade Altbauten durch das Eindringen von Wasser beschädigt, weil dort das Mauerwerk oft schon sehr unregelmäßig ist und eine exakte undurchlässige Dichtung nicht angebracht werden kann. Für solche Fälle haben die Chemnitzer Forscherinnen und Forscher eine selbstdichtende Wassersperre entwickelt [→ Projekt 29].

Dazu füllen sie in einen Textilschlauch von fünf Zentimetern Durchmesser mit einem Tongranulat. An der gefährdeten Tür oder einem Fenster wird dann eine Hilfsstütze eingesetzt. Diese zieht über einen Spannmechanismus eine Platte an, die den gefährdeten Bereich abschottet. Rund um das Fenster wird der vorher eingeweichte Textilschlauch mit dem Granulat zwischen Schottplatte und Mauerwerk geklemmt. Beim Einweichen quillt das Granulat, dadurch lässt sich der dicke Schlauch plastisch verformen. Presst ihn nun das Schott gegen das Mauerwerk, kann der Schlauch selbst drei Zentimeter tiefe Unebenheiten ausgleichen. Ohne Nachdichten können Fenster und Türen so zuverlässig flutdicht gemacht werden. Läuft das Hochwasser ab, wird die Dichtung einfach wieder entfernt. Selbst nach einem Deichbruch können die Schäden mit Hilfe dieses Materials also deutlich verringert werden.



→ ABB. 33 Prinzipskizze des Schottsystems mit selbst dichtender Wassersperre
 1 Mauer mit eingesetztem Kellerfenster
 2 eingespannte Hilfsstütze
 3 Spannmechanismus
 4 mineralisch / textiles Dichtelement [Quellschlauch]
 5 Schottsystem
 6 Wasserforat gegen Schottsystem

RISIKO STAUDAMM

Staumauern und Staudämme an Hochwasserrückhaltebecken, Talsperren und Staustufen können bei Hochwasser versagen. Diese Bauwerke können bei extremen Hochwassern überströmt werden und im schlimmsten, aber äußerst unwahrscheinlichen Falle sogar brechen. Insbesondere bei einem Bruch des Absperrbauwerkes kann es zu gravierenden Folgen für die Menschen und ihren Besitz im Umfeld solcher Stauanlagen und in den weiter flussabwärts gelegenen Regionen kommen. Die aus einem Versagen resultierende Flutwelle richtet oft viel mehr Zerstörungen an, als ein Katastrophenhochwasser in einem vergleichbaren Fluss-System ohne Stauanlage. Wie groß ist aber die Wahrscheinlichkeit, dass Staubauberke versagen? Und welche Risiken bringt dies genau mit sich? Mit solchen Fragen beschäftigen sich Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler vom Leichtweiss-Institut für Wasserbau der Technischen Universität Braunschweig [→ Projekt 31]. Sie verfolgen die Fragestellung unter anderem an Henne- und Möhnetalsperre im Einzugsgebiet der Ruhr.

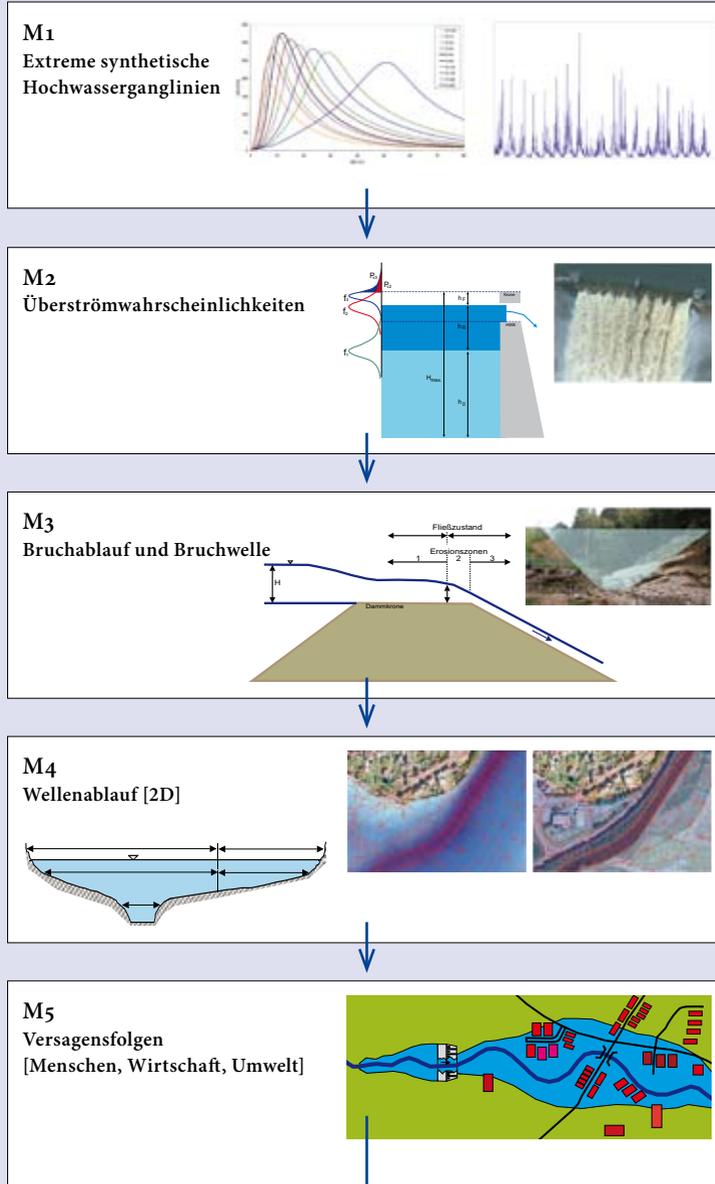
Um die Vorgänge an Staumauern und -dämmen nachzubilden, entwickeln und nutzen die Forscherinnen und Forscher Computermodelle. Aus den möglichen Niederschlagsmengen im Einzugsgebiet und den Abflüssen des jeweiligen Gewässers berechnen sie die Wahrscheinlichkeit für ein Überströmen der Stauanlagen und schätzen die Konsequenzen eines solchen Ereignisses ab. So lässt sich beispielsweise abschätzen, wie viele Menschenleben dadurch in Gefahr geraten und wie hoch die zu erwartenden wirtschaftlichen Schäden ausfallen könnten. Solche Erkenntnisse sind grundlegend, wenn man Risiken und Nutzen von Talsperren und anderen Stauanlagen gegeneinander abwägen will.

Die im Rahmen von RIMAX entwickelten Modelle und Vorgehensweisen kann man entweder verwenden, um die von bestehenden Anlagen ausgehenden Gefahren zu bewerten und anschließend zu verringern oder um neue Anlagen möglichst optimal zu planen und zu bemessen.

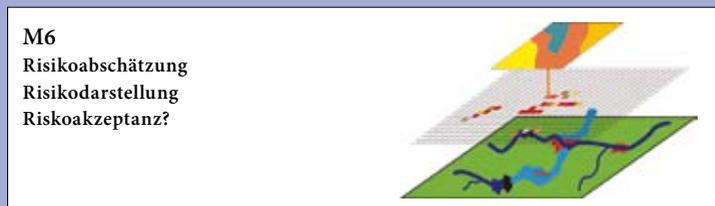
WAS NÜTZEN TALSPERREN UND POLDER?

Mit ganz ähnlichen Methoden lässt sich aber nicht nur die Gefahr eines Versagens von Staudämmen bewerten, sondern auch die Effektivität von Poldern und Talsperren für den Hochwasserschutz. Genau das haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler unter Federführung der Ruhr-Universität Bochum getan [→ Projekt 32].

RISIKOANALYSE

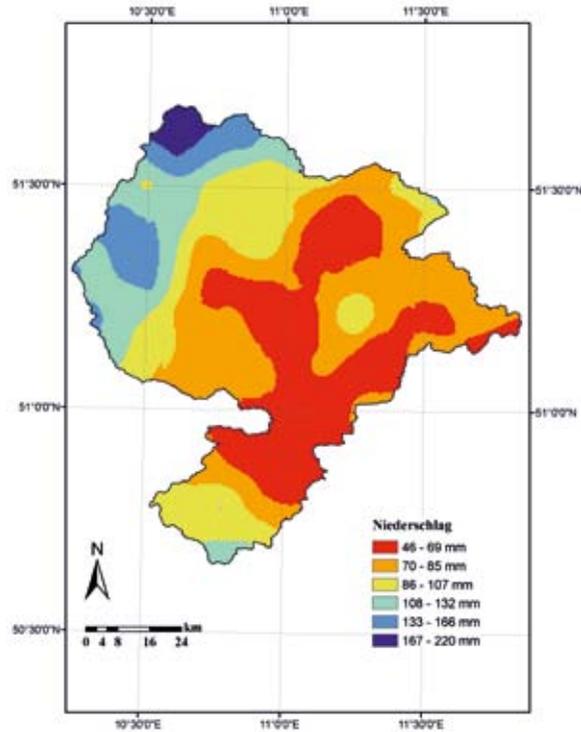


RISIKOBEWERTUNG



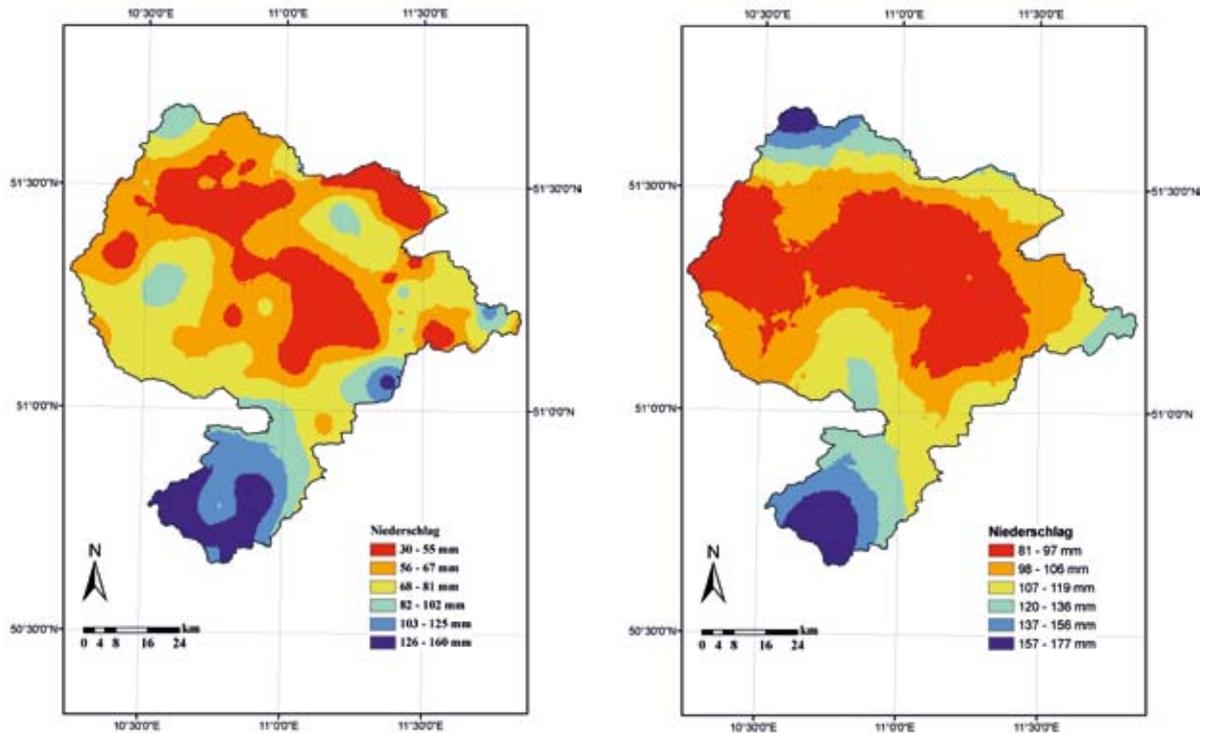
→ ABB. 34 Module zur Durchführung einer Risikoanalyse und -bewertung für Stauanlagen

→ ABB. 35 Karten typischer Niederschlagsverteilungen im Unstrutgebiet.



Für ihre Modelle haben die Forscherinnen und Forscher einen auf Statistiken und Wahrscheinlichkeitsrechnungen basierenden Regengenerator entwickelt, der ihre Computer mit langen Zeitreihen für die im Einzugsgebiet der Unstrut möglichen Niederschläge versorgt. Auf dieser Basis lassen sich für eine ganze Palette von möglichen Hochwasserszenarien die zu erwartenden Folgen ermitteln. Dabei berücksichtigen die Modelle natürlich auch den Einfluss von Poldern, Talsperren und anderen Einrichtungen, die bei Hochwasser die Fluten zurück halten sollen.

Die Forscherinnen und Forscher können durchrechnen wie sich die derzeit bestehenden und neu zu bauende Anlagen auswirken. Dabei werden sehr viele unterschiedliche Hochwasserabläufe simuliert: in den verschiedenen Teilgebieten der Unstrut laufen verschieden große Hochwasserwellen ab, die sich überlagern oder durch Speicher zurückgehalten werden. Diese Simulationen zeigen in welchem Umfang eine bessere Bewirtschaftung dieser Einrichtungen oder eine Erweiterung des ganzen Systems den Hochwasserschutz verbessern können.



So lassen sich Kosten und Nutzen solcher Maßnahmen besser gegeneinander abwägen. Auch können die Simulationen helfen, die Interessen von Stadt- und Landbevölkerung oder von Bewohnern der Regionen am Oberlauf und am Unterlauf eines Flusses unter einen Hut zu bringen. Die nämlich haben oft durchaus unterschiedliche Vorstellungen von einem guten Hochwasserschutzkonzept.

