

**WAERBAU**  
*River and Coastal Engineering*

**TUHH**  
*Technische Universität Hamburg-Harburg*

## Liebe Leserin, lieber Leser



Im Oktober 2003 feiert der Arbeitsbereich Wasserbau an der Technischen Universität Hamburg-Harburg sein 5-jähriges Bestehen. Die Phase der Aufbauarbeit, die Schwerpunktsetzung in Forschung und Lehre sowie die Bekanntmachung des Arbeitsbereichs im norddeutschen Raum ist damit abgeschlossen. Die vorliegende Publikation zum Thema Wasserbau im typischen TU-angelegten Corporate Design mit ansprechendem Layout dient der Dokumentation dieser intensiven,

innovativen und erfolgreichen Gründungszeit. Studierende, angehende Wasserbau-Vertiefer, Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, Kolleginnen und Kollegen der Technischen Universität Hamburg-Harburg sowie Partner in der Industrie und in den öffentlichen Ämtern und andere Interessierte können hierdurch einen tieferen Einblick in die Tätigkeitsfelder des Arbeitsbereichs gewinnen.

Gerade wo es um das sensible Thema Wasser geht, – so lehrt die Erfahrung – einen und trennen sich die Gemüter. In der vielfältigen Landschaft der agierenden Architekten, Städteplaner und Wasserbau-Ingenieure geht es daher heute mehr denn je um die Ausbildung eines eigenen Profils und einer eigenen Forschungsidentität. Den spezifischen Standpunkt zum Wasser gilt es zu formulieren, thematisch zu besetzen und in der Lehre und Forschung auszuführen. Der Nutzen und der Schutz vor Wasser sind die Aufgaben des Wasserbauers; Flussregulierungen, Deichbau, Talsperren, Bewässerungsanlagen, Wasserkraftanlagen, Küstenschutzbauwerke seine Tätigkeitsfelder. In den Planungen der Bauingenieure unterliegt das Wasser vorwiegend naturwissenschaftlichen, ökonomischen und, in neuerer Zeit, ökologischen Kriterien. Besonders die Ingenieure sehen in dem Wasser eine rein rechnerische Größe, deren mathematische Handhabung ein Muss für den Umgang mit dem Wasser in sämtlichen baulichen Planungen darstellt. Wasser ist ein Stoff, über den man, unter Einhaltung physikalischer Gesetzmä-

Bigkeiten, souverän und – vor allem – emotionslos verfügen kann. Bei der Dienstbarmachung des Wassers sind in der Vergangenheit viele Fehler gemacht worden. Die Folgen dieses rein auf Funktionalität ausgerichteten Umgangs mit dem Wasser waren vor allem nach den Hochwasserereignissen im Sommer 2002 überall zu spüren. Der ausschließlich auf die Natur hin abgestimmte, ökologische Ansatz ist keine wirkliche Alternative, da er die Natur und nicht den Menschen in den Vordergrund stellt und häufig durch ideologische Überzeichnung bestimmt wird: Der Mensch wird nicht erreicht.

Die Zeit verlangt deshalb nach einer dritten Entwicklungsstufe, die den Menschen als ganzes Wesen mit seinen gewachsenen kulturellen, religiösen, mythischen Bindungen wieder in die Planungen der Wasserbauingenieure einbezieht. Ohne diesen Einbezug von metaphysischen und sinnlichen Wissensbeständen bleibt die Pluralität der Bedeutungen des Wassers nicht ausgeschöpft, der Lebensraum „Wasser“ nicht erfahrbar und der Mensch von seinen Grundbedürfnissen abgeschnitten. Ich möchte deshalb dieses kulturgeschichtliche Erbe um das Wasser erwecken und zum Gegenstand meiner ingenieurwissenschaftlichen Planungen machen. Die Geschichte der Menschheit lehrt uns seit der Antike – auch mit dem berühmten Satz des Thales von Milet (624-546 v. Chr.) – die Vielfältigkeit der Umgangs-, Erfahrungs- und Wahrnehmungsweisen des Wassers. Als umfassender Stoff war es in fast

allen Wissenschaften präsent. Die Herkunft und Verschmelzung der Wissenschaften im Urgrund „Wasser“ darf nicht länger verdrängt werden und berührt auch den Wasserbau im Wesen. Er muss sich seiner Kunst erinnern, ästhetische, sinnliche und amphibische Aspekte des Wassererlebens in seine Planungen einflechten und wieder zur Wasserbaukunst zurückkehren. Gerade in urbanen Zonen ergeben sich hierdurch viele Möglichkeiten den durch Reizüberflutung, Emissionen und hohe Anonymität beanspruchten Menschen psychisch-emotional wie physisch-aktiv auszugleichen. Wie Beispiele an dem Mosel-Fluss zeigen, können auch moderne Hochwasserschutzanlagen an diesen lebensnahen Kriterien ausgerichtet sein, ohne ihre wesentliche Schutzfunktion einzubüßen. Solche hochtechnischen Deichanlagen fügen sich in die Landschaft ein, sind zum Teil mobiler Natur und also demontierbar; sie schaffen einen Sicherheitsring um die Stadt, ohne undurchlässig zu sein und die Stadt vom Wasser abzuschneiden. Andere Maßnahmen wie Überflutungstaschen an Flüssen (Polder), Wehre und innovative Deichanlagen, die dem Wasser Raum geben, gehören dazu, unterliegen aber strenger mathematischer Kontrolle: denn Flut ist kein Zufallsprinzip, sondern ein rechnerisch zu bestimmender Faktor, der simuliert wird!

Als Leiter des Arbeitsbereichs „River and Coastal Engineering“ habe ich mich diesen naturnahen Konzepten im Wasserbau verschrieben und suche auch bei

extremen Problemlagen nach weichen und natursympathischen Lösungen. Das von mir seit der Gründung des Arbeitsbereichs 1998 vertretene Forschungsfeld umfasst die Bereiche: (I.) Natürliche Strömungen in Fließ- und Küstengewässern, (II.) Technische Strömungen, (III.) Hochwassermanagement, (IV.) Konstruktiver Wasserbau und (V.) IT im Wasserbau. Seit seiner Entstehung 1998 ist der Arbeitsbereich kontinuierlich gewachsen. Mit seinen heute rund 20 festangestellten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, dem eingeworbenen Drittmittelaufkommen von zirka 300.000 EUR im Jahr und seiner exzellenten Grundausstattung gehört er – ohne Frage – zu den repräsentativen Wasserbau-Instituten im gesamtdeutschen Raum.

Diese Broschüre ist den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern gewidmet, die mit ihrer Motivation und ihrem unermüdlichen Einsatz wesentlich zum Erfolg des Arbeitsbereichs beigetragen haben. Als Zäsur zeigt diese Publikation das Gewesene bis heute; steht aber für das Morgen.

Besonderen Dank gilt den Hamburger Behörden, der Behörde für Bau und Verkehr sowie Strom- und Hafenbau, dem Ministerium für Umwelt, Natur und Forsten des Landes Schleswig-Holstein und dem Staatlichen Umweltamt Itzehoe, die durch ihre Aufträge die Forschungsleistung des Arbeitsbereichs besonders auch für die norddeutsche Region entscheidend voranbrachten. Den Kooperationspartnern in der Industrie, der Firma Björnson Beratende Ingenieure in Koblenz,

Elastogran in Lemförde, MAN Technologie in Hamburg und SUN Microsystems, die durch langjährige Forschungsaufträge und Ausstattungshilfe das Spektrum an anwendungsorientierter Forschung entscheidend förderten, sei ebenfalls gedankt. Der Technischen Universität Hamburg-Harburg sowie der TU-Tech GmbH, die in allen Phasen den Aufbau des Arbeitsbereichs durch schnelles und kooperatives Handeln unterstützten, sei ein besonderer Dank ausgesprochen.

Ihr  
Prof. Dr.-Ing. Erik Pasche  
Leiter des Arbeitsbereichs Wasserbau an der TUHH



# Inhalt

## *alles fließt*

### 6 Wasser – wohin fließt du?

*Prof. Dr.-Ing. Erik Pasche*

## *zum wasser*

### 16 Gewässer – Nahtstelle von Natur und Kultur

*Dr. phil. Katharina Jeorgakopulos*

## *forschung*

#### I. Natürliche Strömungen in Fließ- und Küstengewässern

30 Regeneration der Stör durch integrierten Hochwasserschutz  
*Dipl.-Ing. Wolf Plöger*

35 A New Procedure of Solving the One-Dimensional Saint-Venant-Equations for Natural Rivers  
*Dipl.-Phys. Dipl.-Ing. Ulf Teschke*

40 Numerical Simulation of Flexible Vegetal Roughness in Coastal Zones  
*Dipl.-Ing. Nicolle Deussfeld*

44 Naturmessungen unter Hochwasserbedingungen zur Verbesserung der Güte von hydrodynamisch-nummerischen Modellen  
*Dipl.-Ing. Kaj Lippert*

#### II. Technische Strömungen

48 Hydrodynamische Untersuchungen von Wasserversorgungssystemen in Flugzeugen  
*Dipl.-Ing. Markus Töppel*  
*Dipl.-Ing. Martin Rada*

#### III. Hochwassermanagement

53 Methoden und Möglichkeiten einer nachhaltigen Hochwasservorsorge  
*Dipl.-Ing. Timm Ruben Geissler*

63 Analyse und integrale Beschreibung der hydrologischen Prozesse in Flussgebieten mit Grundwasserdominanz  
*Dipl.-Geoök. Claudia Brüning*

66 Praxisorientierte Anwendung hydraulischer und hydrologischer Modelle im Wasserbau  
*Dipl.-Ing. Frank Nohme*

74 Cross Border Flood Management in the River Basin Tisza  
*Dipl.-Ing. Stephan Kräßig*

#### IV. Konstruktiver Wasserbau

80 Polyurethan im Wasserbau  
*Dipl.-Ing. Thorsten Evertz*

84 Umbau der Sohlgleite Bad Oldesloe  
*Dipl.-Ing. Wolf Plöger*

#### V. IT im Wasserbau

86 Automatic Description of Fluvial Topography and Relief for Hydrodynamic Flood Wave Simulations  
*Dipl.-Ing. Sebastian Rath*

90 Internet-basiertes E-Learning an komplexen Simulationsprogrammen  
*Dipl.-Ing. Andreas von Dömming*

92 E-Learning im Wasserbau  
*Dipl.-Ing. Martin Rada*

## *lehre*

98 Lehr- und Forschungsprofil des Arbeitsbereichs Wasserbau

99 Das Studienangebot

100 Nationale und internationale Kooperationen

## *partner*

102 UNI-International

103 Björnsen Beratende Ingenieure

104 MAN Technologie

105 SUN microsystems

106 Elastogran

107 Peute Baustoff

108 HC Hagemann construction group

109 PTC GmbH

110 HDI Versicherungen

111 IBS Hochwasserschutz

## *controlling*

114 Der Arbeitsbereich in Zahlen

116 Studien- und Diplomarbeiten

119 Kontakt

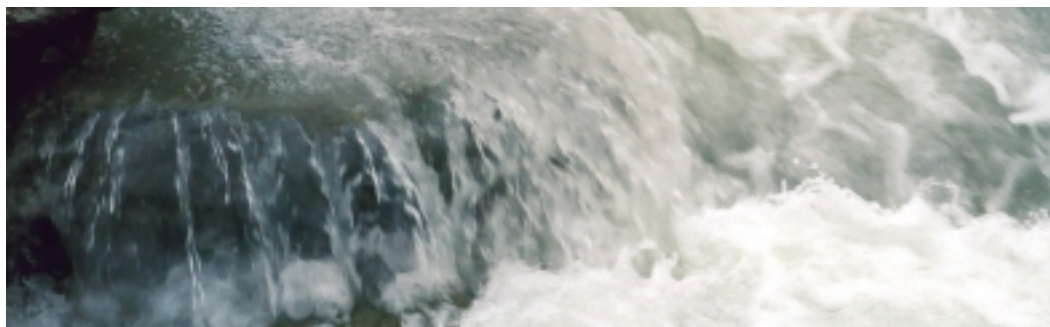




*alles fließt*



## Wasser – wohin fließt du?



*Wasser gehört neben Feuer, Licht und Gestein zu den Urelementen dieser Erde. Schon die griechischen Philosophen erkannten, daß alles Wasser sich bewegt: Panta Rei – Alles fließt! (Heraklit, 500 v.Chr.)*

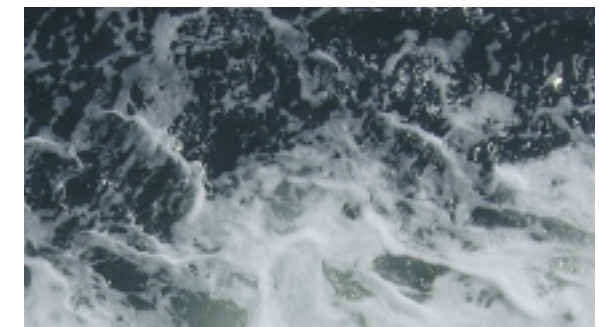
Diese fließende Bewegung des Wassers berührt das irdische Leben in fast allen Bereichen, wobei sie nicht nur Leben fördert, sondern auch bedroht. Aus dieser Ambivalenz der Wasserbewegung heraus erklärt sich auch das große Interesse der Menschen an der Frage, wohin das Wasser fließt. Die extremen Hochwasserkatastrophen der letzten Jahre und der ungebrochene Siedlungsdruck der Menschen in die Flußbauen und Küstenregionen verleiht dieser Frage weltweit höchste Aktualität.

Der Arbeitsbereich Wasserbau an der Technischen Universität Hamburg-Harburg hat diese Fragestellung – wohin das Wasser fließt – zum Leitmotiv seiner Aktivitäten in Forschung und Lehre gewählt und versucht,



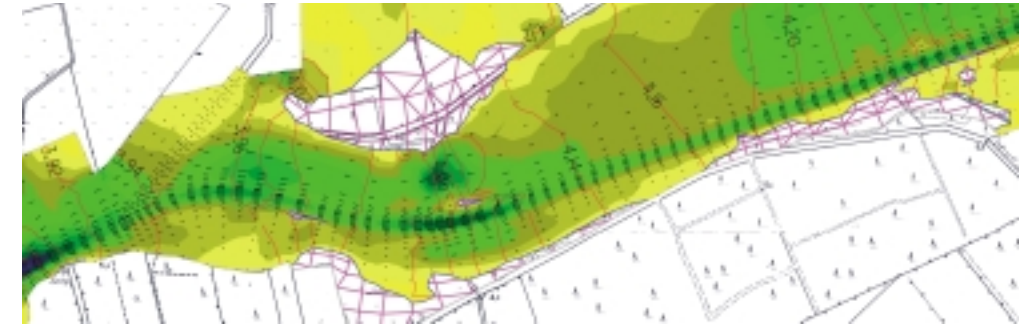
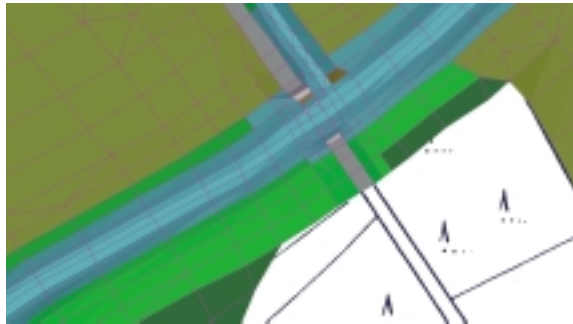
zeitgerechte Antworten aus der Sicht der Wasserbauingenieure für die Wissenschaft, aber auch Praxis zu entwickeln. Mit seinem küstennahen Standort Hamburg kommt dem Arbeitsbereich eine Zentrumsfunktion im norddeutschen Raum zu. Seine Aufgabenfelder konzentrieren sich daher nicht nur auf Fließgewässer des Binnenbereichs. Einen besonderen Schwerpunkt in Forschung und Lehre bilden die für die Küstenregion relevanten strömungs- und morphodynamischen Prozesse für die tidebeeinflussten Fließgewässer, der Schelfregion und der Wattzone des Meeres.