DER WASSER-KOMPROMISS

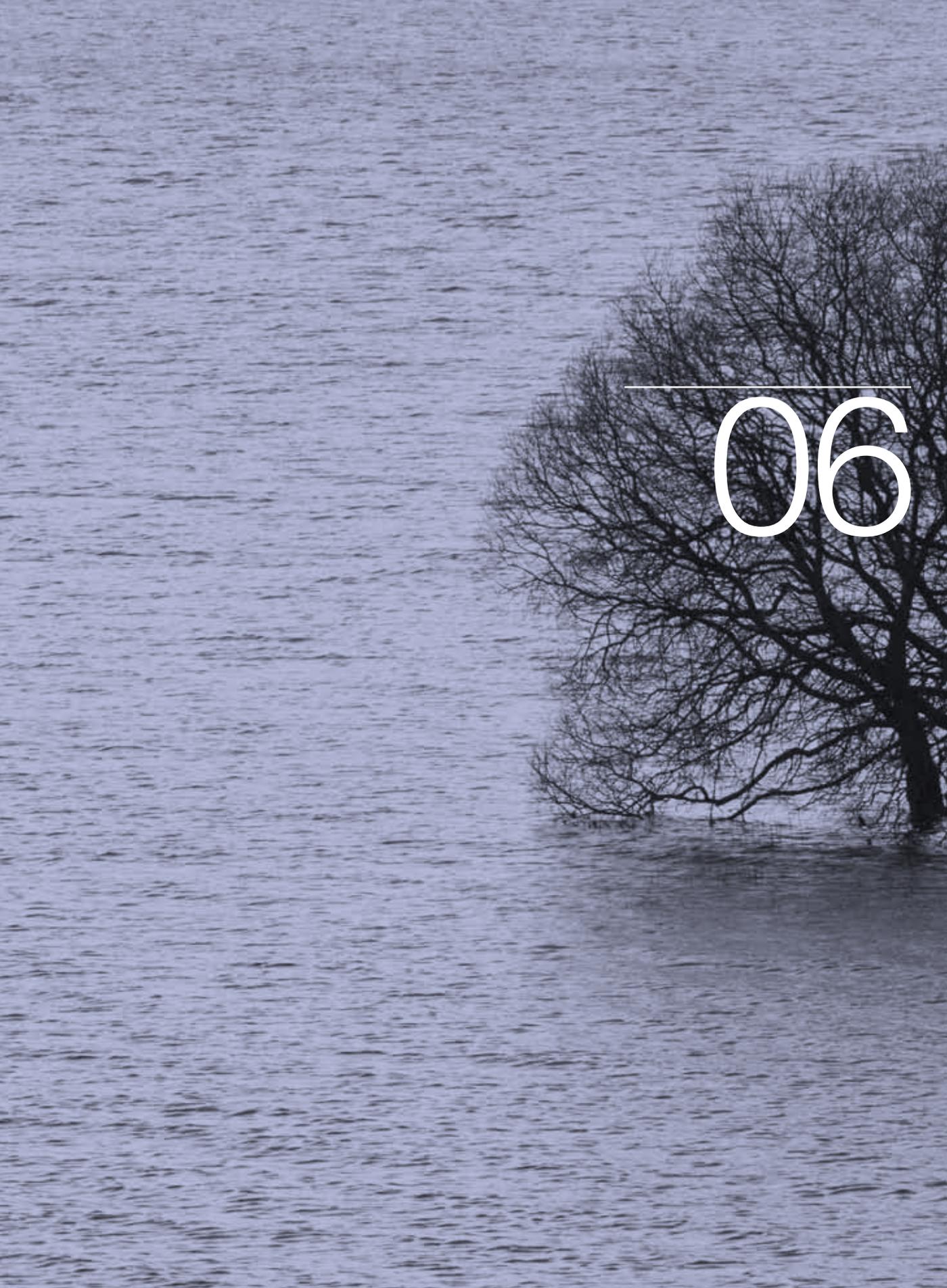
Anforderungen an die Talsperren

Hochwasserschutz ist immer auch eine Suche nach Kompromissen. An die Talsperren der Mittelgebirge werden zum Beispiel gleich eine ganze Reihe unterschiedlicher Ansprüche gestellt. Sie sollen die flussabwärts gelegenen Städte und Dörfer vor Hochwasser schützen, gleichzeitig aber auch als Trinkwasserspeicher und Erholungsgebiete dienen. Und trotz der zurückgehaltenen Wassermengen sollen auch die Tiere und Pflanzen der unterhalb gelegenen Fluss- und Auenlebensräume nicht unter Wassermangel leiden.

All das scheint auf den ersten Blick schwer zu vereinbaren. Im Interesse des Hochwasserschutzes ist es beispielsweise günstig, den Wasserstand in der Talsperre möglichst niedrig zu halten. Dann können im Hochwasserfall große Wassermengen gespeichert werden. Andererseits verlangen die Trinkwassersicherheit und viele Freizeitaktivitäten wie Schwimmen oder Bootfahren einen möglichst hohen Wasserstand. Neben all diesen Anforderungen muss die Sicherheit der Talsperre im Auge behalten werden, damit die Staumauern nicht versagen und eine Katastrophe auslösen.

Bei der Bewirtschaftung und Steuerung einer Talsperre gilt es, einen Kompromiss zwischen diesen verschiedenen Ansprüchen zu finden. Dabei hilft ein Verfahren, das Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an der Technischen Universität Dresden und der Technischen Universität Darmstadt entwickelt haben [-> Projekt 33]. Im Computermodell wird berechnet, welche Wassermengen bei verschiedenen Abflussverhältnissen aus der Talsperre strömen. Das ist entscheidend, wenn man die Auswirkungen verschiedener Steuerungsstrategien hinsichtlich unterschiedlicher Nutzungen beurteilen will.

Um den Einfluss der verschiedenen Optionen auf den Hochwasserschutz einschätzen zu können, muss das Modell einen Zeitraum zwischen einigen Stunden und einigen Tagen abbilden. Die Folgen für die Tier- und Pflanzenwelt kann man dagegen nur mit viel langfristigeren Simulationen über viele Jahre erfassen. Diese beiden Berechnungen haben die Forscherinnen und Forscher getrennt voneinander durchgeführt. Doch ihre Ergebnisse beeinflussen sich. Anhand der so gewonnenen Resultate kann man die Steuerung der Talsperre schließlich so optimieren, dass sie möglichst vielen Interessen gerecht wird.

A large body of water with a bare tree on the right side. The water is a deep blue-grey color with small ripples. The tree is dark and has many bare branches. The number 06 is overlaid on the right side of the image.

06

Nach der Flut ist vor der Flut:

Vorsorgen und Bewältigen

Schäden durch extreme Naturereignisse können durch Maßnahmen und Investitionen der Vorsorge und der Bewältigung reduziert werden.

Auch wenn die Bewältigung nicht vernachlässigt werden darf, liegt der Fokus eines nachhaltigen Risikomanagements auf der Vorsorge.

RETENTIONSVERMÖGEN NATÜRLICHER GEWÄSSER

Verschiedene nichttechnische Maßnahmen können als Vorsorge zur Stärkung des natürlichen Wasserrückhaltes in der Fläche beitragen und so die Abflussspitze [Scheitel] eines Hochwasserereignisses reduzieren. Das Retentionsvermögen beschreibt dabei die Fähigkeit eines Gewässerabschnittes zum Wasserrückhalt.

RETENTION - NATÜRLICHES REZEPT GEGEN HOCHWASSERSPITZEN

Bei Hochwasser treten Bäche und Flüsse über ihre Ufer und die Wassermassen überschwemmen die angegliederten Auen. Durch diese Ausbreitung der Wassermassen verlangsamt sich die Fließgeschwindigkeit und das Wasser fließt erst später wieder ab. Dieses Zurückhalten des Abflusses, das auch Hochwasserspitzen kappt, wird »Retention« genannt.

Die meisten europäischen Flüsse aber haben in den letzten Jahrzehnten und Jahrhunderten einen großen Teil ihrer natürlichen Überschwemmungsflächen verloren. Statt Auwäldern und Feuchtwiesen erstrecken sich an vielen Ufern heute Deiche mit Wohnsiedlungen, Industriegebieten und landwirtschaftlichen Nutzflächen dahinter. An diesen in ein Korsett aus Deichen gezwängten Gewässern verteilen sich die Fluten nach kräftigen oder lang anhaltenden Niederschlägen und Schneeschmelzen daher nicht mehr in der Aue, sondern strömen schnell und mit enormer Wucht zu Tal. Das erhöht in den flussabwärts gelegenen Orten die Hochwassergefahr. Auch schlängeln sich heute viele Mittelgebirgsflüsse nicht mehr durch die Landschaft, sondern sind begradigt – eine Maßnahme, die das Hochwasser ebenfalls schneller talwärts schießen lässt.

Wie groß der Einfluss verschiedener Maßnahmen auf die Retention und auf das Hochwassergeschehen ist, haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Universitäten Kassel und des Saarlandes und der Technischen Universitäten Braunschweig und Kaiserslautern in den Einzugsgebieten der Nahe [ca. 4.000 km²] in Rheinland-Pfalz und der Fulda [ca. 7.000 km²] in Hessen untersucht [→ Projekt 19].

→ ABB. 36 Durchströmter Auwald



Dabei wurde in dem Forschungsvorhaben ein allgemein anwendbares Bewertungsverfahren für die Retentionsfähigkeit von Gewässernetzen als Entscheidungshilfe für die Praxis bei der Bewirtschaftung kleinerer und mittlerer Gewässer entwickelt.

Als Abflussreduzierungen für ein Hochwasserereignis, das einmal in einhundert Jahren auftritt, wurden für die untersuchten Einzugsgebiete Werte zwischen 1 und 8% ermittelt. Insgesamt zeigt das Projekt, dass durch die Aktivierung der Retention ein nicht unerheblicher Beitrag zur Hochwasserminderung geleistet werden kann.

Den Flüssen wieder mehr Raum zu geben, ist somit eine durchaus erfolgversprechende Strategie. Die Modelle zeigen die Bereiche im Gewässernetz auf, in denen die Verbesserung des Wasserrückhaltes besonders groß ist. Diese Information ist unerlässlich für die Öffentlichkeitsarbeit im Vorfeld geplanter Maßnahmen sowie für deren Umsetzung.

SCHWACHSTELLEN IM HOCHWASSERMANAGEMENT

Hochwasserereignisse sind sowohl natürlich als auch anthropogen geprägte Phänomene. Die dadurch verursachten Hochwasserschäden bedeuten vielfach eine Belastung für die Volkswirtschaft und insbesondere für die persönlich betroffene Bevölkerung.

Wer Sachschäden und die Gefahr für Menschen so gering wie möglich halten will, benötigt ein umfassendes Hochwasserschutzkonzept. Neben dem klassischen Bau von Deichen, Dämmen und Hochwasserrückhaltebecken werden der Hochwasserwarndienst, die Bau- und Risikovorsorge sowie der vorbeugende Hochwasserschutz in derartige Konzepte eingebunden. All diese Bausteine sollten sich im Idealfall zu einem Gesamtkonzept ergänzen, dessen einzelne Teile

perfekt ineinander greifen. Das ist aber nicht immer der Fall. Deshalb richten Hochwasser auch in Deutschland immer wieder mehr Schaden an, als eigentlich nötig wäre. Die Fluten an Elbe und Donau im Jahr 2002 und etliche andere Ereignisse haben gezeigt, dass es beim Management von extremen Hochwasserereignissen noch einiges zu verbessern gibt. Wo es konkret hakt, haben Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus [BTU] und der Universität Bonn untersucht [→ Projekt 10]. Dazu haben sie Wasserwirtschaft, Katastrophenschutz und Raumordnung in zwei Gebieten an der Elbe analysiert, als Vergleich diente die Region Köln am Rhein.

Wie notwendig ein Hochwassermanagement ist, hatten die Elbarrainer eigentlich schon vor Jahrhunderten erkannt. So warnten bereits Ende des 18. Jahrhunderts Kanonenschüsse und Reiterstafetten die Bevölkerung vor drohenden Überschwemmungen, in den 1920er Jahren wurden zwei große Flutrinnen zum Schutz der Stadt Dresden gebaut. Allerdings hat sich das Hochwasserrisikomanagement seit damals keineswegs kontinuierlich weiter verbessert, zeigen die Analysen der Projektmitarbeiter. Denn zwischendurch gab es ja auch immer wieder längere Phasen ohne größere Katastrophen. Und wer nicht ständig mit einer Gefahr konfrontiert ist, neigt häufig zu Vergesslichkeit. Das führt dazu, dass schon bestehende Systeme nicht weiterentwickelt werden, manchmal sind sogar Rückschritte zu verzeichnen.

In einer Reihe von Befragungen und Workshops mit Experten aus Wasserwirtschaft, Katastrophenschutz und Regionalplanung haben die Projektmitarbeiter eine ganze Reihe von Schwachstellen identifiziert, unter denen das Hochwasserrisikomanagement an der Elbe bis heute zu leiden hat. Eines der Probleme ist wie so oft das Geld. Etliche der mit dem Hochwassermanagement betrauten Stellen klagen über zu wenig Personal und knappe Kassen. So können eigentlich nötige Maßnahmen, beispielsweise im technischen Hochwasserschutz, nur sehr langsam oder gar nicht umgesetzt werden. Auch fehlt es oft an genügend Zeit und Geld, um die nötigen Daten für ein funktionierendes Hochwasserkonzept zu beschaffen. Digitale Geländemodelle mit genauen Höhenangaben zum Beispiel sind teuer. Ohne sie aber kann man nicht beurteilen, welche Gebiete überschwemmungsgefährdet sind. Wegen der unterschiedlichen finanziellen Möglichkeiten der einzelnen Bundesländer liegen solche Informationen daher je nach Region in sehr unterschiedlicher Qualität vor.

DER TRANSFER IN DIE PRAXIS

Die einzelnen RIMAX-Projekte liefern zahlreiche Ergebnisse, die den Hochwasserschutz vor Ort ganz konkret verbessern können.

Damit diese neuen Erkenntnisse und verbesserten Methoden auch möglichst rasch den Weg in die Praxis finden, arbeiten an den Verbundprojekten nicht nur Wissenschaftler von Universitäten und Forschungsinstituten mit. Die Vorhaben beziehen vielmehr Akteure ein, die in unterschiedlicher Form mit Hochwasser und seinen Folgen zu tun haben. Die Palette der Projektpartner reicht dabei von Behörden des Bundes, der Länder und Kommunen über Wasserverbände, Ingenieurbüros bis hin zu Versicherungen und Privatunternehmen.