Dieser Beitrag soll einen Überblick geben über die Struktur und Inhalte der Lehr- und Forschungsfelder, die beim Arbeitsbereich Wasserbau in den letzten fünf Jahren aufgebaut wurden. Es soll dargelegt werden, wie eng Forschung und Lehre ineinander greifen und in welchem Maße den drängenden wasserbaulichen Fragestellungen nachgegangen wird.



### I. Natürliche Strömungen in Fließ- und Küstengewässern

Durch die extremen Hochwasserkatastrophen an Küste und Binnengewässern besitzt der Hochwasserschutz derzeit höchste Aufmerksamkeit. In der Wasserbaupraxis differenziert man dabei nach Hochwasserschutz an Binnengewässern und an Küstengewässern. Diese in der Praxis vorhandene strenge Untergliederung ist historisch gewachsen und wird mit den unterschiedlichen Eigenschaften der Hochwasser begründet. An den Binnengewässern entstehen die Hochwasser durch Regenereignisse und können sich über mehrere Tage oder sogar Wochen hinziehen. An den Küstengewässern werden Hochwasser durch Sturmfluten verursacht, die durch starken Wellenangriff geprägt und nur von kurzer Dauer sind. Dennoch unterliegt die Dynamik dieser Binnen- und Küstenhochwasser den gleichen strömungsphysikalischen Gesetzmäßigkeiten. So



üben in beiden Fällen Retentions- und Grenzschichteffekte eine große Wirkung auf die Form der Hochwasserwelle aus. Daher ist es aus Sicht der Wissenschaft geboten, diese Trennung zu überwinden. Entsprechend wendet sich der Arbeitsbereich Wasserbau sowohl in Forschung als auch Lehre diesen beiden Hochwasserphänomenen zu.

Da Hochwasser maßgeblich durch strömungsphysikalische Prozesse bestimmt sind, muss es das erste Anliegen sein, diese zuverlässig zu quantifizieren. Ein wesentlicher Schwerpunkt der Lehr- und Forschungsarbeiten stellt daher die Analyse und mathematische Beschreibung natürlicher Strömungsvorgänge in Fließ- und Küstengewässern dar. Dabei werden die Entwicklungsarbeiten an den mathematischen Modellen so allgemein gehalten, dass sie sowohl auf Binnen- als auch auf Küstengewässer angewendet werden können. Im Fachstudium werden die Studierenden im Rahmen der Vorlesungen „Tiden und Sturmfluten“ und „Wasser-

bau“ zunächst mit dem physikalischen Phänomen Strömung und Hochwasser konfrontiert. In den beiden Lehrveranstaltungen des Vertiefungsstudiums „Simulation im Wasserbau“ und „Morphodynamik der Küstengewässer“ lernen sie die entsprechenden mathematischen Methoden kennen.

Der an den Fließgewässern zu beobachtende Strömungsvorgang wird bei Hochwasser maßgeblich durch Rückhaltung des Wassers auf den Vorländern beeinflusst. Angesichts dieser Bedeutung der Überflutungsräume werden derzeit die gesetzlichen Grundlagen für den Erhalt von natürlichen Überschwemmungsräumen erheblich verschärft (z.B. Entwurf des novellierten Wasserhaushaltsgesetzes der Bundesregierung vom 8.8.2003) und Förderprogramme zur Wiederherstellung natürlicher Überflutungsräume aufgelegt. Aktuelle Forschungsarbeiten des Arbeitsbereichs an zwei Fließgewässern (Stör/Schleswig-Holstein, Unstrut/Thüringen) zeigten anhand instationärer Strömungssi-

mulationen, dass die Retentionsprozesse in natürlichen Fließgewässern sehr komplex ausfallen. Grundsätzlich gilt zwar, je größer die Überflutungsräume, desto stärker wird die Hochwasserwelle gedämpft und verzögert. Je nach räumlichen und strömungsphysikalischen Randbedingungen fiel dieser Dämpfungs- und Verzögerungseffekt aber sehr unterschiedlich aus. Ausschließliche Renaturierungen des Gewässers mit Laufverlängerung und Fließverzögerung durch Gehölze auf Böschung und Vorland erzeugten ohne Vorlandaufweitung nur unwesentliche Scheiteldämpfungen. Eine kontrollierte Flutung der Vorländer mit Hilfe von Poldern erwies sich zudem in diesen Berechnungen um das bis zu 15-fache wirksamer als lediglich eine einfache Deichrückverlegung mit natürlicher Flutung der Vorländer. Somit ist die Anwendung hydrodynamischer Strömungsmodelle mit vollständiger instationärer Berechnung bei retentionserhöhenden Maßnahmen unbedingt zu empfehlen. Dabei ist die Wellenverfor-

mung nicht nur lokal im Bereich der geplanten Maßnahme, sondern für einen größeren Gewässerabschnitt unterhalb der Maßnahme nachzuweisen. Dem Arbeitsbereich Wasserbau ist es in den vergangenen Jahren gelungen, entsprechende hydrodynamische Modelle zu entwickeln, die diesen Retentionsnachweis für konkrete Maßnahmen der Renaturierung, Deichrückverlegung und Polderung der Vorländer führen können.

In der Zukunft sollen diese Instrumente dahingehend optimiert werden, dass Strömung und Überschwemmungsflächen großflächig für ganze Gewässersläufe selbst auf Personal Computern ermittelt werden können, wobei mindestens eine 2-dimensionale Berechnung der Strömung auf der Basis der tiefengemittelten Flachwassergleichungen erreicht werden sollte. Vom Rechenaufwand her ist dieses Ziel bereits jetzt umsetzbar. Jedoch ist der Aufwand in der Modellerstellung nach wie vor hoch, so dass er für eine großflächige Anwendung nicht leistbar ist. Mehrdimensionale Strömungsberechnungen basieren auf einem Gitternetz, dessen Knoten so gesetzt werden müssen, dass mit minimaler Knotenanzahl die Topographie vollständig erfasst und die räumliche Varianz der Strömung rechnerisch nachvollzogen werden kann. Der Durchbruch in der Modelltechnik würde gelingen, wenn derartige Netze automatisch aus den Bestandsdaten zur Topographie generiert werden können. Diese Zielstellung wird in einem Forschungsprojekt des Arbeitsbereichs Wasserbau aufgegriffen. Dabei wird

interdisziplinär und international mit Mathematikern und Geographen der Universität Belgrad zusammengearbeitet.

Die EU-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) sowie die neuen Leitlinien des Hochwassermanagements werden die Wiederherstellung möglichst naturnaher Fließgewässer weiter forcieren. Die Anforderungen an die mathematische Simulation dieser Strömungen werden sich dadurch weiter erhöhen, denn in derartigen Gewässern werden in erheblichem Maße Fließverluste durch Vegetation und geometrische Ungleichförmigkeit erzeugt. Die einfachen Rauheitskonzepte (z. B. nach Mannings) und Turbulenzansätze (z. B. konstante Wirbelviskosität) werden diesen Anforderungen nicht gerecht. In zwei gerade abgeschlossenen Forschungsprojekten konnten entsprechende Modellverfeinerungen sowohl für das eindimensionale wie auch zweidimensionale Strömungsmodell des Arbeitsbereichs erfolgreich abgeschlossen und anhand umfangreicher Naturmessungen mit modernster Messtechnik (ADCP, ADV und GPS) verifiziert werden. Dabei zeigte sich u. a., dass bei den bisher in der Praxis üblichen Netzauflösungen von 2-dimensionalen FE-Modellen die rechnerisch angesetzten Wirbelviskositäten 10-fach zu hoch gegenüber den Naturmessungen ausfallen. Hieraus leitet sich dringender Forschungsbedarf ab, mit dem Ziel der Entwicklung von allgemeingültigen Kriterien zur Eliminierung von Netzeinflüssen auf das Berechnungsergebnis.

Wichtiger Bestandteil des Ökosystems Gewässer sind neben der Ichthyofauna das Benthos, das sich aus einer Populationsvielfalt mit stark unterschiedlichen Ansprüchen an die Strömung zusammensetzt. Erst jetzt beginnt man, den Zusammenhang zwischen den benthischen Lebensgemeinschaften, der Strömung und den morphodynamischen Prozessen zu analysieren. Dabei ist dringend ein starkes Zusammengehen von Biologen und Strömungsphysikern zu empfehlen. Das durch benthische Lebensgemeinschaften hervorgerufene Grenzschichtphänomen ist nicht nur in Binnengewässern von besonderem Forschungsinteresse, sondern auch in den Küstengewässern. So hat man hier die Bedeutung von Seegräsern und Muschelbänken zur Stabilisierung des Wattenmeers erkannt. Das genaue Wirkungsgefüge zwischen den biotischen, strömungsphysikalischen und morphodynamischen Prozessen hingegen ist bei weitem noch nicht geklärt, so dass die gezielte Nutzung benthischer Lebensgemeinschaften für den Küstenschutz noch nicht möglich ist. In einem ersten Forschungsvorhaben konnten jedoch am Arbeitsbereich einige wesentliche hydrodynamische Phänomene in Seegrasfeldern durch Labor- und Feldmessungen geklärt werden und eine entsprechende Theorie zur Quantifizierung der Strömung dort entwickelt werden. In diesem Zusammenhang sei die enge Zusammenarbeit mit der Wattenmeerstation des Alfred-Wegener-Instituts auf Sylt und der Bundesanstalt für Wasserbau, Außenstelle Wedel, hervorgehoben.



## II. Hochwassermanagement

Die aus den Hochwasserkatastrophen gewonnenen Erkenntnisse haben zu einem Paradigmenwechsel im Hochwassermanagement geführt. Standen früher Strategien der Schadensabwendung durch Deiche und Mauern im Vordergrund, so versucht man an erster Stelle heute die Ursachen anzugehen. Diese sind häufig im gesamten Flussgebiet zu suchen und auf mehrere Fehlentwicklungen zurückzuführen, wie Flächenversiegelung, Intensivierung der Landwirtschaft und kanalartiger Ausbau der Fließgewässer. Daher sind integrative, das gesamte Flussgebiet umfassende Hochwassermanagement-Konzepte gefordert, die dezentrale Einzelmaßnahmen wie Gewässerrenaturierungen, Nutzungsextensivierungen, Flächenentsiegelung und dezentrale Regenwasserversickerung zu einem ganzheitlichen aufeinander abgestimmten Konzept zusammenführen. Diese zum Teil teuren, vielfältigen

da subtilen Maßnahmen verlangen ein hohes Maß an Gewässerkenntnis: Die Abflüsse eines Gewässers als Folge von zu erwartenden Stark-Regen-Ereignissen (Bemessungsniederschläge) müssen bekannt sein. Erst dann kann das Hochwasserrisiko der Gewässerrandbebauung abgeschätzt werden. Der quantitativen Hydrologie kommt daher eine besondere Bedeutung zu. Sie modelliert die Niederschlag-Abflussprozesse und legt das Wirkungsgefüge zwischen Starkregenereignissen und den sich einstellenden Hochwasserverhältnissen in Abhängigkeit von der Gebietstopographie und -physiologie dar. Anfangs beschränkten sich die Modelle im Wesentlichen auf die Prozesse der Abflussbildung auf der Erdoberfläche und des hypodermischen Abflusses in der oberflächennahen Bodenzone. In den 80iger und 90iger Jahren wurden diese Modelle zu Wasserbilanzmodellen erweitert, die den gesamten bodengestützten Wasserkreislauf bilanzieren und somit zusätzlich zur ersten Modell-Generation auch die

Abflussvorgänge und Speichervorgänge im Untergrund erfassen. Mit dem Programmsystem KALYPSO-NA verfügt der Arbeitsbereich Wasserbau inzwischen über ein entsprechendes Programmsystem. Im Rahmen von zahlreichen F+E-Vorhaben konnte dieses sehr erfolgreich an verschiedenen Flussgebieten der norddeutschen Tiefebene verifiziert werden. Dabei wurden aber auch Schwächen in der Darstellung der im Flachland dominierenden Austauschprozesse zwischen Grundwasser und Oberflächengewässer deutlich, an denen mit hoher Priorität gearbeitet wird.

Jüngste Forschungsarbeiten haben KALYPSO-NA zu einem Vorhersagemodell entwickelt. Mit finanzieller Unterstützung der EU wurde in Zusammenarbeit mit dem Ingenieurbüro Björnson Beratende Ingenieure GmbH Koblenz, der Struktur- und Genehmigungsdirektion (SGD) Nord Trier und der Transcarpatian Industrial Administration of Melioration and Water Management (TIAMWM) in der Ukraine dieses Modell auf





das ca. 50.000 km<sup>2</sup> große Flussgebiet der Oberen Theiß angewendet und wird seit Februar 2003 im operativen Betrieb des Hochwassermeldezentrums Obere Theiß in Ushgorod/Ukraine genutzt.

In der Lehre wird das Fachgebiet der quantitativen Hydrologie sowohl im Fachstudium als auch im Vertiefenstudium abgedeckt. Während im Fachstudium der Schwerpunkt auf der Hydrometrie liegt und die Studierenden im Umgang mit modernen Methoden der Abfluss- und Wasserstandsmessung geschult werden, erhalten sie im Vertiefenstudium zunächst die Grundlagen der Anwendung von Geographischen Informationssystemen in der Wasserwirtschaft, bevor sie im Rahmen der Vorlesung und Übung „Simulation in der Wasserwirtschaft“ die theoretischen Grundlagen zur quantitativen Hydrologie erlernen und gezielt in der Handhabung des Modellsystems KALYPSO-NA geschult werden. Letztere Lehrveranstaltung wird auch für Hochschulexterne im Rahmen von Weiterbildungs-

veranstaltungen angeboten. Politik und Wasserwirtschaftsverwaltung haben bisherige Fehlentwicklungen und Defizite im Hochwassermanagement erkannt und neue Leitlinien für einen zukunftsweisenden Umgang mit Hochwasser formuliert (z. B. 5-Punkte Programm der Bundesregierung). Sie stellen die Hochwasservorsorge in den Vordergrund eines Hochwassermanagements, die sich untergliedert in Flächen- (raumplanerisches Aufgabengebiet), Bau-, Verhalten- und Risikovorsorge. Damit soll der betroffene Bürger zu einem Leben mit dem Hochwasser angeleitet werden, indem er sein Hochwasserrisiko und seine Verwundbarkeit kennt und durch Eigenvorsorge zu einer Minimierung des Schadenspotenzials beiträgt. Im Auftrag der Internationalen Kommission zum Schutze des Rheins (IKSR) untersuchte der Arbeitsbereich Wasserbau im Rahmen eines internationalen Konsortiums die Wirksamkeit eines verbesserten vorsorgenden Hochwasserschutzes. Anhand zahlreicher Schadensanalysen an

Donau, Rhein und Mosel wurden zunächst die typische Pfade der Schadensentstehung bei Privathaushalten und Gewerbe aufgezeigt und die Schadenssituation Betroffener mit und ohne Hochwassererfahrung verglichen. Hierauf aufbauend wurde eine Theorie des vorsorgenden Hochwasserschutzes entwickelt, welche die Bedeutung der Vorsorge im Hochwasserschutz begründet und das Schadensminderungspotenzial von Maßnahmen der Hochwasservorsorge quantifiziert. Erstmals lässt sich in der Hochwasserschadensabschätzung die Verhaltensweise der betroffenen Bevölkerung berücksichtigen. Aufsichtsbehörden, aber auch Einzelpersonen können hierdurch bestehende Defizite in der Hochwasservorsorge leicht erkennen und wirksame, ökonomisch sinnvolle Sanierungsmaßnahmen entwickeln.