Ein neuer Weg wird durch die Zusammenarbeit mit der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. [DWA] beschritten. Im Sommer 2007 wurde im DWA-Hauptausschuss Hydrologie und Wasserwirtschaft-Fachausschuss Hochwasservorsorge eine Arbeitsgruppe [DWA HW4-5] zur Unterstützung der »Umsetzung von RIMAX-Ergebnissen in die Praxis« gegründet. Ihre Aufgabe besteht darin, das enge Praktikernetzwerk der DWA zu nutzen, um die Forschungsergebnisse möglich effektiv in praktische Anwendungen umzusetzen. Dabei sollen vor allem Anwender erreicht werden, die nicht an den RIMAX-Projekten beteiligt sind. Dazu werden von der Arbeitsgruppe inhaltliche Verbindungen zwischen RIMAX-Themen und anderen bestehenden Arbeitsgruppen abgefragt und Veranstaltungen organisiert/mitgestaltet [z.B. RIMAX-DWA Praktiker Workshop im Juni 2008 in Potsdam oder der RIMAX-Tag auf der Wasser-Berlin 2009] auf denen RIMAX-Ergebnisse, zugeschnitten auf praktische Belange vorgestellt werden. Die DWA-AG arbeitet hier eng mit der RIMAX-Koordination am Geoforschungszentrum in Potsdam zusammen.

KOMMUNALE HOCHWASSERPARTNERSCHAFT ELBE – DIE ZUKUNFT DER ELBE

Wenn Flüsse die Grenzen von Bundesländern überschreiten, gibt es auch noch andere Schwierigkeiten. Denn die Abstimmung und Koordination zwischen den jeweils zuständigen Stellen klappt nicht immer. Das ist mitunter auch innerhalb des gleichen Bundeslandes der Fall, wenn sich Mitarbeiter unterschiedlicher Verwaltungen oder Behörden zusammenarbeiten müssen. Um Lösungsvorschläge für den Hochwasserschutz zu erarbeiten, haben die Projektmitarbeiterinnen und Projektmitarbeiter Experten aus Politik, Verwaltung, Verbänden

und Wissenschaft, sowie Vertreter der verschiedenen Städte und Gemeinden entlang der Elbe an einen Tisch gebracht.

Nach dem Vorbild der *Hochwassernotgemeinschaft Rhein e.V.*, zu der sich mehr als 60 Städte, Gemeinden, Landkreise und Bürgerinitiativen am Mittel- und Niederrhein zusammen geschlossen haben, soll nun eine ähnliche Kooperation auch an der Elbe entstehen.

Ziel dieser *Kommunalen Hochwasserpartnerschaft Elbe* ist es, auf allen möglichen Gebieten des Hochwasserschutzes zusammenzuarbeiten und Informationen auszutauschen.

Bei einem funktionierenden Hochwasserrisikomanagement müssen nicht nur Fachleute agieren, sondern auch die Menschen vor Ort. Auch mit diesem Aspekt haben sich die Projektmitarbeiterinnen und Projektmitarbeiter beschäftigt. Die Analysen zeigen, dass sich in Sachen Öffentlichkeitsarbeit an der Elbe seit dem Hochwasser von 2002 einiges getan hat. Auf den Internetseiten des sächsischen Landeshochwasserzentrums [→ <http://www.hochwasserzentrum.sachsen.de>] kann man sich über die Pegelstände der Elbe und ihrer Nebenflüsse informieren. Doch auch wer kein Internet hat, wird auf die Gefahr aufmerksam gemacht: Zur Hochwasserwarnung werden an besonders kritischen Punkten wieder Sirenen aufgestellt.

Solche Warnungen helfen aber nur, wenn es in der Bevölkerung auch ein Bewusstsein für die Bedrohung gibt. Deshalb wurde im Rahmen des Projekts eine Wanderausstellung über die Gefahren und Auswirkungen von Hochwasser entwickelt. Unter dem Titel *»Alle in einem Boot!«* war sie zwischen September 2005 und Dezember 2007 in verschiedenen Orten entlang der Elbe zu sehen. Mit Fragebögen haben die Forscher den Erfolg dieser Präsentation ausgewertet – über mangelndes Besucherinteresse konnten sie sich dabei nicht beklagen. Auch mit Veranstaltungen in Schulen haben sie sehr gute Erfahrungen gemacht. Es dürfte sich daher lohnen, das Thema Hochwasser auch im Unterricht stärker auf die Tagesordnung zu setzen – zumal Schüler ihr neu gewonnenes Wissen oft mit der ganzen Familie teilen und so gute Multiplikatoren sind.

ALARMIEREN ODER ABWIEGELN?

Informationen über die Risiken von Hochwasser und mögliche Gegenmaßnahmen an die Öffentlichkeit zu bringen, ist ein wichtiger Bestandteil des Hochwassermanagements. Bisher verfolgen die zuständigen Stellen in den verschiedenen Regionen Deutschlands unterschiedliche Strategien. Der Umgang mit dem Hochwasserrisiko in der Öffentlichkeitsarbeit von zwei Städten wurde in dem

RIMAX-Projekt *INNIG* unter der Federführung der Universität Bremen verglichen [→ Projekt 11].

Die Städte Bremen und Hamburg liegen beide im Unterlauf großer Flüsse und sind der Gefährdung durch Hochwasser von der Landseite und Sturmfluten von der Seeseite ausgesetzt. Das Zusammentreffen von Sturmflut und Hochwasser kann zu großen Schäden führen.

Die Öffentlichkeitsarbeit im Hochwasserschutz der Freien und Hansestadt Hamburg kommuniziert, dass es bei Sturmfluten immer ein Restrisiko geben wird, mit dem umzugehen ist. Die dazu nötigen Maßnahmen werden dargestellt. So kann sich jeder Interessierte zum Beispiel in Broschüren und Handzetteln über Evakuierungspläne für den Notfall informieren. In der Hansestadt Bremen dagegen kommt das Thema Restrisiken in der öffentlichen Diskussion so gut wie gar nicht vor.

In Hamburg wird durch die Medien zu diesem Thema tendenziell alarmierender berichtet und die Gefahr von Sturmfluten ist immer wieder ein Thema. In den Bremer Medien spielt derartiges Risiko eine deutlich geringere Rolle. Der Akzent liegt dabei auf möglichen Schäden, die durch Hochwasser der Weser verursacht werden können.

Umfragen der *INNIG*-Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter zeigen, dass das für die Bürger beider Städte nicht ohne Folgen bleibt: Die Hamburger Bevölkerung hat ein stärkeres Risikobewusstsein entwickelt. Sie hat aber gleichzeitig mehr Vertrauen in den Hochwasser- und Küstenschutz. Dagegen scheinen sich Bremer Bürgerinnen und Bürger weniger Gedanken über aktuelle Überflutungsgefahren zu machen. Dafür fühlen sie sich mehr von den künftigen Folgen des Klimawandels bedroht. Obwohl das Hochwasserrisiko in den Hamburger Köpfen präsenter ist, führt das aber keineswegs zu irrationalen Ängsten und Panik. Nach Erkenntnissen der Forscher entstehen Ängste vielmehr gerade dann, wenn sich die Menschen nicht ausreichend informiert fühlen. Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler empfehlen daher, mögliche Gefahren nicht vorschnell, aber durchaus offen zu kommunizieren und dabei immer auch darauf hinzuweisen, wie man mit der Bedrohung umgehen und Schäden vermeiden kann.

Im Rahmen von *INNIG* haben die Forscherinnen und Forscher auch die Hochwasserrisiken für die Stadt Bremen untersucht. Ihre Computermodelle zeichnen ein recht beruhigendes Bild von der dortigen Lage: Ein Zusammentreffen einer großen Sturmflut mit einem extremen Hochwasser der Weser ist demnach sehr unwahrscheinlich. Auch die



→ ABB. 37 Überschwemmtes Hamburg nach der Sturmflut im Februar 1962

Wahrscheinlichkeit, dass Deiche überflutet werden, ist im Stadtgebiet mit Werten zwischen 1 mal in 1000 und 1 mal in 6000 Jahren relativ gering. Falls Deiche brechen sollten, besteht meist in einem Bereich von weniger als 300 Metern Entfernung von der Bruchstelle eine Gefahr für die Bevölkerung.

Mit großen materiellen Schäden ist auf den drei im Projekt untersuchten Beispielflächen kaum zu rechnen. Ein Hochwasser überflutet vor allem Felder und Wiesen, während höher gelegene Gewerbe- und Industrieflächen kaum betroffen werden.

Was aber passiert, wenn der Klimawandel den Meeresspiegel noch schneller ansteigen lässt? Um das zu testen, haben die Projekt-Mitarbeiterinnen und -Mitarbeiter auch simuliert, wie sich Überflutungsflächen und Schäden durch einen solchen Effekt verändern können. Demnach würde sich das Risiko für die Untersuchungsgebiete um das 5 bis 7,4-fache erhöhen, falls der Meeresspiegel bis zum Jahr 2050 um 55 Zentimeter ansteigt. Denn mit dem Anstieg des Meeresspiegels erhöht sich auch die Gefahr, dass die Deiche versagen, wenn sie nicht verstärkt und erhöht werden. Es gibt allerdings durchaus auch noch andere Möglichkeiten, diese Gefahr zu verringern. Für vielversprechend halten die Forscherinnen und Forscher beispielsweise die

Anlage von Sturmflutentlastungspoldern im Bereich der Wesermündung. Eine solche Maßnahme kann ihren Berechnungen zufolge die kritischen Höchstwasserstände bei einer Sturmflut um bis zu 50 Zentimeter senken.

FLUSSHOCHWASSER, STURMFLUTEN, STURZFLUTEN

Zu Überschwemmungen an Flüssen kann es kommen, wenn nach heftigen Niederschlägen oder einer starken Schneeschmelze im Einzugsgebiet so viel Wasser im Flussbett zusammenkommt, dass es die Fluten nicht mehr fassen kann und »ausufert«.

Sturmfluten treten dagegen nur an Meeresküsten auf. Stürme, die vom Meer in Richtung Land wehen, können den Wasserstand vor allem bei Flut [Tidehochwasser] stark erhöhen. In der Folge kann es zu Deichbrüchen und anderen Katastrophen kommen.

Die Deutsche Bucht gilt als eines der weltweit am stärksten durch Sturmfluten bedrohten Gebiete.

Sturzfluten sind sehr plötzlich auftretende Überschwemmungen, die oft nach Starkregenfällen auftreten. In Städten setzen solche Ereignisse Keller, Straßen und Unterführungen unter Wasser, wenn die Kanalisation die Wassermassen nicht bewältigen kann.

Um die Risikokommunikation zu verbessern haben die INNIG-Wissenschaftlerinnen und -Wissenschaftler eine internet-basierte Informationsplattform entwickelt, die neben allgemeinen Informationen zu Sturmfluten und Schutz vor Hochwasser auch Hinweise zum individuellen Risiko und zu risikominderndem Verhalten enthalten. Diese Informationen können dem individuellen Risikotyp entsprechend abgerufen werden. Überdies empfiehlt INNIG, Katastrophenschutz und -management zielgruppenorientiert weiter zu entwickeln.

ENTSCHEIDUNGSHILFE FÜR FLUTMANAGER

Aus der Palette von möglichen Maßnahmen zum Hochwasserschutz muss man für jede Region die jeweils erfolgversprechendsten auswählen. Eine Entscheidungshilfe für diese schwierige Abwägung hat das Projekt *REISE* unter Federführung der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule [RWTH] Aachen entwickelt (→ Projekt 9).

Das Konzept wurde für Gewässer mit kleinen und mittleren Einzugsgebieten entwickelt. Mit Computermodellen berechnen die Forscherinnen und Forscher nicht nur die bei verschiedenen Hochwasserszenarien zu erwartenden wirtschaftlichen Verluste. Vielmehr berücksichtigen sie auch ökologische Beeinträchtigungen oder Folgen

für die Gesellschaft und die Psyche der betroffenen Opfer. Mit solchen Konsequenzen haben sich jeweils eigene Teilprojekte von REISE befasst. Es ging darum, alle möglichen Facetten des Risikos im Einzugsgebiet möglichst genau zu erfassen.

Sämtliche Hochwasserschutzmaßnahmen sollen das Risiko senken. Dazu bieten sich eine ganze Menge Ansatzpunkte. Entsiegelt man zum Beispiel unter Asphalt und Beton verschwundene Flächen, können Niederschläge im Boden versickern. Gibt man einem begradigten Bach wieder einen geschlängelten Verlauf, strömen die Wassermassen bei Hochwasser mit weniger Geschwindigkeit und Wucht zu Tal. Eine verbesserte Bewirtschaftung von Speicheranlagen, neue oder sanierte Schutzbauwerke, eine Raumplanung, die Wohnhäuser und Industrieanlagen nicht auf Überflutungsflächen vorsieht – dies alles sind mögliche Maßnahmen zum Schutz vor Hochwasserschäden.

Für jede einzelne dieser Veränderungen lässt sich durchrechnen, welche Konsequenzen sie für das Risiko im Einzugsgebiet hat. Wie beeinflusst sie das Abflussgeschehen, die Zahl der möglichen Hochwasseropfer oder die Vorwarnzeiten? Verbesserungen in all diesen Bereichen können im Katastrophenfall entscheidend sein. Jede Maßnahme hat ihren Preis, den der Computer mit dem möglichen Nutzen vergleicht. Auf dieser Basis erstellt er eine Liste derjenigen Hochwasserschutzmaßnahmen, die im jeweiligen Gebiet am sinnvollsten sind. Wie gut sich diese für alle kleineren und mittleren Flüsse anwendbare Entscheidungshilfe in der Praxis bewährt, testen die Forscher im gut 800 Quadratkilometer großen Einzugsgebiet der Wupper, einem 113 Kilometer langen Nebenfluss des Rheins.

SPEZIALFALL STURZFLUT

Die Schäden aus Überflutungen in Deutschland können durch vielfältige Maßnahmen vermindert werden.