### III. Konstruktiver Wasserbau

Auch wenn die Vorsorge die höchste Priorität im Hochwassermanagement besitzt, werden auch künftig infrastrukturelle Maßnahmen wie Deichbau und Ufermauern im Hochwasserschutz umgesetzt. Dabei zeichnet sich in urbanen Gebieten ein starker Trend zu mobilen Hochwasserschutzsystemen ab. Durch permanente bauliche Anlagen würde das Stadt- und Landschaftsbild stark beeinträchtigt werden. Die Lösung wird deshalb in mobilen Hochwasserschutzsystemen gesehen, die während des Hochwasserereignisses aufgestellt und damit nur temporär eine räumliche Trennung zwischen Fluss und Ortschaft bewirken. Inzwischen wird auf dem Markt eine Vielzahl unterschiedlicher Systeme angeboten, die prinzipiell keine Anwendungsgrenzen offen lassen. In dieser Euphorie wird leicht die Frage nach der Sicherheit derartiger Systeme außer Acht gelassen. Unter der Leitung des Arbeitsbereichs Wasserbau erarbeitete eine Kommission des Bundes der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfalltechnik und Kulturbau (BWK) im Auftrag des Ministeriums für Umwelt- und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (NRW) ein Merkblatt, in dem die fachlichen Grundlagen für einen sicheren Einsatz derartiger Hochwasserschutzsysteme dargelegt und ihre Grenzen aufgezeigt werden. Dieses wurde jüngst einem breiten Fachpublikum im Rahmen des BWK-Bundeskongresses in Karlsruhe vorgestellt. Eine

Übersicht der verfügbaren Systeme, einschließlich konstruktiver Vor- und Nachteile formuliert einheitliche, statische und geotechnische Bemessungsgrundlagen sowie logistische Anforderungen und stellt die verbleibenden Risiken sowie Methoden zu ihrer Bewertung und Minimierung heraus.

Eine weitere zukunftsweisende Technik des infrastrukturellen Hochwasserschutzes bilden Hochwasserpolder. Durch geschlossene Deichanlagen werden Vorlandbereiche vom natürlichen Überflutungsraum abgetrennt und über Ein- und Auslaufbauwerke im Hochwasserfall kontrolliert geflutet. Der Arbeitsbereich Wasserbau wirkte an Planung und Ausführung mehrerer derartiger Anlagen mit. Im Zusammenwirken mit Ökologen und Biologen wurden dabei umweltgerechte Konzeptionen entwickelt, die als Durchström- und Kaskadenpolder Strömungsstagnation und hohe Wasserstände vermeiden und durch ökologische Flutung und Naturschutzmaßnahmen im Polder Grundlagen für eine standortgerechte Biotopentwicklung schaffen. Als Beispiel für einen vorbildlichen und umweltgerechten Hochwasserschutz ist der Polder Schefferfeld an der Bauna bei Kassel hervorzuheben, der aus diesem Grunde in die Weltausstellung Expo 2000 in Hannover aufgenommen wurde.

Die EU-Wasserrahmenrichtlinie fordert den guten ökologischen Zustand unserer Fließgewässer. Trotz der Erfolge in der Wasserqualität bestehen weiterhin erhebliche Strukturdefizite an unseren Flüssen. Kon-

zepte und konkrete Maßnahmen der Renaturierung von Fließgewässern besitzen daher eine hohe Aktualität in der Wasserbau-Praxis. Der Arbeitsbereich Wasserbau begleitete mehrere derartige Vorhaben wissenschaftlich und setzte die dabei gewonnenen Erkenntnisse in Empfehlungen um. Hervorzuheben sind in diesem Zusammenhang die neuartigen Kolk-Riegel-Konstruktionen an der Sohlgleite der Trave in Bad Oldesloe, die Verwendung neuer ingenieurbioologischer Methoden wie Regime-Theorie und Krainerverbau zur Renaturierung der Stör/Schleswig-Holstein, Düpenau und Stellau (Hansestadt Hamburg).

Für innerstädtische Fließgewässer wurden Ansätze der Revitalisierung entwickelt, die ergänzend zur ökologischen Strukturverbesserung in starkem Maße die Naherholung fördern. Ein Wasserbau, der Natur- und Umweltschutz ohne Offenheit für die metaphysischen Bedürfnisse des Menschen betreibt, wird der nachhaltigen Entwicklung unserer Kultur- und Landschaftsräume nicht gerecht. Das bedeutet aber, dass ökologisch orientierte Wasserbaumaßnahmen stärker den Aspekt des Natur-Erfahrens in die Planung und Gestaltung einbeziehen müssen. Die Potenziale für diesen metaphysisch orientierten Wasserbau sind in urban geprägten Fließgewässern besonders hoch und lassen sich z. B. aktivieren durch: Orientierung des Stadtgrundrisses zum Gewässer hin, Anlegen von Promenaden entlang des Gewässers, ästhetische Aufwertung technischer Gewässerprofile, städtebauliche Akzentuierung

von Brücken durch baukünstlerische Gestaltung, Kunst am Wasser, Betretbarkeit des Gewässers durch flache Uferzonen, seichte Gewässerstellen und Stege am Gewässerrand, Nutzung des Gewässers als Lebens- und Handelsraum, landschaftsarchitektonische Einbindung von Bauwerken.

Sämtliche dieser Maßnahmen schaffen für den Menschen weiche Übergänge zwischen Wasser- und Landflächen, fördern den amphibischen Charakter innerstädtischer Gewässer und treten wiederum für einen Paradigmenwechsel ein. Während in der Vergangenheit der Natur- und Hochwasserschutz eher für eine strikte Trennung zwischen dem Gewässer und der Umgebung eintrat, wird in diesem neuen Konzept der Mensch nicht mehr vom Gewässer fern gehalten, sondern bewusst in diesen Lebensraum einbezogen. Dies hat weitreichende Eingriffe in die Fließgewässer und Küstenlandschaften zur Folge, die sowohl vom Ökologen als auch Wasserbauer ein Umdenken verlangen. Dass derartige Bestrebungen nicht auf Kosten der Natur und der Sicherheit ablaufen, wird uns sehr erfolgreich in unseren Nachbarländern mit langer Wasserbautradition – wie den Niederlanden und Dänemark – vor Augen geführt. Entsprechende konzeptionelle Überlegungen wurden im Arbeitsbereich konkret für die Hafen City von Hamburg und den Binnenhafen von Hamburg-Harburg entwickelt und fanden ein breites Echo in der Tagespresse. Konkrete Umsetzung erfahren diese Konzepte bereits am Cheonggyeong

River in Seoul/Korea, wo mit einer Investition von ca. 0,5 Mio. EUR der zur Zeit unter zwei Straßenebenen eingehaute Flusslauf auf einer Länge von ca. 5 km wieder offengelegt wird. Seit 1999 werden die Stadt Seoul sowie die beteiligten Hochschulen in Form mehrerer Forschungsaufenthalte und wissenschaftlicher Kolloquien vom Arbeitsbereich aktiv in ihren Planungs- und Bauabsichten zur urbanen Gewässerrevitalisierung betreut.

Trotz der Erfolge ingenieurbioologischer Bauweisen kann im Küstenschutz und im Flussbau nicht auf Sicherungsmaßnahmen mit toten Baustoffen verzichtet werden. Deckwerke aus losen Wasserbausteinen besitzen dabei noch die besten ökologischen Eigenschaften, da ihr Lückensystem einen wertvollen aquatischen Lebensraum für benthische Lebensgemeinschaften ermöglicht. Der Trend zu immer größeren und schnelleren Schiffseinheiten erhöhte jedoch in den letzten Jahren die hydrodynamischen Belastungen in Wasserstraßen in einer Weise, dass inzwischen die Belastungsgrenzen vorhandener Deckwerke an Böschung und Sohle erreicht sind. Schäden an losen Deckwerken nehmen daher zur Zeit beträchtlich zu. Verstärkungen durch Gabione oder Verklammerungen mit Soilcrete beziehungsweise Asphalt zeigen nur mäßigen Erfolg oder erweisen sich als zu teuer und ökologisch unverträglich. Es werden daher dringend neue Technologien im Deckwerksbau benötigt. Der Arbeitsbereich Wasserbau hat sich dieser Problematik angenommen und

erprobt im Rahmen von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben mit der Industrie neue Materialien und Techniken zur effektiveren Verklammerung von Wasserbausteinen.

Trotz der zunehmenden Bedeutung und schnellen Entwicklung von Simulationsmodellen und EDV-gestützten Planungsstrategien nimmt das Wasserbauliche Planen – wie die Beispiele des konstruktiven Wasserbaus zeigen – eine große Bedeutung in der Ingenieurpraxis ein. Dabei unterliegt es einem nicht minder hohen Innovationsprozess. So sind Fertigkeiten und die Offenheit gegenüber neuen Entwicklungen bei Wasserbau-Ingenieurinnen und Wasserbau-Ingenieuren im Bereich Entwurf und Konstruktion inzwischen Voraussetzung.

Durch die zunehmende Leistungsfähigkeit von CAD und GIS werden heutige wasserbauliche Entwürfe ausschließlich auf dieser Grundlage erstellt. Das entlässt den Ingenieur nicht aus der Pflicht, zeichnerische Fähigkeiten zu entwickeln. Graphische Computerwerkzeuge zwingen den Anwender zu sehr konkreten und detaillierten Darstellungsformen. Dies schränkt die Ideenvielfalt und Alternativenplanung nachteilig ein. In der Entwurfsphase ist daher die skizzenhafte Papierzeichnung mit freihändigem Linienzug unübertroffen. Daher wird in der Vertieferausbildung diese klassische Fertigkeit des freihändigen Zeichnens intensiv trainiert und die Studierenden im „Wasserbaulichen Entwerfen“ unterrichtet. Anhand vier großer Übungen entwi-



ckeln sie praxisgerechte Entwürfe zu Problemstellungen der Gewässerrenaturierung, Polderplanung, des innerstädtischen, mobilen Hochwasserschutzes und der Umgestaltung von Sohlabstürzen zu Sohlgleiten und Fischeufstiegen. Aufgrund dieses ökologischen Schwerpunkts und vieler weltweit gefragter Planungstechniken des Wasserbaus ist dieses Ausbildungsprogramm sowohl Teil des Diplomstudiengangs Bauingenieurwesen sowie des internationalen Master's Program Environmental Engineering. Die Unterrichtung erfolgt daher bilingual. Deutsche und ausländische Studierende absolvieren gemeinsam in Arbeitsgruppen ihre Planungsaufgaben und üben sich so in englischsprachiger Fachkonversation und internationaler Teamarbeit. Ergänzt wird diese Ausbildung zum Global Engineering durch Forschungsaufenthalte an ausländischen Partner-Universitäten. Im Rahmen von Studien- und Diplomarbeiten ermöglichten sie bislang interessierten Wasserbau-Studierenden gewinnbringende Forschungsaufenthalte

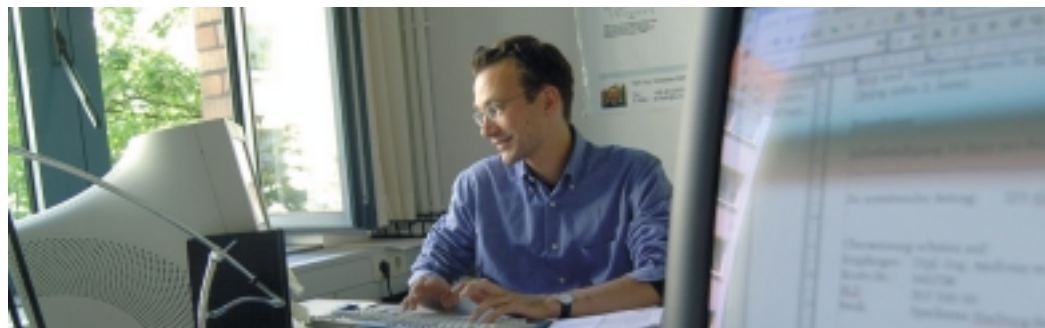
an renommierten Universitäten wie der: University of California, Davis/USA, University of Maryland, Sea Grant College, Maryland/USA, Queen's University, Kingston/Kanada, Delft University/Niederlande und der königlichen Universität Stockholm/Schweden.

#### IV. Informationstechnologien im Wasserbau

Ohne den Einsatz der EDV ist der Wasserbau heute nicht mehr denkbar. Dabei kommen Computermodelle zur Simulation hydrologischer und hydraulischer Prozesse sowie Programme zur Unterstützung der Konstruktionsarbeiten (CAD) und des Datenmanagements von hydrometeorologischen und geographischen Informationen (GIS, Datenbanken) zur Anwendung. Insbesondere die Simulationsprogramme stellen Schlüsseltechnologien im Wasserbau dar. Um so überraschender ist es, dass viele Forschungseinrichtungen

dazu übergegangen sind, auf eigene Entwicklungen zu verzichten und nur noch Modelle von renommierten, überwiegend ausländischen Forschungseinrichtungen zu verwenden. Der Arbeitsbereich Wasserbau hat jedoch die Aufbaujahre für die Entwicklung moderner Programmierstechniken und numerischer Methoden intensiv genutzt, um auf dem attraktiven Forschungsfeld des Software Engineering mitspielen zu können. Aus diesen Arbeiten ging inzwischen eine eigene Modellfamilie hervor, die auf dem Gebiet der quantitativen Hydrologie und der Hydrodynamik offener Gewässer nicht nur den Anschluss an den hohen Entwicklungsstand internationaler Forschungseinrichtungen in vielen Teilbereichen gefunden hat, sondern bereits verschiedene neue Methoden enthält, die aus eigenen Forschungsarbeiten hervorgingen. Die Modellfamilie ist unter dem Namen KALYPSO zusammengefasst und umfasst folgende Einzelprogramme:





- Kalypto-NA zur Simulation des Niederschlag-Abfluss-Prozesses und des vollständigen, landgebundenen Wasserkreislaufs mit den Teilprozessen Schneespeicherung, Evapotranspiration, Bodengewässerspeicherung, Grundwasserneubildung, Oberflächenabfluss, Bodenzwischenabfluss (Interflow), Grundwasserabfluss und Wellentransport im Gerinne. Es entspricht dem Typ des konzeptionellen, deterministischen und detaillierten hydrologischen Modells und eignet sich sowohl für Prozessanalysen als auch für die Hochwasservorhersage im operativen Einsatz.
- KALYPSO-WSPSTAT zur stationären, eindimensionalen Simulation der Wasserspiegellinie in Fließgewässern unter Verwendung der methodischen Ansätze gemäß den Empfehlungen des DVWK-Merkblattes 220 und des BWK-Merkblattes 1/2000.
- KALYPSO-WSPINST zur instationären Simulation der Wasserspiegellage unter Verwendung der gleich-

chen methodischen Ansätze von KALYPSO-WSPSTAT.

- KALYPSO-WSP2D zur zwei-dimensionalen instationären Simulation der Strömungsvorgänge in Binnen- und Küstengewässern. Das Programmsystem baut auf dem verbreiteten Programm RMA2 der Resources Management Association, Lafayette/USA auf, wurde jedoch in Bezug auf Rauheitsmodellierung an die Entwicklungen der Merkblätter von DVWK und BWK angepasst und verfügt über neue Methoden der Turbulenz- und Dispersionsmodellierung.

Die Programme wurden größtenteils noch in Fortran programmiert. Um die Verbreitung dieser Programme zu vereinfachen und zu fördern, werden derzeit Oberflächen entwickelt, die den Zugriff dieser Programme aus einem Web-Browser heraus über das Internet erlauben. Für KALYPSO-NA ist die erste Generation einer entsprechenden Oberfläche fertiggestellt und

wird zur Zeit in der Wasserwirtschaftsverwaltung der Freien und Hansestadt Hamburg eingeführt. Eine weitere Oberfläche wird für KALYPSO-WSPSTAT durch die Firma Björnson Beratende Ingenieure GmbH, Koblenz, bereitgestellt. Sie basiert auf der in der Praxis weit verbreiteten Oberfläche WSPWIN, welche inzwischen in 7 Bundesländern verbindlicher Standard der Wasserwirtschaftsverwaltung ist. Sämtliche Programme werden auf Anfrage an Forschungseinrichtungen und andere qualifizierte Anwender – auch in offener Version – entsprechend den Regeln des Open Software Konsortium weitergegeben. Der Arbeitsbereich Wasserbau möchte auf diese Weise den Wissenstransfer zwischen Hochschule und Ingenieurpraxis nachhaltig beschleunigen.

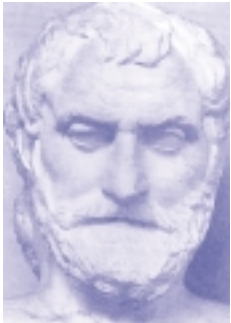


*zum Wasser*



Dr. phil. Katharina Jeorgakopulos

## Gewässer – Nahtstelle von Natur und Kultur



Vorsokratiker  
Thales von Milet  
(4. Jh. v. u. Z.)

*Wasser kann hochschießen und herabstürzen, es kann rauschen und tönen wie Glöckchengeklingel, es kann reine Oberfläche oder nur Tiefe sein, es kann eine unvergleichliche, die Ruhe des Steines weit übersteigende Stille atmen, oder es kann unter der Qual ewiger Bewegung gleichsam sieden. (Derek Clifford)*

*Seht der Wasserwellen Lauf  
wie sie steigen ab und auf,  
von der Quelle bis zum Meer  
rauschen sie des Schöpfers Ehr.  
(J. Neander, Kirchenlied)*

### Warum Wasser als kulturwissenschaftlicher Stoff ?

Der Gang durch die abendländische Geschichte vermittelt, welches komplexes und vielfältiges Verhältnis zwischen Mensch und Wasser besteht. Wird die Gegenwart als Anreicherung von geschichtlichen Prozessen und Ereignissen verstanden, so können die kulturellen Spuren der Vergangenheit in unserer heute technischen Umwelt kenntlich gemacht und neue natur- und ingenieurwissenschaftliche Bezüge und Praxen zum Wasser gewonnen werden. Damit ist konkret die Rolle der Geisteswissenschaften, heute oft Kulturwissenschaften genannt, angesprochen; denn ihre Vermittlung einer profunden Geschichtskennntnis – sei es

die politische, religiöse, soziale, ästhetische oder philosophische – ermöglicht es den agierenden Wissenschaftlern auf jüngste umweltbedingte Wasser-Katastrophen besser zu reagieren und ein Umdenken vorzunehmen. Die hier gegebene Anregung, einmal den Kontext zu erweitern und sich der Komplexität der Zusammenhänge von Geistes-, Natur- und Ingenieurwissenschaft bewusst zu werden, lassen spielerische, künstlerische und naturnahe ingenieurwissenschaftliche Wasser-Konzepte heute plausibler und verständlicher erscheinen.

### I. Was die Welt im Innersten zusammenhält – Wasser in der Vorstellung antiker Philosophien

Die Suche nach dem einem Grundprinzip des Lebens bringt der Vorsokratiker und erste griechische Philosoph Thales von Milet (4. Jh. v. u. Z.) auf den Nenner: Wasser. Wasser ist der Urgrund allen Seins, aus dem alle Dinge hervor- und wieder zurückgehen. Die Welt, das Leben, sind Fließprozesse deren Formen des Lebens sich permanent neu aus dem Wasser generieren. Die Angst vor dem Tod und dem Formenzerfall, dem „Nichts“ (Nichts hat Bestand, alles vergeht), wird mit der Annahme dieses alles verbindenden Grundprinzips positiv begegnet. Denn der Aufgabe der Form folgt ihre Neuhervorbringung. Das Leben wird im Ver-

gehen als Kreislauf dargestellt. Die Wasser-Elemente-Theorie des Thales von Milet ist die erste systematische Theorie einer Welterklärung aus dem Wasser. Es gibt weitere Naturtheoretiker, die andere Elemente in den Vordergrund ihrer Theorien stellen: Thales von Milet – das Wasser; Heraklit aus Ephesus – das Feuer; Empedokles von Agrigent – eine Verbindung aus den vier Stammwurzeln der Elemente Feuer, Wasser, Erde, Luft.

### Das „Element“ als naturphilosophischer Terminus

Die moderne Naturwissenschaft hat die antike Elemente-Theorie vollständig ab- und aufgelöst. Sie unterscheidet heute über 90 ganz anders strukturierte „Elemente“ und versteht darunter jeden Grundstoff, der mit den heutigen chemisch-physikalischen Methoden nicht zerlegt oder aufgelöst werden kann. Die Elemente, mit denen sie auf praktischem wie theoretischem Gebiet arbeitet, haben also mit jenen vier Urgrundstoffen nur das Wort „Element“ gemeinsam. Heute würde kein Physiker oder Chemiker sagen, eines der vier alten Elemente sei der einzige Grundstoff der Welt. Die Elemente der Vorsokratiker, Land und Meer, Erde und Wasser, darf man sich also keinesfalls als naturwissenschaftliche Größen vorstellen. So muss die Frage, um welchen Urstoff oder Urgrund es sich hier bei dem Wasserpostulat von Thales handelt, anders beantwortet werden und führt vielmehr auf ein erkenntnistheoretisches metaphysisches Problem. (Carl Schmitt, Land und Meer, Stuttgart 1993)

Es handelt sich hier um eine völlig andere Auffassung von Materie und Wasser: um eine naturphilosophische Anschauung und Naturtheorie und also um ein erkenntnistheoretisches und nicht naturwissenschaftliches Feld. Diese Tatsache führt in einen anderen Bereich des Wissens: in die Geschichte der Philosophie, des Logos und seines Ursprungs.

Folgt man der Annahme Thales, dann ist das Wasser neben seiner realen Eigenschaft feucht-flüssig zu sein ebenso ein denkendes Prinzip. Die Natur ist weder nur der Inbegriff der Naturgesetze noch die Gesamtheit aller Naturdinge, sondern, so der letzte große Naturphilosoph Schelling um 1800, „ist [...] (sie) das diese Gesetze wie Naturdinge hervorbringende Vermögen. (Gernot Böhme, *Natürliche Natur. Über die Natur im Zeitalter ihrer technischen Reproduzierbarkeit*, Frankfurt am Main 1992, 30 f.) Aufgabe der Naturphilosophie ist es also über diese ursprünglich hervorbringende Natur, die sogenannte *natura naturans*, zu sprechen.

Es handelt sich demnach in den vorsokratischen Theorien (noch) nicht um ein rein platonisches oder metaphysisches Denken, sondern um ein naturbezogenes oder natursympathisches Denken, das sich in seiner Form noch nicht vom Materiellen – also der sichtbaren Welt – abgesetzt und abgelöst hat. Diese Verklammerung von Materiellem und Immateriellem, von denkendem Prinzip und Materie (von Subjekt und Objekt) wird von Platon im Zuge der Geschichte der

Philosophie aufgegeben. Platon, man kennt ihn nur aus Sokrates Schriften, war der Begründer der reinen Metaphysik, des so genannten Platonismus. Er läutete die Geburtsstunde des abendländischen Denkens ein.

Die Unterscheidung von vorsokratischem und platonischem Denken vermittelt uns den gegenwärtigen Stellenwert des Wassers, den es heute noch hat. Wasser in den Naturphilosophien der Vorsokratiker meint mehr als das Wasser in unserer herkömmlichen Vorstellung. Es ist dort einerseits das sichtbare feucht-flüssige Element der Schöpfung, andererseits ist es aber (bei Thales) das entscheidende, alles verbindende und verbindliche Grundprinzip allen sichtbaren Lebens und damit ein höheres Prinzip. Wasser hier ist also mehr als es ist: Materie und denkendes Prinzip zugleich. Es handelt sich also um ein Bewusstsein, das materiell oder substantiell gedacht wird, das in und mit Natur funktioniert und noch nicht von ihr abgelöst ist. Diese Ablösung oder auch, deutlicher gesagt, Abspaltung der Natur (und also des Wassers) aus dem Denken beginnt mit Platon. Hier wird jegliches sichtbare und materielle Körpersein als nieder und abgeleitet herabgesetzt. Mit Platon, so kann man rückblickend sagen, beginnt demnach ein Feldzug gegen die Schöpfung der Natur, der das Denken von den Banden der sichtbaren, materiellen Welt befreit, um es als reine und eben als metaphysische Instanz wieder zu gewinnen. Platon als der Begründer der reinen abstrakten Philosophie löste damit die Elemente-Theorie der Vorsokratiker ab,

indem er das Leben allein aus den metaphysischen Ideen (den Eidos) ableitete. Die Grundprinzipien allen Seins sind von da ab nur noch auf dem Wege des Denkens und nicht mehr durch die sinnliche Wahrnehmung und Erfahrung von Natur zu gewinnen. Das berühmteste Beispiel dieser Anschauung des Lebens aus der immateriellen Idee der Wahrheit ist das „Höhlengleichnis“, das Platon erzählt (Platon, *Der Staat*, 7. Buch). Wir, so Platon, nehmen in der äußeren Welt (das ist die Höhle) die Wahrheit (in Gestalt des Lichts aus dem Fenster) nur als Schatten wahr. Ziel ist es, sich zur Wahrheit durchzuringen, sich also aus der dunklen Höhle zu befreien und sich der Wahrheit zuzuwenden. Das Licht der Wahrheit aber blendet den Philosophen, der blind wird. Erst seine Blindheit der äußeren Welt gegenüber ist die Voraussetzung höhere Wahrheit zu schauen. Dieser Postulierung von Wahrheit als reiner Logos/Licht ohne allen Bezug zur äußeren Welt ist der Tod der Natur eingeschrieben.

Natur/Wasser entfällt also dem Denken und wird zum toten, hypostasierten Prinzip. Diese Bewegung der Verdrängung der Natur, die mit Platon beginnt, ist die Sollbruchstelle an der sich das abendländische Denken einerseits konstituiert (das von dem französischen Philosophen der Aufklärung, Descartes, auf die reine Formel gebracht wird: „Ich denke, also bin ich“); andererseits wird damit eine Naturfeindlichkeit geschaffen hinter die wir in unserem Denken nicht mehr zurückkommen können. Denken ist von da ab ent-





naturalisiert oder anders gesagt: entwirklicht. Der Wiederbedarf an Naturphilosophien, so könnte man sagen, entspringt heute dem sogenannten Umweltproblem. Obwohl die Naturphilosophien keine vor-schnellen Lösungsmodelle bereithalten, können sie dennoch zu einer Lösung dieses sehr ernstes und konkreten Problems beitragen. Wenn sich heute, so der zeitgenössische Kulturkritiker Gernot Böhme, das Naturverhältnis des Menschen in der Praxis als verhängnisvoll erwiesen hat, so ist es angebracht, die Geschichte dieses Naturverhältnisses auch theoretisch einer Kritik zu unterziehen und damit revidierbar zu machen. Alternativen zu unserem heutigen Naturverhältnis sind nicht ohne kritischen Rekurs auf die Vergangenheit und Geschichte des Abendlandes und seiner Geistesgeschichte möglich. Hier ist auch die Wieder- oder Rückanbindung der Naturphilosophie an die Naturwissenschaft, die unser herrschendes Verständnis zur Natur heute ausmacht, ein mögliches Ziel. Der Mensch kann aus der Naturphilosophie lernen, sich wieder als Ganzer: als Körper, Seele und Geist (Ratio) auf die Natur zu beziehen und so die Trennung von Seele und Körper (res extensa und res cogitans) aufzuheben.

#### Resümee

Obwohl man es in den vorsokratischen Schriften mit einer Vorstufe des abendländischen Denkens zu tun hat, ist es notwendig diese an die Elemente gebunde-

ne Welttheorie als Philosophie anzuerkennen. Thales (dessen Schriften selber nicht erhalten, sondern durch Aristoteles überliefert sind) wie Platon überlieferten zwei verschiedene Theorien der Welterklärung und beide haben es mit der Frage nach dem einen Prinzip des Lebens zu tun. Aus diesem Grund spricht man auch von Naturphilosophien. Hinsichtlich der Bewertung der Natur und damit des Wassers aber unterscheiden sich diese Philosophien im Grundsatz. Ist in der vorsokratischen Tradition Natur ein denkendes, intelligentes Prinzip und keinesfalls ein Primitivum, hat Platon dagegen diese positiven Implikationen von Natur im Denken restlos eliminiert, indem er den einen monotheistischen Grundgedanken (Gott) an ein abstraktes Prinzip band. Damit verlor die Wasser-Elemente-Theorie an Konjunktur. Quintessenz: Mit der Begründung des abendländischen Denkens beginnt parallel der Abwertungsprozess und die Abspaltung des Materiellen und also der Welt.

## II. Wasser als Heilsprinzip in der christlich-mittelalterlichen Vorstellung

Eine von den Griechen abweichende Vorstellung ist der geistig-spirituelle Sinn des Wassers im christlichen Mittelalter: „Im christlichen Mittelalter“, so schreibt der Meadiavist Heimo Reinitzer, „galten Luft und Feuer, Erde und Wasser, [...] nicht nur als natürliche

Dinge und Wesen, sondern viel mehr [...] als Geschöpfe Gottes, denen ein verborgener, geheimer, rätselhafter und nur schwer aufzuschließender geistiger Sinn innewohnte, durch den die Schöpfung auf ihren Schöpfer verwies, ihm zu Lobpreis und von ihm zu Lehre und Mahnung, Trost und zur Warnung des Menschen als der »obersten handgetät«, des Ebenbildes Gottes, erschaffen. Dinge und Wesen der Natur hatten ihren sinnverfügbaren Ort im Schöpfungsplan der Welt, der sich dem Naturgelehrten nicht, wohl aber dem Weisen, dem Priester kundtat und der alles umfaßte, das Große und Kleine, das Schöne und Häßliche, das Sichtbare wie Übersehbare.“ (Heimo Reinitzer, Wasser des Todes und Wasser des Lebens. Über den geistigen Sinn des Wassers im Mittelalter, in: Hartmut Böhme (Hg.), Kulturgeschichte des Wasser, Frankfurt am Main 1988, 99)

Die Realität des Wassers, seine Wirklichkeit, ist aus diesem christlichen Weltbild völlig verbannt. – Wasser ist hier gänzlich göttliches, überirdisches, heiliges Prinzip: der Ausguss oder der Ausfluss Gottes, der sich in uns ergießt und dort Göttliches bewirkt. Ambrosius von Mailand, der erste der vier großen abendländischen Kirchenlehrer (um 333/340-397) geht sogar soweit, das Evangelium als ganzes mit dem Meer zu vergleichen. Gott selbst wird mit dem Meer in eins gesetzt und seine guten und positiven Eigenschaften beschrieben. Ambrosius schreibt: „Du darfst dich nicht daran stoßen, daß ich für >Meer< Evangelium setze.