Bei der Auswahl dieser Hochwasserschutzmaßnahmen darf man natürlich nicht nur die heutige Lage im Blick haben, sondern muss auch in die Zukunft schauen. Schließlich kann sich die Gefahr als Folge des Klimawandels vielerorts noch deutlich verschärfen. So könnten Städte und Gemeinden künftig häufiger mit sogenannten Sturzfluten zu kämpfen haben. Denn Klimaforscher haben prognostiziert, dass im Sommer mehr und heftigere Starkregenfälle auf Westeuropa niederprasseln werden, die häufig auch noch mit Gewitter, Hagel und Sturmböen verbunden sind. Dabei fallen oft innerhalb kürzester Zeit gewaltige Wassermengen an, für die die Grundstücks- und Straßenentwässerungsanlagen, Kanäle und städtische



→ ABB. 38 Blick durch die überflutete Fischauktionshalle zur Elbe

Gewässer einfach nicht ausgelegt sind. Wenn aber diese Entwässerungssysteme die Fluten nicht fassen können, strömen plötzlich reißende Bäche über die Straßen und setzen Keller und Unterführungen unter Wasser.

Statistiken zeigen, dass schon heute in Deutschland ein beträchtlicher Teil der Hochwasserschäden durch solche städtischen Sturzfluten entsteht. Allein im Jahr 2007 berichteten mehr als 40 Kommunen über erhebliche Schäden durch sommerlichen Starkregen. Ein einziges Unwetter, das am 26. Juli 2008 über Dortmund hereinbrach, verursachte geschätzte Schäden in zweistelliger Millionenhöhe. Zwar richtet jedes einzelne dieser meist auf kleine Gebiete begrenzten Ereignisse in der Regel weniger Zerstörungen an, als Überflutungen an großen Flüssen. Doch insgesamt addieren sich die vielen kleineren Schäden zu einer ebenfalls hohen Summe. Die Gefährdung von Menschenleben ist wesentlich höher als bei Flussüberschwemmungen, weil die Ereignisse so überraschend eintreffen und so heftig ablaufen.

Was aber lässt sich dagegen tun? Da die Sturzfluten eine andere Entstehungsgeschichte haben als ein Hochwasser an größeren Flüssen, braucht man dafür spezielle Vorhersage- und Warnsysteme, geeignete Risikoeinschätzungen und Vorsorge- und Schutzmaßnahmen. An all dem aber fehlte es aber fast überall, weil sich Wissenschaftler mit solchen Ereignissen noch zu wenig beschäftigt hatten. Also haben Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der *Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt* in Aachen in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Wetterdienst und der Fachhochschule Aachen diese spezielle Art von Hochwasser genauer untersucht [→ Projekt 13].

Zunächst einmal galt es, sich einen Überblick über Vorkommen und Häufigkeit dieser Ereignisse zu verschaffen. In Deutschland sammeln von Behörden über Versicherungen bis hin zur Feuerwehr die verschiedensten Stellen Informationen über Starkregen und Sturzfluten. Mehr als 400 solcher Fälle haben die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter des *URBAS* genannten Projekts in einer Datenbank zusammen getragen. Eine Auswertung dieser Daten lieferte erste Anhaltspunkte dafür, in welchen Regionen solche Ereignisse besonders oft auftreten und welche Schäden sie anrichten. Demnach häufen sich die Sturzfluten am Alpenrand und entlang des Rheins und in den Mittelgebirgen, im Flachland sind sie deutlich seltener. Ausnahmen sind allerdings Berlin und Hamburg. Diese Städte erzeugen aufgrund ihrer hohen Versiegelung Wärmeinseln inmitten ihres Umlands. Es wird vermutet, dass solche Wärmeinseln die Entstehung von Starkniederschlägen begünstigen. Die größten Zerstörungen richten

Sturzfluten in der Regel an der Inneneinrichtung von Gebäuden, an der Kanalisation sowie an Straßen, Brücken und kleinen Gewässern an.

Für 15 repräsentative Kommunen in Deutschland haben die Forscherinnen und Forscher das Auftreten der gefährlichen Starkregen genauer analysiert. Untersuchungen zur Meteorologie und zum Abflussverhalten waren dabei ebenso gefragt wie eine Bewertung der möglichen Schäden und des Erfolgs bisheriger Gegenmaßnahmen.

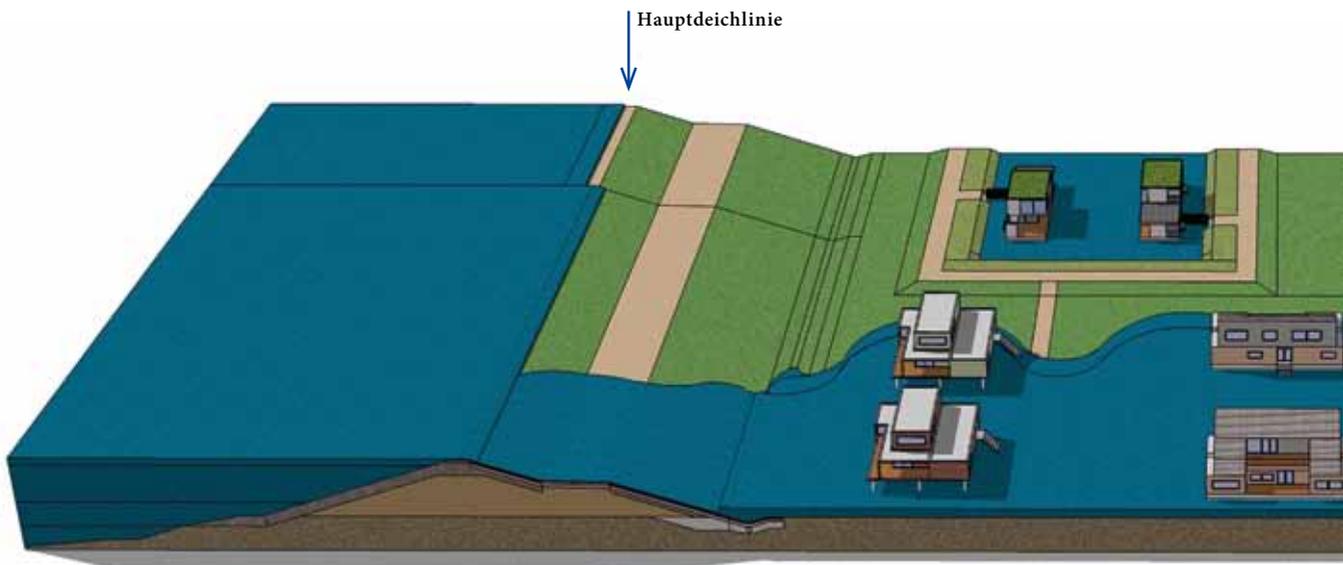
Es stellte sich heraus, dass der Deutsche Wetterdienst [DWD] in mehr als der Hälfte der analysierten Fälle eine offizielle Warnung vor Starkregen, manchmal auch vor Gewitter, Hagel oder Böen herausgegeben hatte. Eine noch bessere Trefferquote zeigten in den meisten Fällen die kurzfristigen Vorhersagen mit dem ebenfalls vom DWD entwickelten Unwetterwarnsystem KONRAD [*Konvektionsentwicklung in Radarprodukten*]. Dieses automatische Bildinterpretationsverfahren nutzt Radardaten, um die Entstehung und weitere Entwicklung von Gewitterzellen zu verfolgen. Aus den Niederschlagsfeldern, die auf solchen Radarbildern zu erkennen sind, filtert es gezielt die Gewitterzellen heraus. Aus der Stärke der Radarechos sowie die Ausdehnung und die Zugrichtung der Kerne werden daraus dann Warnhinweise zu Windböen, Hagel und Starkregen abgeleitet. Dieses schon bestehende Warnsystem haben die Forscherinnen und Forscher im Rahmen von RIMAX weiterentwickelt, so dass es nun auch besser vor sturzflutartigen Regenfällen warnen kann.

Eine rechtzeitige Warnung ist aber nicht die einzige Voraussetzung für ein erfolgreiches Sturzflut-Management. Die zuständigen Stellen müssen dann auch angemessen darauf reagieren. Die Einsatzkräfte der Feuerwehr, der Polizei und anderer Hilfsorganisationen haben bei solchen Ereignissen meist alle Hände voll zu tun. Fast immer müssen Rettungs- und Evakuierungsmaßnahmen eingeleitet und geflutete Straßen oder Unterführungen geräumt und abgesperrt werden. Es gilt, Abflusshindernisse zu beseitigen, gefährdete Gebäude mit Sandsäcken zu schützen, Keller und Tiefgaragen leer zu pumpen. Und wenn das Schlimmste vorbei ist, warten die Reinigungs- und Aufräumarbeiten. Bei all diesen Maßnahmen ist meist genau geregelt, wer wofür zuständig ist. Ganz problemlos aber klappt der Einsatz trotzdem nicht immer. Das kann daran liegen, dass Notrufnummern überlastet sind, dass die Gebäude der Hilfsdienste selbst unter Wasser stehen oder dass die Koordination zwischen verschiedenen Organisationen nicht reibungslos funktioniert.

Am besten wäre es natürlich, wenn man schon im Vorfeld etwas gegen die erwarteten Schäden des nächsten Starkregen tun könnte.

Zwar werden sich die Schäden durch Sturzfluten nach Einschätzung der URBAS-Mitarbeiter auch in Zukunft nicht vollständig vermeiden lassen. Es gibt aber durchaus Möglichkeiten, sie zumindest zu verringern. Die Palette der Möglichkeiten reicht von kleineren baulichen Veränderungen, mit denen Hausbesitzer ihr Eigentum vor eindringendem Wasser schützen können, beispielsweise dem Einbau von Rückstausicherungen, bis hin zu einer besseren Bauplanung, damit in besonders gefährdeten Gebieten nicht ausgerechnet Krankenhäuser, die Feuerwehr oder die Stützpunkte der Hilfsorganisationen angesiedelt werden, die für Rettungseinsätze notwendig sind.

Die Kanalisation und die Gewässer insgesamt so auszubauen, dass sie mehr Wasser abführen können, halten die Forscherinnen und Forscher weder für sinnvoll noch für bezahlbar. Doch im Zuge von ohnehin anstehenden Sanierungsmaßnahmen lassen sich Bordsteine erhöhen, Kellerfenster mit Einfassungen vor Wasser schützen oder Schwachpunkte im Kanalsystem beseitigen. Auch wenn nicht jede freie Fläche im Stadtgebiet mit einer Asphaltdecke versiegelt oder Dächer begrünt werden, kann die Sturzflutgefahr verringert werden. Denn jeder Liter Wasser, der im Boden versickern kann, belastet nach einem Sturzregen nicht das Kanalsystem.



Einsatz von adaptiven Bauweisen wie Schwimmenden Häusern, Amphibischen Häusern und Pfahlhäusern

Wenn das kräftige Sommergewitter schon da ist, bleibt bis zum Beginn der Überflutungen meist wenig Zeit für Gegenmaßnahmen.

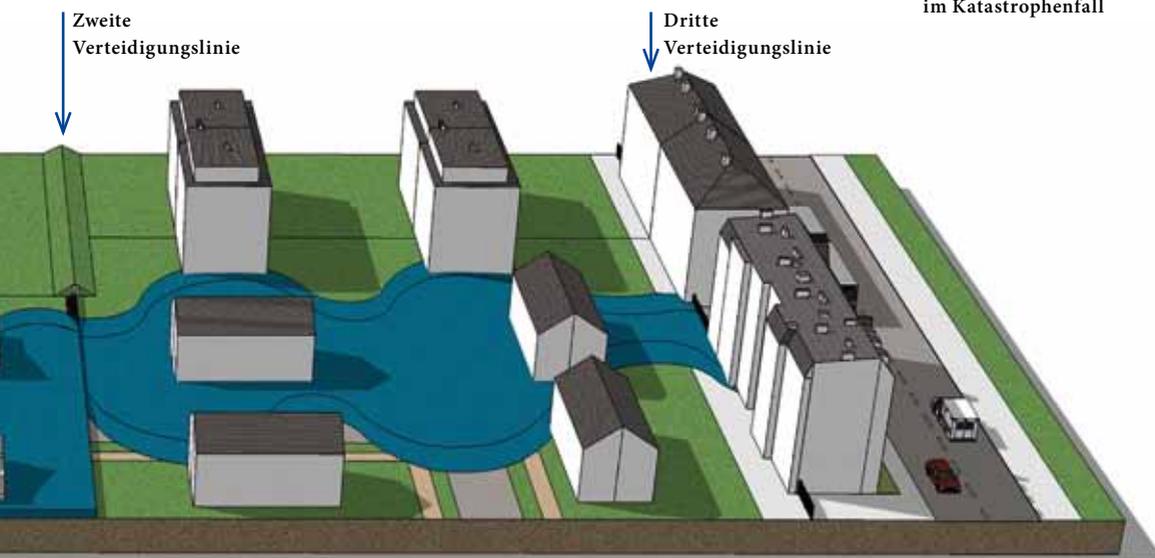
Deshalb wird es nach Einschätzung der Projektmitarbeiter gegen solche Ereignisse wohl auch in Zukunft nicht so umfangreiche Schutzmaßnahmen geben, wie sie gegen die langsamer ansteigenden Flusshochwasser möglich sind. Wer sich also auf die durch den Klimawandel verschärfte Sturzflutgefahr einstellen will, muss besonders stark auf eigene Vorsorgemaßnahmen setzen.

KLIMAWANDEL AN DER KÜSTE

Die steigenden Temperaturen auf der Erde dürften neben Sturzfluten in städtischen Bereichen auch andere Formen von Hochwasser begünstigen. So erwartet der Weltklimarat IPCC, dass steigende Meeresspiegel und heftigere Winde in den nächsten Jahrzehnten mehr und höhere Sturmfluten auslösen werden. Gebiete der erhöhten Aufmerksamkeit sind die durch Hochwasser gefährdeten Fluss- und Küstenregionen. Vor allem die großen Ballungsgebiete mit potenziell vom Hochwasser gefährdeten Flächen werden eine Verschärfung dieser Probleme zu spüren bekommen. Im Jahr 2000 lebten weltweit über 600 Millionen Menschen in Küsten-Ballungsräumen.

06.7

→ ABB. 39 Verteidigungskaskaden, innovative Bau- und Lebensformen und praxistaugliche Schutzstrategien im Katastrophenfall



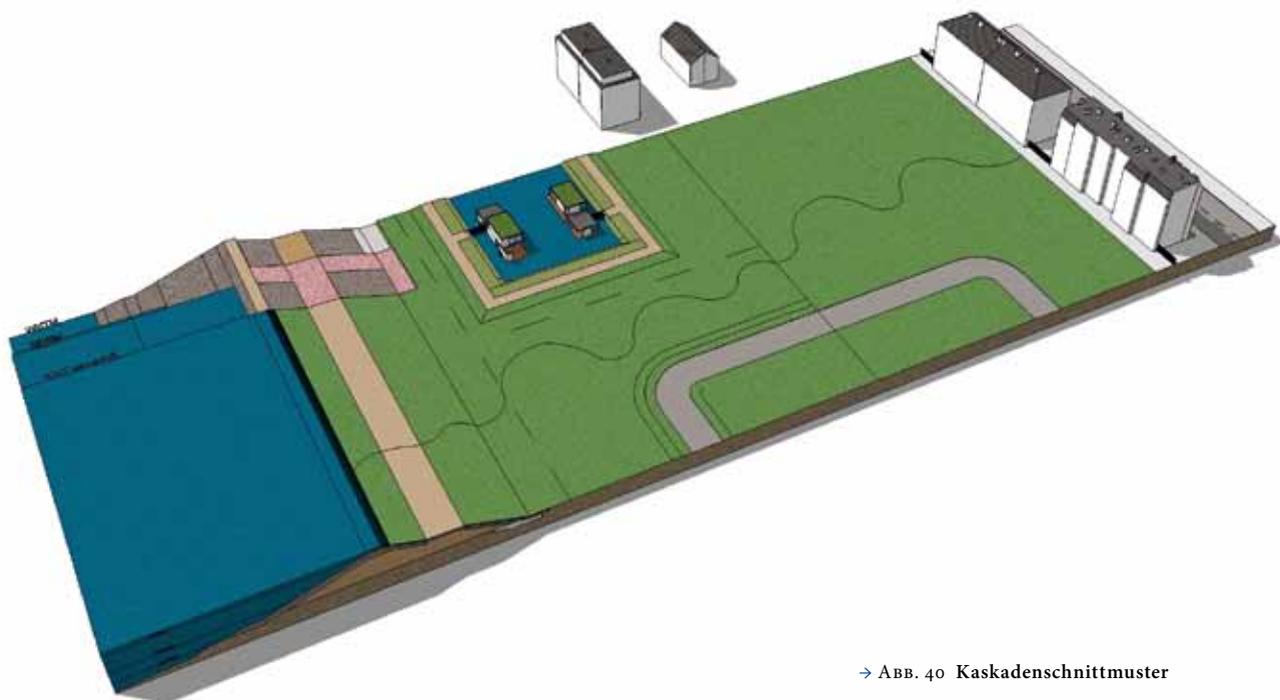
Einsatz von mobilen Schutzvorkehrungen
und hochwasserresistenten Materialien

Viele setzen dabei einfach auf höhere Deiche. Die Stadt Hamburg zum Beispiel hat zwischen 1959 und 2007 sechs Milliarden Euro in die Ertüchtigung der Flutschutzsysteme investiert. Die ersten umfangreichen Maßnahmen haben die Behörden nach der großen Sturmflut von 1962 gestartet, die mehr als 300 Menschenleben forderte und 600 Millionen Euro Schaden anrichtete. Ein weiteres 600 Millionen Euro teures Deich-Ausbauprogramm begann in den 1990er Jahren und soll bis 2012 abgeschlossen sein. Doch wird das in Zeiten steigender Meeresspiegel reichen? Und gibt es vielleicht effektivere Möglichkeiten für den Küstenschutz der Zukunft? Mit diesen Fragen haben sich Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler unter Federführung der Technischen Universität Hamburg-Harburg beschäftigt ([-> Projekt 37](#)).

Die Forscherinnen und Forscher kommen zu dem Schluss, dass höhere Deiche nicht die beste Antwort auf die sich verschärfende Sturmflutgefahr sind. Denn bisher kann niemand genau prognostizieren, wie hoch die Wassermassen künftig tatsächlich auflaufen werden. Entsprechende Modelle kommen da zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen. Also ist auch unklar, um wie viel die Deiche erhöht werden müssten, um diesen Anstieg zu kompensieren. Um Zeit und Kosten zu sparen, schlagen die Forscher daher eine alternative Schutzstrategie vor. Dazu werden die Aufgaben des Hochwasserschutzes um das Risikomanagement erweitert und das erhöhte Risiko der Folgen des Klimawandels wirkungsvoll, effizient und flexibel begrenzt.

Das Risikomanagement beschäftigt sich dabei nicht nur mit der Überprüfung der Schutzanlagen, sondern muss zudem die Ausbreitung im Hinterland und die Möglichkeiten der Eindämmung untersuchen sowie die Verstärkung der Widerstandsfähigkeit gegenüber einer Schädigung vorantreiben.

Die Gefahr, dass Schutzanlagen versagen können, bezieht dieses Konzept von vornherein mit ein. Solange ein Deich nur überflutet wird, ist die Situation noch beherrschbar. Dann strömen für eine gewisse Zeit vorhersehbare Wassermengen ins Hinterland. Erst Deichbrüche lassen die Lage wirklich außer Kontrolle geraten. Es gilt also zunächst zu verhindern, dass die Gewalt des Wassers Material vom Deich abträgt und ihn dadurch bruchanfällig macht. Die bisher üblichen mit Gras bepflanzten Böschungen aber sind dafür nicht stabil genug. Daher haben die Projektmitarbeiterinnen und Projektmitarbeiter einen neuen Baustoff entwickelt, in dem Steine mit Polyurethan verklebt werden. Wenn dieser Kunststoff ausgehärtet ist, bilden die Steine einen extrem festen und strömungsresistenten Verbundbaustoff, dem die Fluten kaum noch etwas anhaben können.



→ ABB. 40 Kaskadenschnittmuster

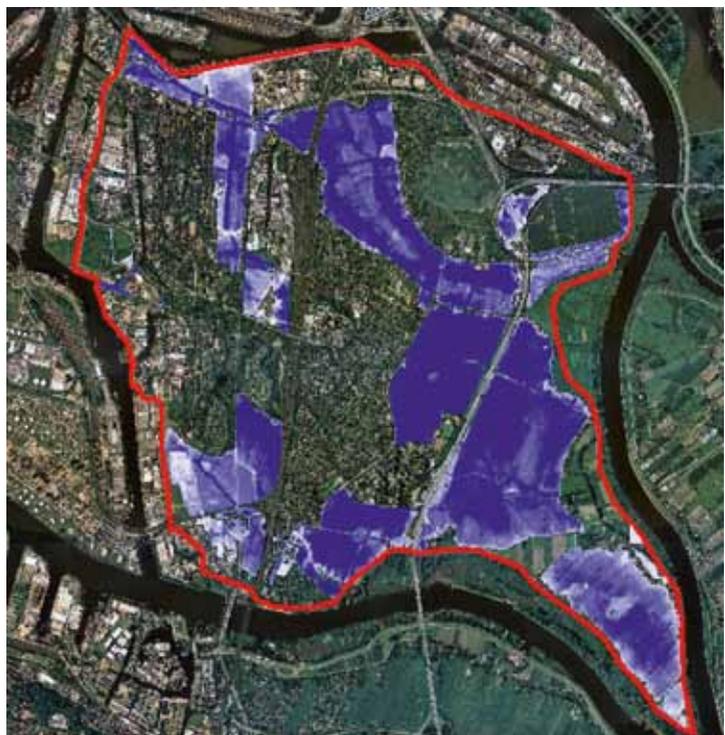
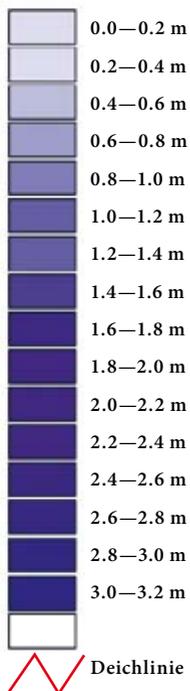
Die erste Verteidigungslinie gegen die Sturmflut steht damit.

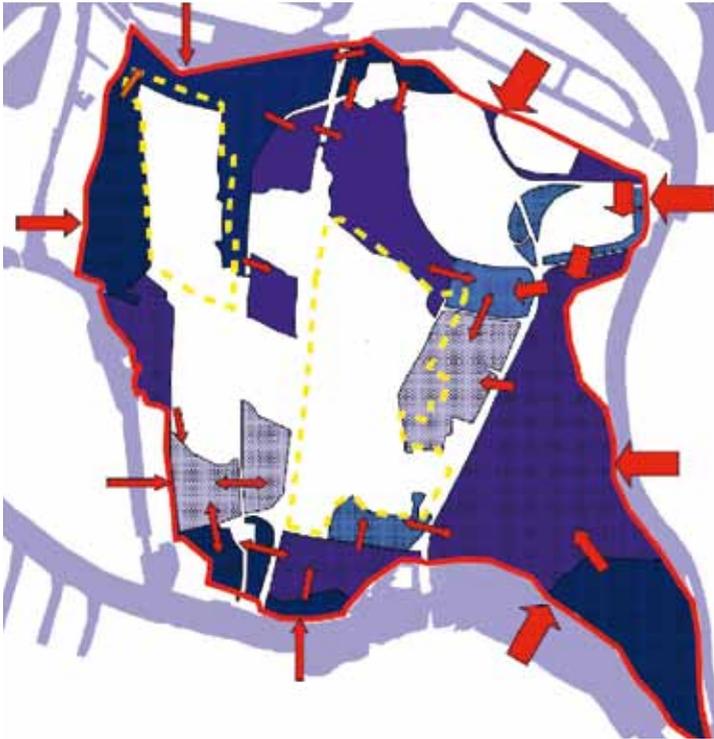
Wird dieser äußere Deich überströmt, so stellen sich dem Wasser mehrere Ringe von weiter innen liegenden Deichen entgegen. Alte Deiche, Wälle und Mauern lassen sich in diese zweite Verteidigungslinie ebenso integrieren, wie mobile Hochwasserschutzwände. Letztere müssen nicht im Boden verankert werden, so dass man sie im Notfall rasch an fast jeder beliebigen Stelle aufbauen kann. So lassen sich Straßen, Plätze und andere Lücken in der zweiten Verteidigungslinie schließen. Und wenn die Gefahr vorbei ist, baut man sie einfach wieder ab, so dass sie den Verkehr nicht behindern. Auch die dauerhaften Teile der inneren Flutabwehr aber stören nicht weiter. Denn sie sind weniger als zwei Meter hoch und lassen sich daher gut in das Landschafts- und Stadtbild integrieren. Trotzdem erfüllen sie eine wichtige Funktion. Sie unterteilen das Hinterland in mehrere Flutkammern, in denen das über den ersten Deich strömende Wasser aufgehalten wird.

In diesen Kammern muss man Bebauung und Infrastruktur natürlich so anpassen, dass die Schäden möglichst gering bleiben. Je näher das jeweilige Gebiet am Hauptdeich liegt, umso wahrscheinlicher sind Überflutungen und umso höher sind die Wasserstände, mit denen dann zu rechnen ist. Entsprechend muss man Gebäude und Infrastruktur in diesen Bereichen so gestalten, dass ihnen das Wasser möglichst wenig anhaben kann. Bei den weiter von der ersten Deichlinie entfernten Gebieten ist ein geringerer Flutungsschutz ausreichend.

→ ABB. 41 Darstellung der Wassertiefen bei einem Überströmvolumen von 15,1 Mio m³ [resultierend aus einer Sturmflutschichtelhöhe von 7,85 bis 8,10 mNN]. Die besonders sensiblen und zu schützenden Gebiete sind dabei gelb umrandet.

→ ABB. 42 Überflutung Wilhelmsburgs unter Anwendung des Flutkammersystems





→ ABB. 43 Darstellung der Flutkammern für Wilhelmsburg

Wie ein solches Flutkonzept konkret aussehen kann, haben die Forscherinnen und Forscher für den Hamburger Stadtteil Wilhelmsburg untersucht. Auf dieser Elbinsel will die Stadt in den nächsten Jahren neuen Wohnraum für 30.000 bis 40.000 Menschen schaffen. Schon heute gibt es dort Deiche. Wenn der Wasserstand in der Elbe auf bis zu 7,30 Meter über dem Meeresspiegel ansteigt, können diese den Stadtteil auch problemlos schützen. So eine hohe Wasserstand wurde bisher nie erreicht, die höchste Flut im Jahr 1976 lag immerhin etwa 85 Zentimeter niedriger. Gegen die höheren Wasserstände der Zukunft aber versprechen die bisherigen Anlagen keinen Schutz mehr. Sollte der Meeresspiegel tatsächlich so ansteigen, wie der IPCC-Report aus dem Jahr 2007 erwartet, drohen in Wilhelmsburg schon ab dem Jahr 2030 Überflutungen. Den Berechnungen zufolge dürften dann etwa vier Millionen Kubikmeter Elbwasser über die Deiche strömen. Bis zum Jahr 2085 ist mit noch größeren Wassermassen von 15 Millionen Kubikmetern zu rechnen, dann wird fast die gesamte Elbinsel unter Wasser stehen. Gegenmaßnahmen sind also dringend gefragt.

Das von den Forscherinnen und Forschern geplante Flutkammersystem zieht sich ringförmig um die ganze Insel und schafft mehr als

15 Millionen Kubikmeter Stauraum – bis zum Jahr 2085 sollte es also ausreichen. In den Kammern selbst lässt sich der Wasserschaden mit verschiedenen Maßnahmen gering halten. Die Projektmitarbeiterinnen und Projektmitarbeiter haben simuliert, in welchen Gebieten mit welchen Wasserhöhen zu rechnen ist und entsprechende Anpassungen der Bebauung vorgeschlagen. Für Neubaugebiete und die am stärksten flutgefährdeten inneren Kammern empfehlen sie schwimmende oder auf Stelzen stehende Gebäude. In anderen Bereichen der Stadt genügen dagegen weniger aufwändige Sicherungsmaßnahmen. Wo das Wasser weniger als einen Meter hoch schwappt, kann man die Gebäude mit Flutturen schützen sowie Keller und Erdgeschosse gegen eindringendes Wasser abdichten. In stärker überschwemmten Gebieten wird man die Fluten zwar nicht ganz aus den Gebäuden heraus halten können. Wasserresistente Baustoffe, in höhere Bereiche verlegte technische Anlagen und mobiles Inventar, das man notfalls in die oberen Geschosse in Sicherheit bringen kann, halten die Schäden aber auch dort gering. Solche Überflutungen in den Kammern in Kauf zu nehmen lohnt sich durchaus. Denn dadurch kann man die inneren Stadtgebiete wasserfrei halten, in denen sonst die größten Schäden drohen.