Das Evangelium ist es, worauf Christus wandelte. Das Evangelium ist es, worin Petrus, ob er auch bei der Verleugnung schwankte, durch Christi Rechte die Stärkung im Glauben und die Gnade der Standhaftigkeit fand. [...] Das Evangelium ist das Meer, worin die Apostel fischen, wo das Netz ausgeworfen wird, das dem Himmelreiche gleicht. Das Evangelium ist das Meer, worin der Hebräer Rettung, der Ägypter Untergang fand.“, „Herrn Jesu (ist der) [...] Steuermann, der für uns wacht, mit seinen Worten gebeut (gebietet, die Autorin), den Sturm stillt, die Ruhe des Meeres wiederherstellt.“ (Heimo Reinitzer, 103)

Das erste Mal, dass Gott in Zusammenhang mit dem Wasser gebracht wird, geschieht in der Genesis, dem biblischen Schöpfungsbericht der Welt. Dort heißt es: „Am Anfang schuf Gott Himmel und Erden. Und die Erde war wüst und leer / und es war finster auf der Tiefe / Und der Geist Gottes schwebte auf dem Wasser [...]“ Der Geist Gottes liegt hier wie eine Dunsthaube über dem Wasser. Er scheint selber verdunstetes Wasser oder Nebel zu sein, der spiritus sanctus wird zum spiritus mineralis oder: zum spiritus aqua/mineralis. Diese Identität von Wasser und göttlichem Geist wird in der Bibel durchgehalten. Es sind die Fischer, die Jesus als erste erkennen, Jesus geht auf dem Wasser wie auf der Handscheibe Gottes, er sättigt sein hungriges Volk, indem er unzählige Fische aus dem Meer heraufbringt. Das Wasser ist aber auch Salbung, Beruhi-

gung, Stärkung, Reinigung, Sättigung und Erlösung. Es bringt in Gestalt des Taufwassers den heiligen Geist Gottes über den Menschen und dringt durch seine Hautporen in die Seele. Durch die Beschaffenheit des Wassers, in unzählige Tropfen zu zerstäuben, die wieder in ein Meer zusammenfließen, lässt sich ein Bild gewinnen, das dem göttlich-geistigen Sinn der spirituellen Vereinigung am nächsten kommt. Wasser wird daher im Christentum per se als gut gedacht. Wo Quellen in der Stadt oder Natur auftauchen, werden sie heilig gehalten, Brunnen werden bebaut, deren Architektur die Nähe zu Gott und der Kirche assoziieren lassen. Diese Vorstellung von heiligen, reinigenden Bädern (Urbild ist hier der heilige Fluss Jordan, in dem Johannes der Täufer Jesus u. a. Christen taufte) findet sich auch in anderen Religionen wie dem Islam und dem Hinduismus (Indien/Ganges) wieder. (Beatrix Pfeleiderer, Vom guten Wasser. Eine kulturvergleichende Betrachtung, in: Kulturgeschichte des Wasser, 263-278) Daher finden sich heute noch in der an sich wasserarmen Stadt Istanbul wunderschöne, zum Teil noch erhaltene Badehausarchitekturen wieder, in denen die Menschen Schutz, Geborgenheit und Meditationen in Gott vor dem Alltag suchten. Wie stark diese Vorstellung von dem guten, heiligen Sinn des Wassers ist, zeigt noch der heutige Umgang mit dem Jordan oder dem indischen Fluss Ganges. Selbst real stark verschmutztes Wasser wird zu Reinigungszwecken und als Trinkwasser verwendet. Das Bewusstsein, ein nach



Titelblatt zu Leonhard Reymann, Practica für 1524, Stuttgart, L.B.



Fontaine d'Eau Chaude,  
Cours Mirabeau,  
Aix-en-Provence,  
Frankreich, 1667  
Postkarte frühes 20. Jahrhundert



unserer Vorstellung verschmutztes Abwasser vor sich zu haben, dringt gar nicht vor und kann dieses Ehrfurchtsgefühl von Heiligkeit und Sakralität des Flusses in keiner Weise schmälern! Das birgt viele Gefahren für die Menschen. Ebenso fällt es aus diesem Grund schwer, den Jordan-Fluss in Israel an die arabische Welt abzugeben. Diese Hemmung besteht nicht nur aus strategischen-territorialen Gründen, sondern durch die Tatsache, dass dort ein Teil unserer christlichen Identität liegt. Quellen, Brunnen, Flüsse (und Meere) spielen also in dem Bewusstsein des mittelalterlichen Menschen eine immense Rolle. Wo ein Brunnen in einer Stadt versiegte, herrschte der Zorn Gottes und wo eine Quelle sprudelte oder ein vertrockneter Baum wieder ausschlug war göttliches Wirken im Spiel und wurde dieses als Wunder und Zeichen Gottes interpretiert. So dürfen daher diese Brunnen- und Wasser-Architekturen, die sich zum Beispiel in Italien um das Wasser

herum entwickelten, durchaus auch – neben ihrer Funktionalität – als sakrale Räume erlebt werden, die die Ehrfurcht vor dem Prinzip des Wassers als spiritus sanctus lehren. Und so kann die verkürzende Behauptung des Kunsthistorikers Derek Clifford, dass im Mittelalter „das Wasser [...], abgesehen von seiner Verwendung, den wichtigsten schmückenden Teil eines Gartens (bildete).“ (Derek Clifford, Geschichte der Gartenkunst, München 1966, 57) erweitert werden: Wasser ist nicht nur Schmuck oder Ornament, sondern bildet – neben seiner nährenden Funktion – auch das geistig-soziale Zentrum einer Stadt: Am Brunnen trifft sich tagsüber die ganze Stadt!

### III. Die Inszenierung der Natur

#### Wasserschere und Wasserspiele im Renaissancegarten des italienischen Cinquecento

War das Wasser im christlichen Mittelalter gänzlich seiner sinnlichen Funktion beraubt, so kehrt diese sinnlich-konkrete Seite des Wassers mit dem Einzug der heidnischen Antike unter die Menschen der Renaissance zurück (Renaissance heißt wörtlich: „Wiedergeburt“). In den italienischen Gärten des 15. Jahrhunderts wird Wasser zunehmend zum konkreten Erlebnis- und bildsamen Werkstoff, aus dem sich die Kunstanlagen der berühmten Gärten (zum Beispiel der Garten

von Belvedere, Bormarzo oder Tivoli) formen lassen. Technisches Know-how, Ingenieurkunst und Ingenieurwissen bestimmen nun den Umgang mit dem Wasser, das über große Viaduktanlagen über hunderte von Kilometern hinweg in die wasserarmen Gebiete der Gärten transportiert wird. D. Clifford schreibt dazu: „Die Rolle des Wassers im Garten wandelte sich und erhielt eine neue Bedeutung. Im Mittelalter war das Wasser fast immer als Quelle oder als Brunnen vorhanden und bildete, abgesehen von seiner Verwendung, den wichtigsten, schmückenden Teil eines Gartens. Im alten Ägypten, in dem die Menschen gezwungen waren, die Kunst der Bewässerung zu beherrschen, um zu überleben, waren die Gärten gewöhnlich um rechteckige Teiche oder Zisternen angelegt; aber weder im europäischen Mittelalter noch zur Zeit der Dynastien in Ägypten hatte das Wasser die gleiche Bedeutung wie in den Gärten des Islam. Es war der Islam, von dem die Italiener mittelbar die Wasserspiele kennenlernten.“ (Derek Clifford, 57) (Dazu: Marilyn Symmes, Brunnen in der Renaissance bis zur Gegenwart, Stuttgart 1999, 9-30)

#### Wasser im Islam

„Das hervorstechende Charakteristikum der arabischen Gärten war die besondere Verwendung des Wassers. Der arabische Garten verlangte – wie der ägyptische – Wasser, jedoch auf ganz andere Weise. Der ägyptische Teich war nicht viel mehr als eine

Zisterne, in die der Gärtner seinen Eimer tauchte; er war eine Notwendigkeit. Für den Normaden aber war Wasser der größte Luxus seines Daseins: es war Kühle, in die er seine Hand tauchte, er spielte damit, bewunderte die Spiegelung des Himmels auf seiner Oberfläche und lauschte der Musik seiner Brunnen. Wasser als Stoff der Poesie war der größte Beitrag der Wüstenbewohner zur Kultur der Gartenkunst. [...] Die Wasserknappheit in Spanien und die Notwendigkeit es bestmöglich zu verwenden, zwang die Araber zur vollendeten Meisterung des Wasserstrahls – eine Technik, die sie dem christlichen Spanien und so auch mittelbar Italien und ganz Europa lehrten.“ (Derek Clifford, 103-104)

Es soll an dieser Stelle ein kleiner Einschub erfolgen, der die technischen Errungenschaften der osmanisch-arabischen Welt im europäischen Mittelalter und darüber hinaus vor Augen führt. Tatsache ist, dass aus den islamisch geprägten Ländern die Mathematik und die daran geknüpften Wissenschaften wie die Sternenkunde (Astronomie), die Geometrie, die Zeichenkunst u. a. hervorgegangen sind. Mathematische Berechnungen lagen auch der Umgangsweise mit dem kostbaren da seltenen Gut Wasser zugrunde. Die türkischen Osmanen waren die ersten, die Talsperren, Brunnenanlagen, Rohrleitungen, Kanäle, Stollen und Äquadukte errichteten, um das Wasser zu fördern, zu stauen, zu transportieren und für hygienische, landwirtschaftliche u. a. Zwecke einzusetzen (Kanalisation, Bewässerung,

gezielte Überflutung). Wer sich einmal mit der Geschichte der islamischen Welt beschäftigt hat, wird daher dem heute herrschenden Vorurteil, Menschen des nahöstlichen Raums seien technisch unterlegen und von der Moderne abgeschnitten, ablehnend gegenüber treten. Es verhält sich gerade umgekehrt: Es liegt dort die Wiege unseres abendländischen Denkens und Fortschritts begründet und die Osmanen spielen eine maßgebliche Rolle in der Entwicklung und Förderung von technischen Fertigkeiten. An dem von Clifford genannten Beispiel: dem islamischen Einfluss auf die Wasserhaltung und -nutzung in der italienischen Renaissance, lässt sich dieser Transfer von Wissen nach Mitteleuropa nachvollziehen und ist solch eine Verlinkung der europäischen mit der islamischen Welt gegeben. (Dazu: Noyan Dinckal, Geschichte der Wasserversorgung in Istanbul. Prächtige Äquadukte, mächtige Rohrleitungen, in: Forschung Aktuell Wasser, Nr. 48/Jahrgang 17, Oktober 2000, TU Berlin, 83-84)

In der Renaissance steht das freudige Erleben von Wasser im Vordergrund. Das Wasser wird zum sinnlichen Erlebnis, zum wohl einkalkulierten Überraschungseffekt. Was im Mittelalter völlig vergessen zu sein schien, dass Wasser nass ist, dass es rauscht, spritzt, schäumt, tröpfelt, fließt wird wieder greifbar und das Element in seiner realen Beschaffenheit wiederentdeckt. In dem es spielerisch-künstlerisch in den Gartenanlagen eingesetzt wird, ist seine bedrohli-

che Dimension, Tod und Verderben in Form von Sintflut, Überschwemmung, Verunreinigung über die Menschen zu bringen wie auch seine spirituelle Qualität, überwunden. Das wiederentdeckte spaßhafte und ästhetisch-akustische Wassererleben zeugt von einer neuen Souveränität des Menschen über dieses vielfältige und unberechenbare Element.

In einem Bericht des Königs Karl III im Jahre 1495 heißt es: „(W)enn es am wenigsten erwartet wurde, daß die Wasserhähne aufgedreht (wurden) [...], worauf zur größten Freude derer, die darum wußten, der ganz Hof mit Wasser überschwemmt(e).“ (Derek Clifford, 58-59) Schon die Wörter „Wasserschertz“, „Wasserspiel“ und „Wasserwunder“ legen diesen freudigen, auf das spontane, sinnliche Erleben von Wasser hin ausgerichteten Effekt nahe. Wie der gegen den Rhythmus komponierte falsche Paukenschlag in einer Mozartsonate, so wird das Wasser zum akustischen oder handgreiflichen Mittel, um gegen die sich ausbreitende Leere und Langeweile am Hof vorzugehen. Gleichzeitig dient es der Vorführung der Kenntnis der Wassertechnik und damit der technischen also königlichen Überlegenheit über dieses gefährliche und so schwierig handzuhabende Fluidum. Technisches Wissen und künstlerisches Können verschmelzen zu ein und derselben Sache. In dem Wort „Wasserwunder“ wird die Hochachtung, den diese überlegende, technische Wassertechnik bei den verblüfften Zuschauern auslöste, ausgesprochen.



Über die Wasserfreude des 15. Jahrhunderts im Zusammenhang mit technischem Support schreibt der Berliner Kunsthistoriker Horst Bredekamp: „Der erste, ab ca. 1550 errichtete Großgarten dieses Jahrhunderts wurde in Bormarzo, 60 km nördlich von Rom, begonnen. Seine Wasserführung speist vom höchsten Punkt des Geländes mehrere Brunnen auf verschiedenen Niveaus. Der wasserführende Bach war ursprünglich durch ein Wehr zu einem See von beträchtlichem Ausmaß aufzustauen. Bei besonderen Gelegenheiten, bei Festen oder Theaterspielen, konnte dieser See geöffnet und als überschäumende Flut – besonders im Hochsommer ein dramatischer Effekt – abgelassen werden. Hinter dem Stauwehr kreuzen sich die Wege zweier Wassertiere, einer Riesenschildkröte und einer Orke. Die schreckliche Orke taucht aus den Bodenwellen wie aus dem Ozean auf: mit diesem Meerungeheuer war das Bestreben markiert, die Trennung zwischen den Wassern der Gartenbäche (das Süßwasser, die Autorin) und den gewaltigen Wogen der Meere (das Salzwasser, die Autorin) auf irritierende Weise aufzuheben.“ „In Bormarzo“, so schlussfolgert Bredekamp, „ist das bedrohliche Meer auf diese Weise in den Garten integriert; locus amoenus und locus terribilis stützen sich wechselseitig in immer neuen Varianten der Überraschung, wobei die Zitate des offenen Meeres dem gesamten Areal eine vor Vitalität strotzende Aura vermitteln.“ (Horst Bredekamp, Wasserangst und Wasserfreude in Renaissance und Manierismus, in: Kulturge-

schichte des Wasser, 159 f.) Eine andere Variante der Wasserfreude findet Bredekamp in dem berühmten Garten in Tivoli, im Osten Roms. „Tivoli“, so Bredekamp, „hatte und hat Wasserkünste aufzuweisen, die das Meer vergessen lassen. Der von Kardinal Ippolito d’ Este in den sechziger und siebziger Jahren errichtete Komplex besaß den Vorteil, an einem steilen Abhang zu liegen, wo das Gefälle dem Wasser einen außerordentlichen Druck zu geben vermochte. Die nötige Wassermenge ließ der Kardinal über ein Äquadukt aus dem Trinkwasserpotential heranzuführen und unter dem Palast in einem Becken sammeln, von wo es die oberen Brunnen versorgte. Der Hauptstrom aber kam durch einen Tunnel, mit dem er den vorbeifließenden Fluß, den Aniene, anzapfen und Wasser unter ungeheurem Druck bis zum Tivoli-Brunnen heranzuführen ließ.“ Bredekamp: „In diesem Wasserparadies wird mit allen Arten des Wasserflusses, der Wasserlenkung und der Erzeugung unterschiedlichster Aggregatzustände gespielt.“ (Horst Bredekamp, 160-161)

Diese Gartenbeschreibungen legen nahe, welchen Herausforderungen die Menschen bei der Leitung und Führung des räumlich weit entfernten Wassers begegneten und zu welchen komplexen technischen Lösungsmodellen sie manchmal kommen mussten. Aus diesem Grund wird der Beginn der Aufklärung und Moderne häufig auch in die Renaissance verlegt. Das Wasser wurde hier profanisiert, die Haltung dazu nüchtern,

analytisch, kalkulierend. Genau diese ernüchterte Umgangsweise aber spiegelt unseren zeitgemäßen Bezug zum Wasser wieder. Ebenso lässt sich der spielerische und spaßorientierte Umgang mit Wasser auf das Heute beziehen. Es handelt sich bereits um den Anfang einer Bade- und Freizeitkultur, Wasser erhält damit eine neue Bedeutungsebene: den des Vergnügungswerts. Diese Ebene bestimmt unser Verhältnis zum Wasser bis heute.



Die erste Grotte in den Boboli-Gärten mit den Gefangenen Michelangelos, nach 1585

## VI. Im Spiegel der Macht

### Wasser als Repräsentationsraum im Zeitalter des Absolutismus

„Wir beginnen in der Kunst des Barocks gewisse Elemente zu entdecken, die seit der gotischen Vergangenheit nicht mehr hervorgetreten waren. Werkstoffe fanden nun wieder eine ihrer Natur konträre Verwendung. Stein, der in den letzten flamboyanten Manifestationen der Gotik begonnen hatte, wie Wasser zu sprudeln, wird nun erneut vergewaltigt. Da aber jetzt der Widerspruch zum Material noch größer wird, wird es zu weit extravaganteren Krümmungen und Vergewaltigungen gezwungen. Fülle und Verschönerung nehmen einen immer größeren Raum ein. Die tragende Form ist unter dem Zauber ihrer Oberfläche verborgen.“ (Derek Clifford, 68/69)

Noch nie, so die Behauptung, hat sich der Mensch – gemeint ist das aufkommende Subjekt des 16. und 17. Jahrhunderts – so weit von der Natur entfernt wie im Zeitalter des Barocks oder des Absolutismus. Natur wird zur reinen Ausdrucksfläche, zum Ausdruckskörper, durch die der Herrscher seine Macht repräsentiert. Natur/Wasser werden zu Medien, um die Souveränität des neuen Selbstbewusstseins über die Natur vorzuführen. Wasser wird dabei aus seinen ganzheitlichen Funktionen: der philosophische Urgrund aller Dinge oder spirituelles Medium Gottes ebenso wie notwendige Lebensgrundlage der Menschen zu sein, entlassen.