Um den äußeren Deich gegen Erosion zu schützen und die Flutkammern aufzubauen, müsste man nach ersten Schätzungen der Forscher ungefähr 90 Millionen Euro investieren. Für eine Deich-erhöhung um 80 Zentimeter in Wilhelmsburg müsste mit mindestens 140 Millionen Euro gerechnet werden. Die neue Lösung ist also nicht nur flexibler und erfolgversprechender als bisherige Schutzkonzepte, sondern auch noch billiger.

Aufgrund der Zunahme der Hochwassergefahr durch den Klimawandel, sind neue Ideen gefragt, mit denen man dieser Bedrohung begegnen kann.

A black and white photograph of a water level marker in a pond. The marker is a vertical, cylindrical object with a white top and bottom section and a black middle section. It is partially submerged in the water, with its reflection visible below. The water surface is covered in small ripples. In the foreground, there are some tall grasses or reeds. The overall scene is calm and serene.

Projekte
Bilder



Projekte

PROJEKT 1 [→ S. 16]

Xfloods – Analyse historischer Hochwasser für ein integratives Konzept zum vorbeugenden Hochwasserschutz
| FKZ 0330685

Partner ALBERT-LUDWIGS-UNIVERSITÄT FREIBURG, Institut für Physische Geographie

ALBERT-LUDWIGS-UNIVERSITÄT FREIBURG, Meteorologisches Institut
ALBERT-LUDWIGS-UNIVERSITÄT FREIBURG, Institut für Landespflege

Kooperationen BTU COTTBUS, Lehrstuhl für Hydrologie und Wasserwirtschaft, Cottbus

UNIVERSITÄT GÖTTINGEN, Geographisches Institut, Göttingen

UNIVERSITÄT KARLSRUHE, Institut für Wasser und Gewässerentwicklung, Abteilung IV Hydrologie

UNIVERSITÄT KARLSRUHE, Institut für Wasser und Gewässerentwicklung, Abteilung II Numerische Modelle im Wasserbau

UNIVERSITÄT BARCELONA, Spanien, Department of Modern History
REGIERUNGSPRÄSIDIUM STUTTGART, Referat 53.2

LANDESANSTALT FÜR UMWELT, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Hochwasservorhersagezentrale Karlsruhe

DR.-ING. KARL LUDWIG, Beratender Ingenieur Wasserwirtschaft - Wasserbau, Karlsruhe

PROJEKT 2 [→ S. 18]

Integration von historischen und hydraulisch/hydrologischen Analysen zur Verbesserung der regionalen Gefährdungsabschätzung und zur Erhöhung des Hochwasserbewusstseins | FKZ 0330686

Partner DHI – Privates Institut für Wasser und Umwelt e.V., Syke
BTU COTTBUS, Lehrstuhl für Hydrologie und Wasserwirtschaft
UNIVERSITÄT GÖTTINGEN, Geographisches Institut

DR. ING. DIETER FÜGNER, Dresden

Kooperationen BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE, Koblenz
LANDESTALSPERRENVERWALTUNG DES FREISTAATES SACHSEN, Pirna
SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE, Dresden
UMWELTAMT DER STADT DRESDEN
WASSER- UND SCHIFFFAHRTSAMT DRESDEN

PROJEKT 3 [→ S. 17]

Methodenentwicklung zur verbesserten Vorhersage von extremen Hochwasserscheitelabflüssen auf Basis historischer Daten | FKZ 02WHO511, 02WHO512

Partner INSTITUT FÜR WASSERWIRTSCHAFT, SIEDLUNGSWASSERBAU UND ÖKOLOGIE GMBH, Weimar

UNIVERSITÄT GÖTTINGEN, Geographisches Institut

BAUHAUS-UNIVERSITÄT WEIMAR, Institut für Wasserwesen, Hydrolabor Schleusingen

Kooperationen UNIVERSITÄT HEIDELBERG, Geographisches Institut

UNIVERSITÄT DER BUNDESWEHR MÜNCHEN, Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen, Institut für Wasserwesen

UNIVERSITÄT KARLSRUHE, Fakultät für Bauingenieur und Vermessungswesen, Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik

THÜRINGER MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, NATURSCHUTZ UND UMWELT, Erfurt

STAATLICHES AMT FÜR UMWELTSCHUTZ HALLE /SAALE

SCILANDS GMBH – Gesellschaft zur Bearbeitung digitaler Landschaften, Göttingen

PROJEKT 4 [→ S. 28]

Nutzung künstlicher Neuronaler Netze zur Bereitstellung von Entscheidungsgrundlagen für operative und planerische wasserwirtschaftliche Maßnahmen
| FKZ 02WHO406

Partner TU DRESDEN, Institut für Hydrologie und Meteorologie, Lehrstuhl für Hydrologie

Kooperationen DEUTSCHER WETTEDIENST, Offenbach

SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE, Dresden

LANDESTALSPERRENVERWALTUNG DES FREISTAATES SACHSEN, Pirna

PROJEKT 5 [→ S. 36]

HW-BODE – Extreme Hochwasserereignisse und Kumul-Schadenspotenziale im Bodegebiet | FKZ 0330684

Partner DEUTSCHER WETTERDIENST, Abt. Hydrometeorologie, Berlin

FREIE UNIVERSITÄT BERLIN, Institut für Meteorologie, Troposphärische Umweltforschung

LEIBNIZ UNIVERSITÄT HANNOVER, Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und landwirtschaftlichen Wasserbau

BÜRO FÜR ANGEWANDTE HYDROLOGIE, Berlin

INSTITUT FÜR ANGEWANDTE WASSERWIRTSCHAFT UND GEINFORMATIK, Dr. Willems & Prof. Kleeberg GbR, Ottobrunn

Kooperationen LANDESBETRIEB FÜR HOCHWASSERSCHUTZ UND WASSERWIRTSCHAFT SACHSEN-ANHALT, Magdeburg

PROJEKT 6 [→ S. 30]

VERIS-Elbe – Veränderung und Management der Risiken extremer Hochwasserereignisse in großen Flussgebieten – am Beispiel der Elbe | FKZ 0330695

Partner LEIBNIZ-INSTITUT FÜR ÖKOLOGISCHE RAUMENTWICKLUNG E.V., Dresden

TU DRESDEN, Institut für Meteorologie und Hydrologie

TU DRESDEN, Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik

BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE, Referat Wasserhaushalt, Vorhersageverfahren, GRDC, Koblenz

PLAN EVAL, München

PLAN + RISK CONSULT, Dortmund

unter Einbeziehung von EUROPEAN COMMISSION, DG JOINT RESEARCH CENTRE, Institute for Environment and Sustainability, Ispra, Italien

Kooperationen POTSDAM-INSTITUT FÜR KLIMAFOLGENFORSCHUNG
MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR METEOROLOGIE, Hamburg

PROJEKT 7 [→ S. 52]

MEDIS – Methoden der Erfassung direkter und indirekter Hochwasserschäden | FKZ 0330688

Partner GEOFORSCHUNGSZENTRUM POTSDAM, Sektion Ingenieurhydrologie
DEUTSCHES INSTITUT FÜR WIRTSCHAFTSFORSCHUNG, Berlin

BAUHAUS-UNIVERSITÄT WEIMAR, Zentrum für die Ingenieuranalyse von Erdbebenschäden am Institut für Konstruktiven Ingenieurbau

JUSTUS-LIEBIG UNIVERSITÄT GIESSEN, Institut für Betriebslehre der Agrar- und Ernährungswirtschaft

ARCADIS CONSULT GMBH, Kaiserslautern

Kooperationen UMWELTAMT DER LANDESHAUPTSTADT DRESDEN

DEUTSCHE RÜCKVERSICHERUNG AG, Düsseldorf

LANDESTALSPERRENVERWALTUNG SACHSEN, Pirna

PROJEKT 8 [→ S. 44]

SAR-HQ – Methoden zur Vorsorge und Analyse von großflächigen Hochwasserschäden mittels Radarsatelliten | FKZ 0330719

Partner DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT [DLR], Oberpfaffenhofen

TECHNISCHES HILFSWERK [THW]
GEMEINSCHAFTLICHES MELDE- UND LAGEZENTRUM DES BUNDES UND DER LÄNDER [GMLZ]

PROJEKT 9 [→ S. 80]

REISE – Entwicklung eines risikobasierten Entscheidungshilfesystems zur Identifikation von Schutzmaßnahmen bei extremen Hochwasserereignissen | FKZ 0330706

Partner RWTH AACHEN, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft
RWTH AACHEN, Institut für Soziologie
RWTH AACHEN, gaiaC – Forschungsinstitut für Ökosystemanalyse und -bewertung e.V.

RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM, Lehrstuhl für Hydrologie, Wasserwirtschaft und Umwelttechnik

Kooperationen WUPPERVERBAND, Wuppertal

PROJEKT 10 [→ S. 75]

Verknüpfung von Hochwasservorsorge und –bewältigung in unterschiedlicher regionaler und akteursbezogener Ausprägung | FKZ 0330683

Partner BTU COTTBUS, Institut für Boden, Wasser und Luft, Lehrstuhl für Hydrologie und Wasserwirtschaft

RHEINISCHE FRIEDRICH-WILHELMS-UNIVERSITÄT BONN, Geographisches Institut, Lehrstuhl Sozioökonomie des Raumes

STADTENTWÄSSERUNGSBETRIEBE KÖLN AÖR, Hochwasserschutzzentrale Köln

Kooperationen LANDKREIS PRIGNITZ, Sachbereich Brand- und Katastrophenschutz, Perleberg

UMWELTAMT DER LANDESHAUPTSTADT DRESDEN

PROJEKT 11 [→ S. 78]

INNIG – Integriertes Hochwasserrisiko-management in einer individualisierten Gesellschaft | FKZ 0330693

Partner LEIBNIZ UNIVERSITÄT HANNOVER, Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen

UNIVERSITÄT LÜNEBURG, Institut für Umweltkommunikation

UNIVERSITÄT BREMEN, Institut für Risiko, Umwelt und Gesundheit, Forschungszentrum Nachhaltigkeit

UNIVERSITÄT BREMEN, Institut für Ökologie und Evolutionsbiologie, Abt. Aquatische Ökologie

BIOCONSULT SCHUCHARDT & SCHOLLE GbR, Bremen

Kooperationen UNIVERSITÄT BREMEN, Fachbereich Mathematik und Informatik, Technologie-Zentrum Informatik

PROJEKT 12 [→ S. 23]

EXTRA – Bestimmung von Extremniederschlägen für kleine und mittlere Einzugsgebiete in Mittelgebirgen in Echtzeit mit erhöhter Redundanz | FKZ 0330700

Partner TU DRESDEN, Institut für Hydrologie und Meteorologie, Professur für Meteorologie

DEUTSCHER WETTERDIENST, Meteorologisches Observatorium Lindenberg

Kooperationen SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE, Landeshochwasserzentrum, Dresden

UNIVERSITÄT POTSDAM, Institut für Geoökologie

PROJEKT 13 [→ S. 82]**URBAS – Vorhersage und Management von Sturzfluten in urbanen Gebieten**

| FKZ 0330701

Partner HYDROTEC INGENIEURGESELLSCHAFT FÜR WASSER UND UMWELT MBH, Aachen

FACHHOCHSCHULE AACHEN, Fachbereich Architektur und Städtebau

DEUTSCHER WETTERDIENST, Meteorologisches Observatorium Hohenpeißenberg

Kooperationen DEUTSCHE RÜCKVERSICHERUNG AG, Düsseldorf

HANSESTADT HAMBURG, Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt, Amt für Bau und Betrieb, Abteilung Gewässer B52

STADT PADERBORN, Stadtentwässerungsbetrieb, STEB 22 Planung

PROJEKT 14 [→ S. 26]**OPAQUE – Operationelle Abfluss und Hochwasservorhersage in Quellgebieten**

| FKZ 0330713

Partner UNIVERSITÄT POTSDAM, Institut für Geoökologie, Lehrstuhl für Geoökologie [Hydrologie/Klimatologie] und Juniorprofessur für Wasser und Stoffhaushalt komplexer Landschaften

UNIVERSITÄT STUTTGART, Institut für Wasserbau, Lehrstuhl für Hydrologie und Geohydrologie

GEOFORSCHUNGSZENTRUM POTSDAM, Sektionen 1.4 Fernerkundung und 5.4 Ingenieurhydrologie

DR.-ING. KARL LUDWIG, Beratender Ingenieur Wasserwirtschaft - Wasserbau, Karlsruhe

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, Wasserwirtschaftsamt Kempten

LANDESANSTALT FÜR UMWELT, MESSUNGEN UND NATURSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG, HOCHWASSER-VORHERSAGE-ZENTRALE KARLSRUHE

SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE, Landeshochwasserzentrum, Dresden

LANDESTALSPERRENVERWALTUNG DES FREISTAATES SACHSEN, Pirna

DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT, Institut für Hochfrequenztechnik und Radarsysteme, Oberpfaffenhofen

Kooperationen DEUTSCHER WETTERDIENST, Referat Niederschlagsüberwachung, Offenbach

LANDESAMT FÜR UMWELT, WASSERWIRTSCHAFT UND GEWERBEAUF SICHT RHEINLAND-PFALZ, Hydrologischer Dienst der oberirdischen Gewässer, Hydrometeorologie, Mainz

PROJEKT 15 [→ S. 24]**HORIX – Entwicklung eines operationell einsetzbaren Expertensystems zum Hochwasserrisikomanagement unter Berücksichtigung der Vorhersageunsicherheit**

| FKZ 0330699

Partner UNIVERSITÄT DER BUNDESWEHR MÜNCHEN, Institut für Wasserwesen
INGENIEURBÜRO FÜR UMWELTMANAGEMENT UND WASSERWESEN, Unterhaching
TU DRESDEN, Institut für Hydrologie und Meteorologie, Professur für Hydrologie
UNIVERSITÄT TRIER, FB 6 Geographie / Geowissenschaften

UNIVERSITÄT STUTTGART, Institut für Wasserbau

HYDROTEC INGENIEURGESELLSCHAFT FÜR WASSER UND UMWELT MBH, Aachen

Kooperationen LANDESAMT FÜR UMWELT, WASSERWIRTSCHAFT UND GEWERBEAUF SICHT RHEINLAND-PFALZ, Mainz

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, Augsburg

BUNDESANSTALT FÜR GEWÄSSERKUNDE, Koblenz

WASSERWIRTSCHAFTSAMT BAD KISSINGEN
DEUTSCHER WETTERDIENST, Offenbach

SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE, Dresden

DR.-ING. KARL LUDWIG, Beratender Ingenieur Wasserwirtschaft - Wasserbau, Karlsruhe

PROJEKT 16 [→ S. 37]**Operationelles Hochwassermanagement in großräumigen Extremsituationen am Beispiel der Mittleren Elbe** | FKZ 0330698*Partner* UNIVERSITÄT KARLSRUHE [TH], Institut für Wasser und Gewässerentwicklung, Bereich Wasserwirtschaft und Kulturtechnik

UNIVERSITÄT KARLSRUHE [TH], Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Forschungsbereich Troposphäre

UNIVERSITÄT KARLSRUHE [TH], Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik, Abt. Erddamm- und Deponiebau

im Unterauftrag CZECH HYDROMETEOROLOGICAL INSTITUTE, Prag, Tschechische Republik

STND GBR, Karlsruhe

DR. KARL KAST + PARTNER [GBR], Ettlingen

BLM GEOTEST GMBH, Berlin

Kooperationen LANDESBETRIEB FÜR HOCHWASSERSCHUTZ UND WASSERWIRTSCHAFT SACHSEN-ANHALT, Magdeburg
SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE, DresdenLANDESTALSPERRENVERWALTUNG DES FREISTAATES SACHSEN, Pirna
STADT DESSAU, Dezernat Bauwesen und Umwelt**PROJEKT 17** [→ S. 28]**Entwicklung integrativer Lösungen für das operationelle Hochwassermanagement am Beispiel der Mulde** | FKZ 0330694*Partner* RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM, Lehrstuhl für Hydrologie, Wasserwirtschaft und UmwelttechnikDEUTSCHER WETTERDIENST, Offenbach
WASY GESELLSCHAFT FÜR WASSERWIRTSCHAFTLICHE PLANUNG UND SYSTEMFORSCHUNG MBH, Berlin, Dresden

BÜRO FÜR ANGEWANDTE HYDROLOGIE, Berlin

Kooperationen SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE, Dresden

PROJEKT 18 [→ S. 54]

MULTISURE – Entwicklung multi-sequenzieller Vorsorgestrategien für grundhochwassergefährdete urbane Lebensräume | FKZ 0330755

Partner UMWELTAMT DER LANDESHAUPTSTADT DRESDEN

DRESDNER GRUNDWASSERFORSCHUNGSZENTRUM E.V. [DGFZ]

GEOFORSCHUNGSZENTRUM POTSDAM [GFZ]
INSTITUT FÜR ÖKOLOGISCHE RAUMENTWICKLUNG [IÖR], Dresden

UNIVERSITÄT LÜNEBURG, Institut für Umweltkommunikation

HS ZITTAU-GÖRLITZ [FH], Kompetenzzentrum Geoinformatik

PROJEKT 19 [→ S. 73]

Retentionsfähigkeit von Gewässernetzen | FKZ 0330687

Partner UNIVERSITÄT KASSEL, Institut für Wasser, Abfall und Umwelt, Fachgebiet Wasserbau und Wasserwirtschaft

UNIVERSITÄT DES SAARLANDES, Saarbrücken, Zentrum für Umweltforschung, Lehrstuhl für Physikalische Geographie

TU BRAUNSCHWEIG, Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Abteilung Hydrologie, Wasserwirtschaft und Gewässerschutz

TU KAISERSLAUTERN, Fachgebiet Wasserbau und Wasserwirtschaft

Kooperationen LANDESAMT FÜR UMWELT, WASSERWIRTSCHAFT UND GEWERBEAUFSICHT RHEINLAND-PFALZ, Referat Flussgebietsmanagement, Mainz

PROJEKT 20 [→ S. 45]

SARISK – Entwicklung eines Schadstoffausbreitungsmodells zur stoffbezogenen Risikoanalyse und -bewertung extremer Hochwasserereignisse am Beispiel des Landkreises und der Stadt Bitterfeld | FKZ 0330690

Partner UMWELTFORSCHUNGSZENTRUM LEIPZIG-HALLE GMBH, Department Fließgewässerökologie und Department Ökohydrologie

MARTIN LUTHER UNIVERSITÄT HALLE-WITTENBERG, Institut für Geographie
UNIVERSITÄT OSNABRÜCK, Institut für Umweltsystemforschung

LEIBNIZ-INSTITUT FÜR ÖKOLOGISCHE RAUMENTWICKLUNG E.V., Dresden

Kooperationen LANDKREIS BITTERFELD
STADTVERWALTUNG BITTERFELD

MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND UMWELT SACHSEN-ANHALT, Referat 25, Magdeburg

PROJEKT 21

Internationales Lehrmodul »Integrated Flood Risk Management of Extreme Events – FLOODmaster« | FKZ 0330680

Partner TU DRESDEN, Institut für Hydrologie und Meteorologie, Professur für Meteorologie

Kooperationen LEIBNIZ-INSTITUT FÜR ÖKOLOGISCHE RAUMENTWICKLUNG E.V., Dresden

EU – Integrated Project FLOODsite – Integrated Flood Risk Analysis and Management Methodologies

PROJEKT 22

DVD-ROM Hochwasser – Grundlagen, Risiken und Abwehr | FKZ 0330691

Partner MMCD MULTIMEDIA CONSULTING GMBH, Düsseldorf

PROJEKT 23 [→ S. 59]

Optimierung des Deichmonitorings für eine zuverlässige Identifikation und Bewertung von Schwachstellen | FKZ 02WH0654

Partner TU BRAUNSCHWEIG, Institut für Grundbau und Bodenmechanik

Kooperationen GGB GESELLSCHAFT FÜR GEOMECHANIK UND BAUMESSTECHNIK MBH, Espenhain

NIEDERSÄCHSISCHER LANDESBETRIEB FÜR WASSERWIRTSCHAFT, KÜSTEN- UND NATURSCHUTZ, Norden

LANDKREIS WOLFENBÜTTEL, Amt für Wasser, Abfall und Bodenschutz, Wolfenbüttel

PROJEKT 24 [→ S. 61]

DEISTRUKT – Systematische Evaluierung existierender und innovativer Methoden zur Schwachstellenanalyse und Strukturerkundung von Deichen | FKZ 02WH0635

Partner BUNDESANSTALT FÜR MATERIALFORSCHUNG UND –PRÜFUNG, Fachgruppe VIII.2, Berlin

UNIVERSITÄT CLAUSTHAL, Institut für Geophysik

GBM WIEBE GLEISBAUMASCHINEN GMBH, Achim

BÜRO FÜR GEOPHYSIK LORENZ, Berlin
GEOTOMOGRAPHIE, Neuwied

PLANUNGSGESELLSCHAFT SCHOLZ UND LEWIS GMBH, Dresden

PROJEKT 25 [→ S. 64]

Sicherer Deich – Untersuchungen an einem Forschungsdeich im Maßstab 1:1 zur Verbesserung des Widerstandsverhaltens bzw. der Standsicherheit von Flussdeichen bei langeinstauenden Hochwassern und Deichüberströmung | FKZ 02WH0641

Partner TU DARMSTADT, Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Fachgebiet Wasserbau

Kooperationen TU DARMSTADT, Institut und Versuchsanstalt für Geotechnik
HESSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT, LÄNDLICHEN RAUM UND VERBRAUCHERSCHUTZ, Wiesbaden

NAUE GMBH & Co. KG, Espelkamp-Fiestel
BBG – BAUBERATUNG GEOKUNSTSTOFFE

GMBH & Co. KG, Espelkamp
FITR WEIMAR E.V., Weimar

PROJEKT 26 [→ S. 59]

Bewertung und Prognose der Standsicherheit von Hochwasserschutz-deichen durch Monitoring mittels Time Domain Reflectometry [TDR] | FKZ 02WHO479, 02WHO487

Partner BAUHAUS-UNIVERSITÄT WEIMAR, Materialforschungs- und -prüfanstalt [MFPA]

UNIVERSITÄT KARLSRUHE [TH], Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik, Abteilung Erddamm- und Deponiebau

Kooperationen STAATLICHES UMWELTAMT ERFURT

THÜRINGER FERNWASSERVERSORGUNG, Erfurt

UNIVERSITÄT LEIPZIG, Institut für Geophysik und Geologie

HOCHSCHULE MANNHEIM, Fakultät Elektrotechnik

UNIVERSITÄT KARLSRUHE [TH], Forschergruppe Feuchtemesstechnik [Soil Moisture Group – SMG]

SCHLAGER – MATHEMATICAL SOLUTIONS & ENGINEERING [S-MS], Horn-Bad Meinberg

ERNST & ENGBRING GMBH & CO. KG, Oer-Erkenschwick

PROJEKT 27 [→ S. 64]

Stabilisierung bruchgefährdeter Flussdeiche mit Dränelementen zur Sickerwasserfassung und Bewehrung | FKZ 02WHO585, 02WHO586, 02WHO587

Partner UNIVERSITÄT KARLSRUHE [TH], Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik, Abteilung Erddamm- und Deponiebau

UNIVERSITÄT KASSEL, Institut für Geotechnik und Geohydraulik, Fachgebiet Geotechnik

SÄCHSISCHES TEXTILFORSCHUNGS-INSTITUT E. V., Chemnitz

Kooperationen KELLER GRUNDBAU GMBH, Offenbach

PROJEKT 28 [→ S. 65]

Sensorbasierte Geotextilien zur Deichertüchtigung | FKZ 02WHO570, 02WHO572, 02WHO573, 02WHO571, 02WHO574

Partner SÄCHSISCHES TEXTILFORSCHUNGS-INSTITUT E.V., Chemnitz

BUNDESANSTALT FÜR MATERIALFORSCHUNG UND –PRÜFUNG, Berlin

LEIBNIZ UNIVERSITÄT HANNOVER, Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen

GLÖTZL GMBH, Rheinstetten

BBG – BAUBERATUNG GEOKUNSTSTOFFE GMBH & CO. KG, Espelkamp

Kooperationen LEIBNIZ UNIVERSITÄT HANNOVER, Institut für Grundbau, Bodenmechanik und Energiewasserbau, Hannover

KARL MAYER MALIMO MASCHINEFABRIK GMBH, Chemnitz

NAUE GMBH & CO. KG, Espelkamp-Fiestel

PHOTONICS, Fachgebiet HF-Technik der TU Berlin

FIBERWARE GMBH, Mittweida

PROJEKT 29 [→ S. 65]

Entwicklung einer selbstdichtenden Wassersperre für Fenster und Türen | FKZ 02WHO477, 02WHO478

Partner SÄCHSISCHES TEXTILFORSCHUNGS-INSTITUT E.V., Chemnitz

UMWELT- UND MASCHINENTECHNIK GMBH, Jocketa, Pöhl

PROJEKT 30 [→ S. 62]

PCRiver – Zuverlässigkeitsanalyse und Risikoabschätzung für den Hochwasserschutz unter integrierter Berücksichtigung geotechnischer, hydrologischer und hydraulischer Einflussgrößen | FKZ 02WHO632

Partner UNIVERSITÄT STUTTGART, Institut für Geotechnik; Institut für Wasserbau, Versuchsanstalt

Kooperationen RIJKSWATERSTAAT DIENST WEG- EN WATERBOUWKUNDE, Delft, Niederlande

LANDESTALSPERRENVERWALTUNG DES FREISTAATES SACHSEN, Pirna
REGIERUNGSPRÄSIDIUM TÜBINGEN

DELFT UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Department of Hydraulic and Geotechnical Engineering

UNIVERSITÄT STUTTGART, Institut für Wasserbau, Lehrstuhl für Hydrologie und Geohydrologie

PROJEKT 31 [→ S. 66]

Risikobasierte Verfahren zur Gewährleistung angemessener Hochwassersicherheiten bei Stauanlagen | FKZ 02WHO566, 02WHO567

Partner TU BRAUNSCHWEIG, Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Abteilung Hydrologie, Wasserwirtschaft und Gewässerschutz

UNIVERSITÄT KARLSRUHE [TH], Institut für Wasser und Gewässerentwicklung, Bereich Wasser und Kulturtechnik, Abteilung Hydrologie

Kooperationen RUHRVERBAND, Essen
LANDESTALSPERRENVERWALTUNG SACHSEN, Pirna

PROJEKT 32 [→ S. 66]

Integrative Nutzung des technischen Hochwasserrückhalts in Poldern und Talsperren am Beispiel des Flussgebiets der Unstrut | FKZ 02WHO588, 02WHO589, 02WHO590

Partner RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM, Lehrstuhl für Hydrologie, Wasserwirtschaft und Umwelttechnik

RWTH AACHEN, Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft
INSTITUT FÜR ÖKOLOGISCHE WIRTSCHAFTSFORSCHUNG GMBH, Berlin

Kooperationen THÜRINGER MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, NATURSCHUTZ UND UMWELT, Erfurt

MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT UND UMWELT DES LANDES SACHSEN-ANHALT, Magdeburg

PROJEKT 33 [→ S. 70]

Erhöhung der Bauwerkssicherheit und Reduktion des Hochwasserrisikos im Unterlauf durch optimierte Speicher- und Poldersteuerung unter Berücksichtigung ökologischer Belange | FKZ 02WH0630, 02WH0631

Partner TU DRESDEN, Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik
TU DARMSTADT, Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung

Kooperationen LANDESTALSPERRENVERWALTUNG DES FREISTAATES SACHSEN, Pirna
WASSERVERBAND EIFEL-RUR, Düren

PROJEKT 34 [→ S. 50]