Übrig bleibt der gefügte, rein auf die Materialität beschränkte, leere Stoff „Wasser“, der Mittel zum Zweck der symbolischen Repräsentation geworden ist. Um diesen Prozess einer allgemeinen Profanisierung und Ernüchterung der Bezüge zum Wasser zu verstehen, soll kurz auf das Natur- und Menschenbild des absolutistischen Zeitalter, des sogenannten „ancien régime“, eingegangen werden.

In dem absolutistischen Weltbild ist der Garten Bestandteil des Hauses und damit Teil der repräsentativen Architektur. Eine Trennung von Natur- und Kulturraum, von natürlichem und künstlichem Raum wird nicht vorgenommen. Der in dem ancien régime im allgemeinen als „Hof“ bezeichnete Begriff meint zunächst einmal das außerordentlich erweiterte Haus, die riesige, überdimensionierte Haushaltung sowie der klar umrissene, festgefügte Garten, der sich wie ein Hof um das Haus herum legt und damit eine Einheit von Haus, Mensch und Natur (Leben und Kunst) beschreibt. Max Weber, einer der großen Sozialwissenschaftler des 20. Jahrhunderts, formuliert dies wie folgt: „Wo der Fürst, seine politische Macht [...] prinzipiell ebenso organisiert, wie die Ausübung seiner Hausgewalt, da sprechen wir von einem patrimonial-staatlichen Gebilde. Die Mehrzahl aller großen Kontinentalreiche haben bis an die Schwelle der Neuzeit [...] starken patrimonialen Charakter an sich getragen.“ (Max Weber, in: Norbert Elias, Die höfische Gesellschaft, Frankfurt am Main 1983, 68 f.) Damit werden nicht nur das Haus,

die Hofgemeinschaft und der Garten als Teile des höfischen Systems angesehen, sondern der Herrschaftsanspruch erstreckt sich – symbolisch, der zwanghaften Ordnung des Garten folgend – auf das gesamte Reich und die darin lebenden Menschen. Alles was in diesem Reich lebt und webt, kriecht und flücht, Mensch wie Natur, gehören demnach dem Hof an und haben als pars pro toto ihren Teil beizutragen. Mensch wie Natur werden in den Dienst dieses absolutistischen Herrschaftsanspruchs genommen und können sich dieser monarchisch gegliederter Macht nicht entziehen.

Dieses neue Überlegenheitsgefühl kehrt in der typisierten Anlage des Barockgartens wieder: So ist zum Beispiel der streng rational gegliederte Garten von jedem Punkt aus weithin zu überblicken, es gibt keinen Winkel und keine Ecke, die sich diesem überlegenden Blick entziehen und nicht „von oben“ herab eingesehen werden können. Selbst ursprüngliche „Wildnis“, das ist zum Beispiel ein Stück naturbelassener Wald oder die beliebten Wassergrotten (Nymphäum: ein kühler, tropfender, schattiger Raum), scheinen an dieser Stelle eine wohlkalkulierte Simulation von „schauderhafter“ Natur und damit ein systematischer Programmpunkt dieser Ordnung. Diese Vogelperspektive, die der Betrachter in der Beschauung der Gartenanlage einnimmt, ist damit immer eine herrschaftliche, überlegene, kontrollierende Perspektive, der nichts entgeht. Aus diesem Grund sind auch die Darstellungen von

Sanssouci oder Versailles (Beispiele) immer Draufsichten auf die bestehende, lineare Landschaftsarchitektur und gleichen mehr abstrakten Rissen als natürlichen Panorama- oder Landschaftsbildern.

Doch zurück zum konkreten Thema „Wasser“. In welcher Weise findet nun das Wasser in dem französischen Barockgarten des 16. Jahrhunderts Verwendung? Am Hofe des „göttergleichen“ Königs Ludwig des XIV. kommt das Wasser in seiner spiegelnden, raumerweiternden Eigenschaft dem Begehren des absolutistischen Königs nach Glanz, Pracht und Prunk entgegen. Die Wasserspiele, Wasserorgeln, Wassertheater und spiegelglatten Wasserflächen in den riesigen Gartenanlagen zeugen dabei nicht nur von unermesslichem Reichtum und dominantem Geschmack; Wasser wird zusätzlich zum Ornament und zum architektonischen Verschönerungselement des Hofes und damit instrumentalisiert. Das göttliche oder spirituelle Moment des Wassers im Mittelalter beziehungsweise das sinnliche Prinzip des Wassers in der Renaissance entfällt ganz. Auch das philosophische Moment des Wassers in der vorsokratischen Vorstellung als *agens* entfällt. Übrig bleibt allein ein gefügiger, seinen vielfältigen Bedeutungen entkleideter Stoff, der die Macht des Herrschers widerspiegelt und verdoppelt, in dem es sozusagen durch große Wasserflächen und Teiche den Himmel auf die Erde holt.

Es soll aber noch einem anderen Aspekt des Wassergartens gefolgt werden. Die beständig gleichgehal-

tene Gartenanlage suggeriert dem Betrachter einen Stillstand der Zeit und damit die sorgenfreie, goldene Zeit: das Paradies. Ähnlich wie in der Renaissance, stellt das Wasser damit kein bedrohliches Element mehr dar, das den Tod bringen könnte. Es ist sozusagen vollständig entmachtet und neutrals, dem Menschen dienender Stoff geworden. Was aber bedeutet diese Ohnmacht für die Natur? „Both the modes and forms of garden art and their perspectives upon the other two natures are all culturally determined; that is to say, they change according to local conditions of topography, geography, climate, society, and mentality. It is these rather than abstract battle between art and nature, between formal and informal styles, [...]“ (John Dixon Hunt, *Why Garden History*, in: *Garten. Kunst. Geschichte. Festschrift für Dieter Hennebo zum 70. Geburtstag*, Worms am Rhein 1994, 11). Was J. D. Hunt hier anspricht ist die beständige Zähmung der Natur des Wassers, die als Kraftakt aber dem Betrachter der statischen Welt des Gartens vorenthalten wird. Wasser wird nicht mehr erfahren und stellt kein Erlebnisraum mehr da. Es ist architektonisch in den Bann geschlagen, indem es in den flachen Wasserbecken zur ruhigen, spiegelnden Oberfläche geworden ist.

Diese Paralisierung des in der Renaissance noch so lebendigen, spritzigen und spritzenden Wassers widerfährt auch dem Menschen des Barocks: „Die Gesellschaft im Italien des 16. Jahrhundert erlebte eine tiefgehende Veränderung, die gegen Ende des Jahrhun-

derts einen neuen Stil in der Kunst hervorbrachte, das Barock, eine Schöpfung der Gegenreformation. [...] dem Geist wurde nicht länger gestattet, ungestraft neue Wege zu gehen. Man hat die Menschen vom Rande des Rationalismus in die größere Sicherheit des Glaubens zurückgeführt. Licht wurde durch Geheimnis, das Forschen und Feststellen durch Schweigen und Andeutung ersetzt.“, so schreibt Derek Clifford in seiner „Geschichte der Gartenkunst“ (68). Was hier abgeleitet werden kann, ist der paradoxe oder auch dialektische Umschlag von Rationalität – die Gartenanlagen des Barocks waren hochkomplexe, ganz und gar durchkalkulierte Anlagen – in Mythos. Obwohl es keinen rationaleren und ernüchterten Begriff von Wasser als im Zeitalter des Absolutismus gab, dient diese Ernüchterung nicht der Aufklärung und weiteren geistigen Durchdringung der Welt, sondern der Stillstellung, Entmachtung und Mystifizierung von Mensch und Natur. Ziel ist es dabei, Mensch wie Natur für eigene Interessen und Zwecke zu instrumentalisieren und sich dadurch Untertan zu machen. Aufklärung, so wie sie gegen Ende des 17. Jahrhundert mit der Französischen Revolution definiert wurde, folgt demnach einem anderen Verständnis von Rationalität und Vernunft. Dieses im gleichnamigen Zeitalter der *Lumière* gesetzte Verständnis von Aufklärung basiert auf einer neuen Souveränität und geistigen Freiheit des Subjekts. Dem um die Freiheit erweiterten Verständnis des Menschen sind keine Grenzen mehr gesetzt. Dieser



Entgrenzung des Subjekts folgt die Abschaffung jeder geistig oder sozial höher gestellten Autorität (Gott/Monarch) und bildet den Grundsatz unseres Denkens und Handelns bis heute.

## V. Imitation der Natur

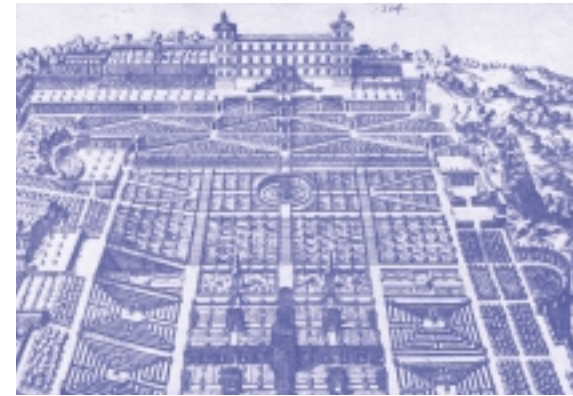
### Wasser in England im 18. Jahrhundert

„In England,“ so schreibt Clifford, „war im 18. Jahrhundert nur eines klar, nämlich daß die Natur die Geraden verabscheute [...] Die unmittelbare Folge dieser großen Entdeckung aber waren die gewundenen und gekrümmten Wege und Wasserläufe, die die >Natur< bestimmt noch mehr verabscheut haben würde.“ (Derek Clifford, 293-294) Der berühmte englische Poet Alexander Pope schreibt:

*Halte dort an, wo in dunkler Höhlennacht  
Der Themse Flut spiegelt die volle Pracht.  
Wo Tropfen von steiniger Decke träge fallen,  
Der Bach funkelt, zerteilt von spitzen Kristallen  
Ungeschliffene Steine keinen Glanz versprühn  
Und verborgene Metalle in Unschuld glühn.  
Komm herbei und betrachte die große Natur!  
(Alexander Pope, 1745 in England)*

Der Lauf der Geschichte, so zeigt es die Erfahrung, beruht auf dem Gegensatz, der immer für geschichtliche Abläufe konstitutiv ist. War es die Gerade, die im französischen Barock des 17. Jahrhunderts den Ton in der Naturgestaltung angab, so kam nun eben diese Gerade ins Wanken. Das Bestreben, diese starre Form aufzulösen, besagt nun aber nicht, dass der neue Gestaltungswille ein sogenannter „natürlicher“ war und die Natur sich selbst überlassen wurde. Im Gegenteil, herrscht auch in der natürlichen Gestaltung von Natur eine menschliche Absicht und vor allem ästhetische Maßregelung.

So birgt dieser neue Gestaltungswille im aufkommenden Jahrhundert des Bürgertums dieses Geheimnis: Es war die Bildende Kunst, die die Impulse zur neuen Landschaftsgestaltung in England gab; gemeint sind die Landschaftsbilder von Claude Lorrain, den Brüdern Poussin und anderen wie Salvator Rosa. Erhabenheit und Feierlichkeit der Natur wurde nun in der Verwilderung der strengen Barockgärten gesucht. Dieses „ins Kraut geschossene“ Ambiente des barocken Gartens brachte Geradliniges, Beschnittenes, Gemaßregelt zum Verschwinden und ward nun im Laufe der Zeit krumm, bewachsen, bemoost, aufgeschossen. Diese Dekadenz war es, die die Menschen rührte und ihnen Gefallen abrang. Das Gefallene – das meint die sich wandelnde Zeit und also den Tod – wurde damit wieder entdeckt und zur neuen ästhetischen Norm erhoben.



Etienne Dupérac,  
Villa d'Este, Stich, 1573

## VI. Ohne Grenzen

### Wasser in Aufklärung und Gegenwart

Mit der Industrialisierung, die in England um die Mitte des 19. Jahrhunderts beginnt, wird der Weg der Säkularisierung des Wassers fortgeschritten. Das Wasser wird immer mehr auf seine reine Materialität reduziert und festgelegt. Der geistige Überbau, in den das Wasser seit der Antike eingebunden war, verschwindet gänzlich. (Dazu: Die Industriegeschichte des Wassers. Transport. Energie. Versorgung, hg. von Axel Föhl und Manfred Hamm, Düsseldorf 1985)

Retrospektive: Das abendländische Denken – vor allem durch Platon vertreten – zog sich sukzessive von allem Materiellen zurück und unterschied sich davon: Physik und Metaphysik traten auseinander (siehe dazu



der erste Teil zur griechischen Philosophie). Der von den alten Griechen entwickelte Götterpark der griechischen Mythologie, der der Anbetung und Ehrung der Götter in Naturgestalt diente, hat seinen Zauber eingebüßt und weicht zunehmend dem ent-naturalisierten, metaphysischen Prinzip. So offenbart die von Platon vor mehr als 2000 Jahren gestiftete Theorie der Scheure vom ewigen Sein (Metaphysik) und endlicher Natur (Physik) ihr „wahres“ Gesicht: Der höhere Sinn des

Wassers als selbstschöpfendes, intelligibles Prinzip mit spirituellem Anteil ist gebrochen. Der Respekt und die Achtung, die dem Wasser als Ausguss Gottes oder als einer in ihr wirkenden, göttlichen Kraft entgegengebracht wurden, sind dem neuen Überlegenheitsgefühl des Menschen gewichen. Der Mensch betrachtet die entmachtete Natur als Souverän, der sie nach Bedarf nach seinem Bilde formen und gestalten kann. Die Natur wird dabei einem riesigen Umarbeitungsprozess

unterzogen. Natur ohne diese anthropologische Zurichtung ist deshalb heute kaum mehr zu finden und muss in Nationalparks oder Reservaten künstlich geschützt werden. Das in die Bedeutungsleere verbannte Wasser wurde – wie gezeigt – bereits in der Renaissance zunehmend „Material“ oder „Medium“, das dem Menschen für seine Zwecke diente. Der Mensch der Moderne, so kann man sagen, tritt in dieses Vakuum der entstandenen Bedeutungslosigkeit ein und erfüllt diese mit seinen Interessen.

Mit der technischen Eroberung der Welt und der steten Industrialisierung wird diese meist technische Nutzung des Wassers zur Ausnutzung und zum Missbrauch. Das Wasser spielt in diesem globalen Entmachtungsprozess der Natur aber eine besondere Rolle. Wie Hartmut Böhme in seiner Einleitung zur „Kulturgeschichte des Wasser“ warnt, lässt sich das Wasser als wichtigstes Element eben nicht so einfach vom Menschen trennen, denn, wie man weiß, besteht ja unsere eigene Physis selbst zu einem Hauptteil aus Wasser. Der Mensch braucht das Wasser um sein Überleben zu sichern, um sich fortzubewegen und um seinen Lebensstandard aufrecht zu erhalten. Damit ist die vom Menschen vorgenommene Distanzierung, Objektivierung und Verwissenschaftlichung des Wassers in letzter Konsequenz nicht nur falsch sondern unmöglich. (Hartmut Böhme, Umriß einer Kulturgeschichte des Wassers. Eine Einleitung, in: Kulturgeschichte des Wassers, 11 f.) Diesem Willen zum Wissen (Michel

Foucault) folgen in der Regel sämtliche Wissenschaften. Wasser wird zum wissenschaftlichen Stoff, den man empirisch erforscht, analysiert und in seine chemischen-naturwissenschaftlichen Bestandteile zerlegt.