Entwicklung eines integrativen Bewirtschaftungskonzepts für Trockenbecken und Polder zur Hochwasserrückhaltung | FKZ 02WH0655, 02WH0656, 02WH0657

Partner UNIVERSITÄT STUTTGART, Institut für Wasserbau, Versuchsanstalt
UNIVERSITÄT STUTTGART, Institut für Wasserbau, Lehrstuhl für Hydrologie und Geohydrologie
UNIVERSITÄT HOHENHEIM, Institut für Bodenkunde und Standortslehre, Fg. Allgemeine Bodenkunde mit Gesteinskunde und Fg. Biogeophysik
ERFTVERBAND, Bergheim
TU HAMBURG HARBURG, Institut für Umwelttechnik und Energiewirtschaft
TAUW GMBH, Berlin

PROJEKT 35 [→ S. 48]

HoT – Spannungsfeld Hochwasserrückhaltung und Trinkwassergewinnung – Vermeidung von Nutzungskonflikten | FKZ 02WH0690, 02WH0691, 02WH0692, 02WH0693

Partner STADTWERKE KARLSRUHE GMBH, DVGW-TECHNOLOGIEZENTRUM WASSER, Karlsruhe
UNIVERSITÄT KARLSRUHE [TH], Institut für Hydromechanik; Institut für Wasser und Gewässerentwicklung
UNIVERSITÄT HEIDELBERG, Heidelberger Institut für Zoologie

Kooperationen UNIVERSITÄTSKLINIKUM HEIDELBERG, Hygiene-Institut
UMWELTFORSCHUNGSZENTRUM LEIPZIG-HALLE GMBH
HEINRICH-SONTHEIMER-LABORATORIUM, Karlsruhe

PROJEKT 36 [→ S. 55]

3ZM-GRIMEX – Entwicklung eines 3-Zonen-Modells für das Grundwasser- und Infrastrukturmanagement nach extremen Hochwasserereignissen in urbanen Räumen | FKZ 02WH0557, 02WH0558, 02WH05559, 02WH0560, 02WH0561

Partner DRESDNER GRUNDWASSERFORSCHUNGSZENTRUM E.V.
FRAUNHOFER INSTITUT FÜR ALGORITHMEN UND WISSENSCHAFTLICHES RECHNEN, Sankt Augustin
FRAUNHOFER INSTITUT FÜR TECHNO- UND WIRTSCHAFTSMATHEMATIK, Kaiserslautern
UMWELTAMT DER LANDESHAUPTSTADT DRESDEN
TU DRESDEN, Institut für Siedlungs- und Industrierasserwirtschaft
UMWELTFORSCHUNGSZENTRUM HALLE-LEIPZIG GMBH, Department Angewandte Landschaftsökologie

Kooperationen STADTENTWÄSSERUNG DRESDEN GMBH
SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE, Dresden
REGIERUNGSPRÄSIDIUM DRESDEN, Umweltfachbereich Radebeul

PROJEKT 37 [→ S. 86]

Flächen- und Katastrophenmanagement überschwemmungsgefährdeter städtischer Gebiete als Konsequenz auf eine Risikozunahme durch Klimaänderung | FKZ 0330760

Partner TECHNISCHE UNIVERSITÄT HAMBURG-HARBURG, Institut für Wasserbau,
HAFENCITY UNIVERSITÄT HAMBURG, Institut für Stadt-, Regional- und Umweltplanung
BJÖRNSSEN BERATENDE INGENIEURE GMBH, Koblenz

Kooperationen LANDESBETRIEB FÜR STRASSEN, BRÜCKEN UND WASSER, Freie Hansestadt Hamburg
CITY OF DORDRECHT, Niederlande
WATERSCHAP HOLLANDSE DELT, Dordrecht, Niederlande
WL / DELFT HYDRAULICS, Niederlande
DURA VERMEER BUSINESS DEVELOPMENT BV, Hoofddorp, Niederlande
ENVIRONMENTAL AGENCY [EA], Reading Berks, United Kingdom [UK]

PROJEKT 38

Koordinierung der BMBF-Förderaktivität »Risikomanagement extremer Hochwasserereignisse« | FKZ 0330689

Partner GEOFORSCHUNGSZENTRUM POTSDAM, Sektion 5.4 Hydrologie
CENTER FOR DISASTER MANAGEMENT AND RISK REDUCTION TECHNOLOGY [CEDIM], vertreten durch UNIVERSITÄT KARLSRUHE Institut für Wasser und Gewässerentwicklung

Bilder

ABB. 1 [→ S. 9]

Blick von der Brühlischen Terasse in die Münzgasse während des Hochwassers in Dresden.

RENÉ KADNER,
www.kadner-online.de

ABB. 2 [→ S. 14]

Hochwasser der Weißeritz nach Überlauf der Malter Talsperre

RENÉ KADNER,
www.kadner-online.de

ABB. 3 [→ S. 16]

Historische Hochwassermarken an der Alten Neckarbrücke in Heidelberg

R. GLASER, Freiburg

ABB. 4 [→ S. 17]

Augustbrücke zu Dresden im Winter 1845 – Einsturz des Kreuzifix-Pfeilers während des schweren Hochwassers am 31. März 1845 um 9:30 Uhr

M. DEUTSCH, Göttingen

ABB. 5 [→ S. 21]

Eishochwasser der Elbe im Januar 2003 bei Wittenberge

LEHRSTUHL FÜR HYDROLOGIE UND
WASSERWIRTSCHAFT, BTU COTTBUS

ABB. 6 [→ S. 23]

Überflutetes Gelände der Fakultät für Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften der TU Dresden [13.08.2002]

F. HAUBRICH, Dresden

ABB. 7 [→ S. 25]

Einzugsgebiet des Oberen Mains bis zum Pegel Kemmern mit Überschwemmungsflächen

INSTITUT FÜR WASSERWESEN, BW-UNI MÜNCHEN, Datenquelle: BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ

ABB. 8 [→ S. 28]

Hochwassermarken der Alten Mühle in Grimma

A. SCHUMANN, Bochum

ABB. 9 [→ S. 29 OBEN]

Durch das Hochwasser 2002 zerstörtes Wohnhaus an der Flöha

A. SCHUMANN, Bochum

ABB. 10 [→ S. 29 UNTEN]

Hochwasserschäden im Einzugsgebiet der Mulde

A. SCHUMANN, Bochum

ABB. 11 [→ S. 30]

Hochwasser im Dresdner Zwinger

LANDESHAUPTSTADT DRESDEN,
UMWELTAMT

ABB. 12 [→ S. 31]

Transnationales Einzugsgebietes der Elbe

LEIBNIZ-INSTITUT FÜR ÖKOLOGISCHE
RAUMENTWICKLUNG E.V., Dresden

ABB. 13 [→ S. 33]

Berechnung der Schäden für einzelne Gebäude bei einem bestimmten

Hochwasser mit dem Modell HOWAD

NEUBERT, 2008

ABB. 14 [→ S. 34]

Schrägsicht eines Geländemodells mit und ohne Deich

KRÜGER, 2008

ABB. 15 [→ S. 35 OBEN]

Prinzipdarstellung eines Strömungsmodells zur Simulation einer Polderflutung

CARSTENSEN & KOPP, 2008

ABB. 16 [→ S. 35 UNTEN]

Hochwasserabflüsse der Elbe abhängig von der Auftretenswahrscheinlichkeit und unter Berücksichtigung verschiedener zukünftiger Entwicklungen

WAGNER, 2008

ABB. 17 [→ S. 36]

Hochwasser an der Selke in der Ortslage am 13. 04. 1994

LANDESBETRIEB FÜR HOCHWASSERSCHUTZ UND WASSERWIRTSCHAFT SACHSEN-ANHALT, FLUSSBEREICH HALBERSTADT

ABB. 18 [→ S. 38 | 39]

Elbe-Abschnitt zwischen Wittenberg und Aken in einem Digitalen Geländemodell

INSTITUT FÜR WASSER UND
GEWÄSSERENTWICKLUNG,
UNIVERSITÄT KARLSRUHE [TH]

ABB. 19 [→ S. 39]

Vergleich von Wasserstandslinien mit und ohne Deichbrüche

INSTITUT FÜR WASSER UND
GEWÄSSERENTWICKLUNG,
UNIVERSITÄT KARLSRUHE [TH]

ABB. 20 [→ S. 44]

Künstlerische Darstellung von TerraSAR-X über Europa.

DLR, Oberpfaffenhofen

ABB. 21 [→ S. 45]

Wasserfläche der Überflutung um Tewkesbury, England, abgeleitet aus hochauflösenden TerraSAR-X Daten

DLR, Oberpfaffenhofen

ABB. 22 [→ S. 47]

Eintragspfade und Eintragszeiträume für Schadstoffe in Gewässer

NADINE POSER & ULLA-BRITT VOGT, 2009

ABB. 23 [→ S. 49]

Transportpfad der Schadstoffe von der Hochwasserwelle zum Wasserwerk

NADINE POSER & ULLA-BRITT VOGT, 2009

ABB. 24 [→ S. 51]

Schlechte fachliche Praxis: Beidseitiger Anbau von Mais ohne Gewässerrandstreifen mit Brennesselbewuchs bis zur Oberkante der Uferböschung

NIENHAUS, 2007

ABB. 25 [→ S. 51]

Flächenhafte Ablagerung von sandig-kiesigen Hochflutsedimenten während eines extremen Hochwasserereignisses

NIENHAUS, 2002

ABB. 26 [→ S. 52]

Auslassbauwerk des Hochwasserrückhaltebeckens Horchheim an der Erft

ERFTVERBAND, 2008

ABB. 27 [→ S. 55]

Wasseraustritt durch die Kanalisation am Terrassenufer in Dresden

G. POETSCH, Dresden

ABB. 28 [→ S. 59]

Versuch am Deich bei Penkefitz

M. ROSENBERG, Braunschweig

ABB. 29 [→ S. 60]

Mit Flachbandkabeln gemessene Feuchteverteilung innerhalb eines Deichkörpers als Sättigungsverteilung während eines Einstauversuches

A. SCHEUERMANN, Karlsruhe

ABB. 30 [→ S. 61]

Bodenradar-Untersuchungen auf einem Sanddamm

BUNDESANSTALT FÜR MATERIAL-FORSCHUNG UND -PRÜFUNG, Berlin

ABB. 31 [→ S. 63]

Benutzeroberfläche des Programms PC-Ring für eine Deichstrecke an der Elbe

A. MOELLMANN, Stuttgart

ABB. 32 [→ S. 64]

Einbringen von Dränelementen aus geschlitzten PVC-Rohren in einen Deich

A. BIEBERSTEIN, Karlsruhe

ABB. 33 [→ S. 65]

Prinzipskizze des Schottsystems mit selbst dichtender Wassersperre

NADINE POSER & ULLA-BRITT VOGT, 2009

ABB. 34 [→ S. 67]

Module zur Durchführung einer Risikoanalyse und -bewertung für Stauanlagen

M. ANHALT, 2008, Braunschweig

ABB. 35 [→ S. 68 | 69]

Karten typischer Niederschlagsverteilungen im Unstrutgebiet

LEHRSTUHL FÜR HYDROLOGIE, WASSERWIRTSCHAFT UND UMWELTECHNIK, RUHR-UNIVERSITÄT BOCHUM

ABB. 36 [→ S. 74]

Durchströmter Auwald

CH. KINSINGER, Kassel

ABB. 37 [→ S. 79]

Überschwemmtes Hamburg nach der Sturmflut im Februar 1962

INSTITUT FÜR WASSERBAU, TUHH, Hamburg

ABB. 38 [→ S. 81]

Blick durch die überflutete Fischauktionshalle zur Elbe

CHRISTOPH BELLIN, WWW.BILDARCHIV-HAMBURG.DE

ABB. 39 [→ S. 84 | 85]

Verteidigungskaskaden, innovative Bau- und Lebensformen und praxistaugliche Schutzstrategien im Katastrophenfall?

G. UJEYL, 2008, Hamburg

ABB. 40 [→ S. 87]

Kaskadenschnittmuster

G. UJEYL, 2008, Hamburg

ABB. 41 [→ S. 88]

Darstellung der Wassertiefen bei einem Überströmvolumen von 15,1 Mio m³

G. UJEYL, 2008, Hamburg

ABB. 42 [→ S. 88]

Überflutung Wilhelmsburgs unter Anwendung des Flutkammersystems

G. UJEYL, 2008, Hamburg

ABB. 43 [→ S. 89]

Darstellung der Flutkammern für Wilhelmsburg

G. UJEYL, 2008, Hamburg

UMSCHLAGBILD

Wasser

© IMAGINANDO #3533043

www.fotolia.de

KAPITELTRENNBILDER

[→ S. 7 | 8]

pillars in water

© FIPE #1787559

www.fotolia.de

[→ S. 11 | 12]

bench in water

© ANATOLY TIPLYASHIN #984146

www.fotolia.de

[→ S. 19 | 20]

inondation

© FREE_PHOTO #7614092

www.fotolia.de

[→ S. 41 | 42]

flood

© JULIJA SAPIC #631681

www.fotolia.de

[→ S. 57 | 58]

depth meter

© SCOTT LEMAN #2176260

www.fotolia.de

[→ S. 71 | 72]

drowned tree

© DAVID WOODS #2754843

www.fotolia.de

[→ S. 91 | 92]

überschwemmung

© EMERALDPHOTO #741791

www.fotolia.de

PORTRAIT PROF. HÜTTL [→ S. 5]

GFZ POTSDAM

Impressum

HERAUSGEBER

Helmholtz-Zentrum Potsdam
Deutsches GeoForschungsZentrum
Potsdam [GFZ]
Telegrafenberg
14473 Potsdam

KONTAKT

Prof. Dr.-Ing. Bruno Merz
Dr.-Ing. Ruth Bittner
Dipl.-Geoökol. Knut Günther

REDAKTION

Dr.-Ing. Ruth Bittner

TEXTE

Journalistenbüro Viering und Knauer

GESTALTUNG

Nadine Poser & Ulla-Britt Vogt

ÜBERSETZUNG

Marie Lindenschmidt

DRUCK

Brandenburgische Universitätsdruckerei,
Potsdam

Für den Inhalt der Projektbeschreibungen
sind die jeweiligen
Projektleiter verantwortlich.

Potsdam, 2009