Seit den 80. und 90. Jahren des 20. Jahrhunderts treten aber an die Seite dieser rein wissenschaftlichen Verwendung des Wassers neue Methoden, Anschauungen und Umgangsweisen des Wassers, die vorsichtig als subjektiv bezeichnet werden können. Das „Symbol“ Wasser wird für die Psyche und die therapeutische Praxis entdeckt. Wasser empfängt die Symbolwelt der Psyche und wird zum Anderen im Menschen, in dem sein „wahres“ Selbst fließt. (Dazu: Sybille Selbmann, *Mythos Wassers, Symbolik und Kulturgeschichte*, Karlsruhe 1995) Diese Bestrebung, das Wasser wieder mit dem Menschen direkt in geistige und emotionale Verbindung zu setzen, folgt einer zum Teil durch die Homöopathie und andere alternative Heilmethoden inspirierten umweltbewussten Bewegung, die insgesamt sehr wasserfreundlich eingestellt ist. In dieser häufig als spirituell oder unwissenschaftlich abgetanen Bewegung, die ich als die Neue Subjektivität bezeichnen möchte, liegt aber ein tieferer Sinn und eine Kritik an den auf reine Objektivität ausgerichteten Wissenschaften. Diese Neue Subjektivität rekurriert auf alte Bedürfnisse nach emotionaler Geborgenheit des Menschen in der Schöpfung und versucht an alte, überkommene Wissensbestände und mythische Erlebnis- und Erkenntnisformen des Wassers anzu-



schließen. So kann man sagen, dass sich besonders an dem Wasser seit dem Ausgang des letzten Jahrtausends die Geister scheiden: Die eine Seite, meist die der klassischen Bauingenieure und Naturwissenschaftler, vertritt dabei den harten, technischen Kurs der steten Verbesserung und Verdinglichung des Wassers. Diese konventionelle Linie wird aber zunehmend von einer neuen, vielfältigen und „weicheren“ Bewegung durchkreuzt und in Frage gestellt. Ist das Wasser dort vor-

rangig Wirtschaftsfaktor, schneller Transportweg und wertvolle Hafenanlage für den zunehmenden Weltverkehr, und wird es deshalb begradigt, kanalisiert, vertieft, eingedeicht, so stehen dem heute die naturnahen und ästhetischen Konzepte der Städteplaner, Landschaftsgestalter und Wasserbauer gegenüber, die das Wasser für sinnliche und sinngebende Zwecke gebrauchen.

Entwurf zu der Ausstellung  
"Kiel - Visionen rund um  
die Hörn" von Arendt Kölsch  
und Johannes Bouchain,  
4. Semester im Fach  
Städtebaulicher Entwurf,  
Professor Dott. Arch.  
Paolo Fusi

Als Beispiel für das wasserbezogene Denken gilt die inzwischen international geführte Diskussion um die „Urban Waterfront“ oder „Neue Wasserstadt“ (dazu gehört auch das von Hamburg vertretene Konzept der „Wachsenden Stadt“). Im Großen und Ganzen dominiert in diesen städtebaulichen Entwürfen zur lebendigen Wasserkante die Wasserfreundlichkeit und das bewusste Wassererleben. War die Stadtflucht eine Reaktion auf die Ausräumung der Stadt von Natur, so soll diese Dichotomie mit den neuen Wasseransichten in der Stadt wieder aufgehoben werden. Ist die Wasser-Natur wieder in die Stadt einbezogen, so schafft sie die Stadt zu einem sinnlich-erfahrbaren Lebensraum um. Zugeschüttete Kanäle werden wieder aufgemacht, kanalisierte Flüsse renaturiert und zu mäandernden Bachläufen mit dem Ziel, die Stadt zu öffnen und ihr einen mehr oder weniger „natürlichen“ Raum zur Verfügung zu stellen. Mit der Prämisse der Integration des Wassers in die Stadt soll Lebensqualität zurückgeholt werden: Orte der Erinnerung und der Geschichte werden durch die Restauration von brachliegenden Hafenanlagen geschaffen (wie zum Beispiel die Docklands in London/England oder der Chanel Harburg in Hamburg-Harburg). Künstlerisch gestaltete Uferpromenaden und verspielte Wasserarchitekturen in Fußgängerzonen, auf Spielplätzen oder moderne, an die Landschaft angepasste Hochwasserschutzanlagen (wie zum Beispiel in Lieser und Oberbillig an der Mosel) ermöglichen dem Betrachter einen direkten oder indirekten

Zugang zum Wasser und bauen ihm eine Brücke zum Wasser zurück. Die ursprüngliche Sehnsucht nach dem Leben am Wasser wird dabei aufgegriffen, wachgerufen und in die baulichen Planungen einbezogen. Dieses Denken, obwohl technisch-wissenschaftlich geprägt, hat die reine Funktionalität der Anschauung überwunden und lässt lebensnahe Konzepte wieder zu. Dabei kann es sich nicht um die Rekonstruktion eines ursprünglichen Zustands handeln, sondern um avancierte ingenieurwissenschaftlich-technische Lösungen durch die Synthese aus Kunst und Technik.

## Literatur

Böhme, Hartmut, Umriß einer Kulturgeschichte des Wassers. Eine Einleitung, in: Hartmut Böhme (Hg.), Kulturgeschichte des Wassers, Frankfurt am Main 1988, 7-42.

Bredenkamp, Horst, Wasserangst und Wasserfreude in Renaissance und Manierismus, in: Kulturgeschichte des Wasser, 145-188.

Clifford, Derek, Geschichte der Gartenkunst, München 1966.

Dinckal, Noyan, Prächtige Äquadukte, mächtige Rohrleitungen. Geschichte der Wasserversorgung in Istanbul, in: Forschung Aktuell Wasser, Nr. 48/Jahrgang 17, Okt. 2000, TU Berlin, 83-84.

Hellweg, Uli, Wasser – Stadt – Planung. Wasserzeichen der Berliner Baugeschichte, in: Wasser in der Stadt. Perspektiven einer neuen Urbanität, hg. von U. Hellweg/Jörn Oltmanns, Berlin 2000, 65-94.

Reinitzer, Heimo, Wasser des Todes und Wasser des Lebens. Über den geistigen Sinn des Wassers im Mittelalter, in: Kulturgeschichte des Wasser, 99-144.

Poser, Hans, Der Urgrund aller Dinge ist das Wasser. Mit Thales und Milet beginnt das moderne Denken, in: Forschung Aktuell Wasser, 81.

Selbmann, Sybille, Mythos Wasser. Symbolik und Kulturgeschichte, Karlsruhe 1995.

Symmes, Marilyn, Brunnen in der Renaissance bis zur Gegenwart, Stuttgart 1999, 9-30.

Weber, Max, in: Norbert Elias, Die höfische Gesellschaft, Frankfurt am Main 1983, 68 f.





# *forschung*

- I. Natürliche Strömungen in Fließ- und Küstengewässern
- II. Technische Strömungen
- III. Hochwassermanagement
- IV. Konstruktiver Wasserbau
- V. IT im Wasserbau



## Regeneration der Stör durch integrierten Hochwasserschutz

**M**it einem Einzugsgebiet von ca. 1.800 km<sup>2</sup> und einer Gesamtlängelänge von ca. 84 km gehört die Stör zu einem der größten Flachlandgewässer im norddeutschen Landschaftsraum.

Auf einer Länge von ca. 50 km ist die Wasserführung der Stör tidebeeinflusst. Erst ab dem Pegel Rensing (ca. 1000 m flussaufwärts von Kellinghusen) unterliegt der Abfluss nicht mehr dem Rückstau aus der Elbe. Zum Schutz vor extremen Sturmfluten der Elbe kann die Stör durch ein Sperrwerk vom Tideeinfluss der Elbe entkoppelt werden.

Flussaufwärts von Itzehoe besteht seit einigen Jahren kein Bedarf für kommerziellen Schiffverkehr mehr, so dass die Gewässerunterhaltung in diesem Abschnitt reduziert wurde. Hierdurch stellten sich teilweise erhebliche Sohlaufhöhungen ein. Die Stadt Kellinghusen liegt am Übergang von der hügeligen Geest zur

flachen Marsch. Schon immer waren einige Stadtteile von Hochwassern aus der Stör betroffen, jedoch zeigte sich in den letzten Jahren eine deutliche Häufung und auch Verschärfung der Ereignisse. Statistische Untersuchungen belegen diese Entwicklung der Zunahme der Hochwasserstände um ca. 20 cm seit 1950. Zuletzt wurden in den Jahren 1995, 1998 und 2002 innerstädtische Flächen in erheblichem Maße überflutet. Bei einem Wasserstand von NN + 3,66 m am Pegel Rensing im Februar 2002 wurden sechzehn Straßenzüge überflutet und es traten an ca. 100 Objekten Sachschäden auf. Im Rahmen des derzeit gültigen Länderprogrammes zur Regeneration von Fließgewässern und Wiedervernässung von Niedermooren wurde eine wissenschaftliche Studie durchgeführt, deren Ziel die Aufstellung eines ganzheitlichen Konzeptes für ein nachhaltiges Hochwassermanagement war.

Um dieses Ziel zu erreichen, wurde zunächst eine umfangreiche Systemanalyse durchgeführt, um die verschiedenen Einflüsse auf das Abflussgeschehen im Einzugsgebiet der Stör in ihrer Wirkung zu verstehen. Für das gesamte Einzugsgebiet wurde ein sehr detailliertes deterministisches Niederschlags-Abfluss-(NA)-Modell aufgestellt. Auch der eigentliche Abfluss in der Stör unterliegt einem komplexen Zusammenspiel von verschiedenen Faktoren. Das zeitliche Aufeinandertreffen der Tideschwankungen mit den Hochwasserabflüssen und teilweise sogar mit einem Schließen des Sperrwerks an der Mündung in die Elbe ermöglicht eine Vielzahl interessanter Kombinationen von Strömungssituationen. Auch hier ist für ein generelles Verständnis der Strömungssituation und verschiedener Einflussfaktoren eine mathematische Modellierung unbedingt erforderlich. Zur Anwendung kam ein instationäres zweidimensionales Strömungsmodell.

Landschaft unterhalb  
Kellinghusen



### Niederschlags-Abfluss-Modell

Das NA-Modell KALYPSO ist ein deterministisches, detailliertes, nichtlineares, hydrologisches Modell. Es erlaubt die vollständige Simulation des landgebundenen Teils der globalen Wasserbilanz. Ausgehend von vorzugebenden Ausgangsniederschlägen werden innerhalb des Modells die wesentlichen Teilprozesse der Wasserbilanz unter Zugrundelegung der physikali-

schen Prozesse simuliert. Durch Zusammenfassung der Teilmodelle zu einem Gesamtmodell kann eine vollständige Simulation des landgebundenen Wasserkreislaufes erfolgen. Neben internen Prozessgrößen (z.B. dem Abflussanteil einzelner Abflusskomponenten, Grundwasserneubildung u.a.) und räumlichen Zwischengrößen (z.B. Abfluss aus einem Teilgebiet) werden vom Modell Gesamtabfluss, Evapotranspiration und Verluste im Tiefengrundwassersystem simuliert. Das Einzugsgebiet der Stör wurde in 16 voneinander unabhängige NA-Modelle unterteilt, wobei die Modellgrenzen in der Regel durch die Wasserscheiden der Nebenflüsse definiert werden.

### Zweidimensionales Strömungsmodell

Im Gegensatz zur eindimensionalen Wasserspiegellagenberechnung müssen bei der zweidimensionalen Strömungsberechnung wesentlich weniger vereinfachende Annahmen getroffen werden. So können Veränderungen der Wasserspiegelhöhe auch quer zur Fließrichtung simuliert werden. Retentions- und Rückströmbereiche werden berücksichtigt. Insbesondere die Topographie des Modellgebietes kann durch ein detailliertes Finite-Elemente Netz präzise nachgebildet werden. Es entsteht ein dreidimensionales Abbild der Wirklichkeit. Die Rauigkeiten im Flussschlauch und auf den Vorländern können in ihrer Lage exakt eingegeben

werden. Das komplette Strömungsfeld wird in seiner flächigen Ausdehnung berechnet und kann gut visualisiert werden.

### Wirksamkeitsanalyse verschiedener Maßnahmen

Auf Grundlage der Erkenntnisse, die durch die mathematischen Modelle gewonnen werden konnten, wurden verschiedenen Maßnahmen im Einzugsgebiet und am Gewässer in ihrer Wirkung simuliert. Zum Einen wurden die Auswirkungen einer Renaturierung der Stör und eine ökologische Aufwertung von verschiedenen Flächen im Einzugsgebiet berechnet. Auch Möglichkeiten zum technischen Hochwasserrückhalt wurden untersucht. Mit Hilfe des instationären 2D-Modells konnten weiterhin verschiedene strukturelle Veränderungen an der Stör simuliert und in ihrer Auswirkung quantifiziert werden.

### Renaturierung

Prinzipiell strebt ein Gewässer immer einen Gleichgewichtszustand an, bei dem die Fließgeschwindigkeit, die Sohlschubspannung und das Sohlgefälle in einem bestimmten Bereich liegen, so dass sich Erosion und Ablagerung die Waage halten.



Flussverlauf der Stör  
gestern (li.) und heute (re.)

Szenario im Innenstadtbereich von Kellinghusen vor (oben) und nach (unten) deutlich rechtsseitiger Aufweitung

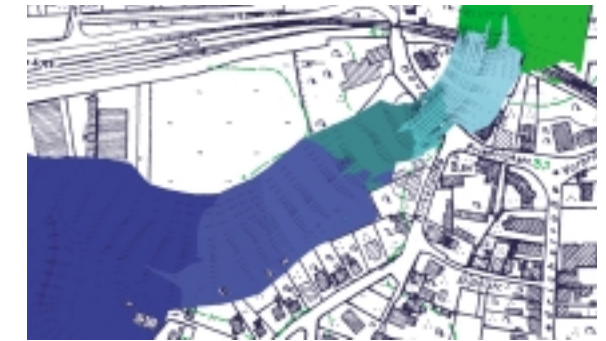
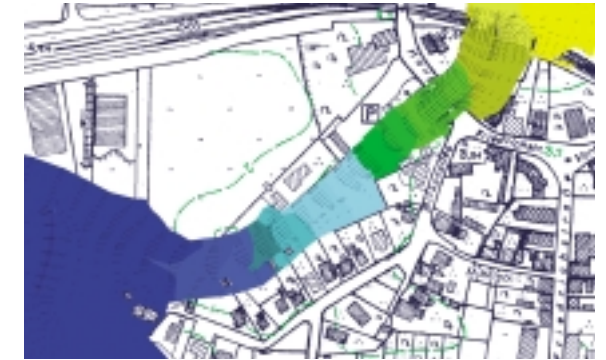
Abb. rechts: Höhen im Vergleich

Abb. links: Wasserspiegelhöhen und Strömungsbild im Vergleich

Die intensive Nutzung der Kulturlandschaft und die vielfältigen Gewässereingriffe haben in der Vergangenheit in vielen Gewässern und auch an der Stör zu generellen Veränderungen im Geschiebe- und Stoffhaushalt geführt. Die Stör war ursprünglich stark mäandrierend und floss in weiten Strecken durch Niedermoore.

Durch Begradigung des Flusslaufes und Dränung der angrenzenden Flächen wurde vielerorts landwirtschaftliche Nutzung möglich gemacht. Aufgrund dieser Veränderungen befindet sich die Stör zur Zeit nicht im Gleichgewicht. Insbesondere oberhalb der Mündung der Bünzener Au kommt es trotz mehreren Sohlstufen zu Erosion an Böschungen und an der Sohle. Weiter stromabwärts, vor allem im Bereich von Kellinghusen, kommt es aufgrund der einsetzenden Tidebewegung und einer Verringerung des Sohlgefälles zu Auflandungen, die dann im Hochwasserfall den Fließquerschnitt reduzieren und zu höheren Wasserständen führen.

Auf Basis der Regimetheorie, einer weitgehend empirischen Beschreibung eines natürlichen Gewässerlaufes, wurde in Anlehnung an den historischen Zustand ein mögliche naturnahe Linienführung entwickelt. Die Berechnungen mit dem 2D-Modell zeigen, dass eine solche Umgestaltung zu einer geringen Hochwasserentlastung im Bereich von Kellinghusen führen kann. Überschlägliche Berechnungen mit Hilfe des NA-Modells zeigen darüber hinaus, dass die Renaturierung der vielen begradigten und kanalisierten



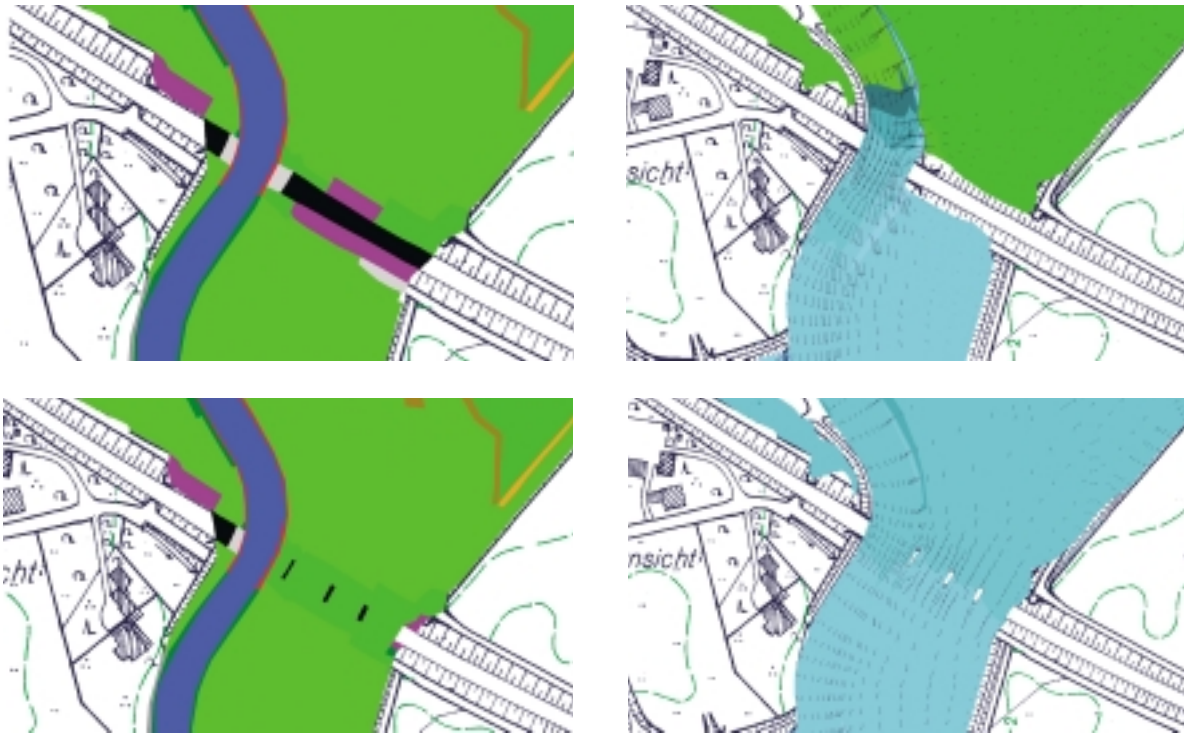
Nebengewässer sogar noch wesentlich größere Potenziale zur Abflussreduzierung hat.

### Hochwasserrückhalt

Der Ablauf der Hochwasser an der Stör ist typisch für Flachlandgebiete. Die Dränung der landwirtschaftlichen Flächen führt zwar zunächst zu einem relativ

steilen Anstieg des Abflusses, der maximale Wert wird dann aber aufgrund der später einsetzenden langsamen Abflusskomponenten über längere Zeit gehalten. Die Rückführung dränkter landwirtschaftlicher Flächen in einen naturnahen Zustand würde insbesondere das erste schnelle Ansteigen des Abflusses verzögern. Soll der maximale Hochwasserabfluss durch Rückhaltebecken an der Stör zum Beispiel oberhalb





von Kellinghusen deutlich reduziert werden, sind große Volumina erforderlich. Hierbei ist aufgrund der Topografie auf jeden Fall gesteuerten Rückhaltebecken der Vorzug zu geben. Nach einer umfassenden Modernisierung bereits vorhandener alte Wehranlagen könnten Becken im Hauptschluss geschaffen werden, die sowohl wasserwirtschaftlichen als auch ökologischen Anforderungen gerecht würden.

Detaillierte Untersuchungen zeigen, dass von den bebauten Flächen der Stadt Neumünster trotz zahlreicher innerstädtischer Retentionsmaßnahmen eine deutliche Beeinflussung der Wasserführung der Stör ausgeht. Hochwasserabflüsse werden durch die Versiegelung und das Kanalnetz deutlich beschleunigt und verstärkt, wodurch vor allem die Erosionstendenz in den aufnehmenden Gewässern verstärkt wird.

Einzelne kleinere Rückhaltemaßnahmen hätten somit auf jeden Fall einen positiven Einfluss auf die Wasserführung in der Stör. Aufgrund der langen Fließzeit von Neumünster bis Kellinghusen relativiert sich deren Einfluss auf die kritischen Bereiche dort jedoch stark. Durch die Schaffung einer Vielzahl von kleineren Rückhaltebecken mit intelligenter Steuerung in den Nebengewässern könnte der Hochwasserabfluss jedoch insgesamt deutlich reduziert werden.

### Strukturelle Maßnahmen

In verschiedenen Szenarien wurde untersucht, in wie weit sich die Hochwassersituation in Kellinghusen durch lokale Maßnahmen am Gewässer, aber auch durch die Steuerung des Sperrwerkes und der Pumpwerke an der unteren Stör verbessern lässt.

Im Innenstadtbereich von Kellinghusen wird der Fließquerschnitt bei Hochwasser deutlich eingengt. Durch diese Einengung kommt es zwischen der alten Eisenbahnbrücke und der Mündung der Mühlenbek zu hohen Fließgeschwindigkeiten, hohen Reibungsverlusten und dadurch zu einem starken Wasserspiegelgefälle. Als wesentliche Erkenntnis kann festgehalten werden, dass der Wasserstand bei Hochwasser in Kellinghusen maßgeblich durch den Abfluss von Oberwasser und nicht durch hohe Unterwasserstände beeinflusst wird.

Szenario an der Brücke B 206 vor (oben) und nach (unten) Wegnahme des linkseitigen Brückenaufagers

Abb. links: Rauheitsklassen

Abb. rechts: Wasserspiegelhöhen und Strömungsbild

Hierdurch wirkt sich die Einengung durch die neue Brücke der Bundesstraße B 206 trotz Hinderniswirkung im Nahfeld nur unwesentlich auf den Hochwasserstand oberhalb von Kellinghusen aus. Vielmehr würde eine innerstädtische Aufweitung aber auch eine Ausbaggerung im Kellinghusener Bereich zu einem deutlichen Absinken der Wasserstände in Kellinghusen führen. Eine Eintiefung der Stör ist jedoch keine nachhaltige Maßnahme. Die stetige Sedimentation würde regelmäßig neue Ausbaggerungen erforderlich machen. Zudem ist damit zu rechnen, dass das Störsediment mit Schadstoffen belastet ist.

Nur gering entlastende Wirkung auf die Hochwasserstände in Kellinghusen sind durch Maßnahmen im



Alte Wehranlage

Unterwasser zu erwarten und sollten daher nur mit geringer Priorität betrieben werden. Seit dem Bau des Störsperwerks wird verhindert, dass Sturmfluten in der Elbe auch den Wasserstand in der Stör negativ beeinflussen. Die Tideschwingung in der Elbe ist bei Niedrig- und Mittelwasser noch bis hinauf zum Pegel Rensing spürbar. Bei hohen Zuflüssen von Oberwasser wird diese Schwingung jedoch nahezu vollständig unterdrückt. Die Berechnungen zeigen, dass bei Sturmfluten durch einen verlängerten Sielzug die Wasserstände in der Stör bis zum Pegel Grönhude unterhalb von Kellinghusen deutlich gesenkt werden können. Der Einfluss einer solchen Steuerung nimmt jedoch im Stadtgebiet deutlich ab und ist im kritischen Bereich an der Hauptstraßenbrücke in Kellinghusen mit diesem Modell kaum noch nachzuweisen. Auch die Pump- und Schöpfleistung der Sielbauwerke an der Stör beeinflussen den Wasserstand in der unteren Stör, der Einfluss auf den Wasserstand am Pegel Rensing ist jedoch nur minimal. In gleicher Weise sind Ausbaggerungen der Gewässersohle unterhalb von Kellinghusen zu beurteilen.

### Zusammenfassung

Für die Stör wurde eine wissenschaftliche Studie durchgeführt, um ein Konzept zur Regeneration durch integrierten Hochwasserschutz insbesondere der Stadt Kellinghusen zu entwickeln.

Das gesamte Einzugsgebiet ist hydrologisch und der Flussverlauf der Stör hydraulisch modelliert worden. Auf Basis der kalibrierten Modelle konnten dann in verschiedenen Szenarien die Auswirkungen von Veränderungen am Flusslauf, aber auch im Einzugsgebiet simuliert werden. Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass die Stör insbesondere im Oberlauf und in den Nebengewässern strukturelle Schwächen aufweist, die durch Renaturierung der Flussläufe und Rückführung landwirtschaftlicher Flächen in einen naturnahen Zustand behoben werden sollten. Die Hochwasserproblematik von Kellinghusen kann jedoch auch kurz- bis mittelfristig durch Aufweitung im innerstädtischen Bereich und gesteuerte Hochwasserrückhaltebecken oberhalb von Kellinghusen entschärft werden.



# A New Procedure of Solving the One-Dimensional Saint-Venant-Equations for Natural Rivers

## 1 Introduction

The objective is the simulation of natural rivers. The main aspect here is to determine the water surface levels  $z_{sp}$  at a given point of the river  $x$  at a given time  $t$ .

The description of the natural processes is very complex. This means a great difficulty for simulation especially concerning the prognosis of water levels without any measured data [Cunge et al.]. For example, when some renaturation measures are planned for a river it is very difficult to estimate the new water surface level, especially for a flood wave.

The main difficulty of the calculation of water surface levels is the determination of the friction which counteracts the water flow. Vegetation adds to the calculation difficulties. These terms will be looked at in more detail when discussing the equations. But before getting to the mathematical part of the considerations it is necessary to acquaint oneself with the current phenomena in rivers.

## 2 Retention - a phenomenon of natural rivers

Retention is a phenomenon of natural rivers. Time lag of the water run-off process by collecting the flowing off water on the water surface or within the water is called retention. This effect is perceived by the deformation of the flood wave crossing the river. The follo-

wing outline clarifies those effects [LWR].

It has to be differentiated between retention of the main channel and retention of the flood plains. Moreover, there is a stagnant and flowing retention and in addition to this it has to be differed between natural and artificial retention.

### Flowing Retention in the Main Channel

In a longer part of a water surface a flood wave is absorbed even though there is no flooding of the plains and the water remains in the main channel. In this case the retention is dependent on slope, shape of the flood wave and roughness of the channel.

### Flowing Retention in the Flood Plains

Flowing retention can be observed in compound channels. Due to lower water depth and higher friction the water flow in flood plains is slower. If there is no coincidence of the waves of the flood plains and the main channel, a strong retention will be observed.

### Stagnant Retention in Flood Plains

Stagnant retention is observed in the case of water in the flood plains with no or hardly any velocity. Thus these flood plains can be regarded as water retention basins.

### Artificial stagnant Retention in a Storage Basin

If water is retained in artificially made retention basins

artificial stagnant retention is observed.

All these phenomena result in a deformation of the inflow hydrograph. We are strongly interested in the exact mathematical description of this deformation procedure in order to obtain the exact form of the outflow hydrograph. The sketch of figure 1 shows the problem. The description of these phenomena in only one dimension is the creation of a grid. The connection between two grid points is described with the one-dimensional flow equations.

## 3 Mathematical Formulation

The one-dimensional steady calculation of natural rivers is based on the steady equation of St. Venant

$$\frac{1}{gA(x)} \frac{d(\alpha'(x)[Q^2(x)/A(x)])}{dx} + S_f(x) + \frac{dz_{sp}(x)}{dx} = 0$$

where  $\alpha'$  is the Boussinesq coefficient.

$$\alpha'(x) = \frac{\iint (v_x(y,z))^2 dA}{[(Q(x))^2 / A(x)]}$$

The continuity-equation has already been integrated in the first equation. The water surface level results from the solution of the above equations with some linear assumptions.

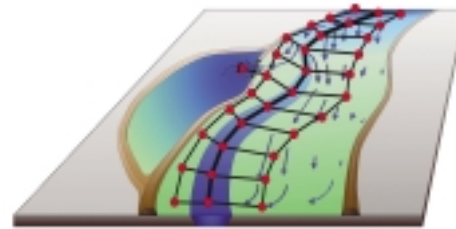
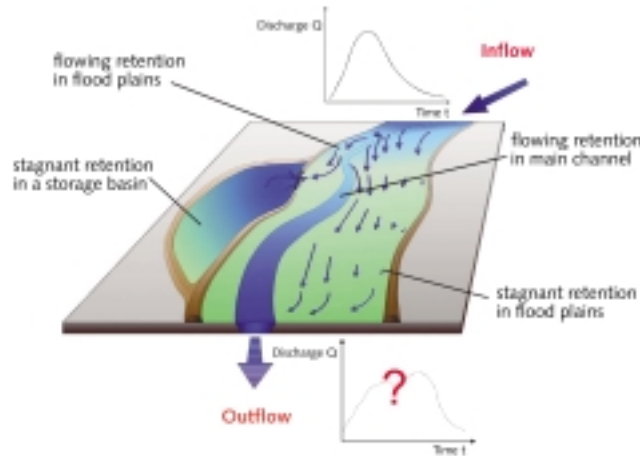


Fig.1: Retention and Deformation of the Hydrograph

Fig. 2: Creation of a grid

$$z_{s2} - z_{s1} + \frac{2}{g[A_2 + A_1]} \left( \frac{\alpha_2 Q_2^2}{A_2} - \frac{\alpha_1 Q_1^2}{A_1} \right) + \int_{x_1}^{x_2} S_f dx = 0$$

Here it will not be necessary to give more attention to the different methods of the calculation of the integral of the friction slope. This equation can be solved by an iterative method after choosing an approximate value for the integral of the friction slope. Usually the results have to be adapted to the measured data by calibrating the  $k_s$ -value.

The one-dimensional unsteady calculation of natural rivers is based on the unsteady equation of St. Venant.

$$\frac{\partial Q(x,t)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left[ \alpha \frac{Q^2(x,t)}{A(x,t)} \right] + \rho g(x,t) S_f(x,t) + \rho g(x,t) \frac{\partial z_w(x,t)}{\partial x} = 0$$

The continuity equation is an additional condition.

$$\frac{\partial Q(x,t)}{\partial t} + \frac{\partial A(x,t)}{\partial x} = 0$$

There are numerous methods to solve the one-dimensional St. Venant equations. So far these methods are mainly based on the finite difference method.

### 4 Determination of Friction

The main difficulty of the back water surface calculation is the exact determination of the friction slope  $S_f$ . The surface composition of a river varies a lot, and often the variation of the surface in one cross-section can be very strong, especially if the flood plains are flooded. It is found to be very difficult to determine this variety with only one parameter. Therefore, the objective will have to be to show the physical characteristics exactly. Even if the cross-section of the river is cut into different parts the current methods show the characteristics of this part by one single parameter  $k_{st}$  or its reciprocal value Manning's  $n$ . Many methods use this calculation.

$$S_f = \frac{1}{k_{st} r_{hy}^{4/3}} \frac{Q^2}{A^2} \quad \text{or} \quad S_f = \frac{n}{r_{hy}^{4/3}} \frac{Q^2}{A^2}$$

This method has many disadvantages. Knowledge of the river is necessary for the determination of the constant values  $k$  or  $n$ .

Nothing can be said about the new back water surface levels when renaturation measures of the river are being planned. This is true for the prognosis of water levels which never occurred before. Usually the renaturation of a river means more vegetation. Therefore, a better quantification of the force of friction due to surface properties and vegetation is needed. Basis of our calculations is the friction law of Darcy-Weisbach, known from channel hydraulics. Therefore the friction slope is calculated by

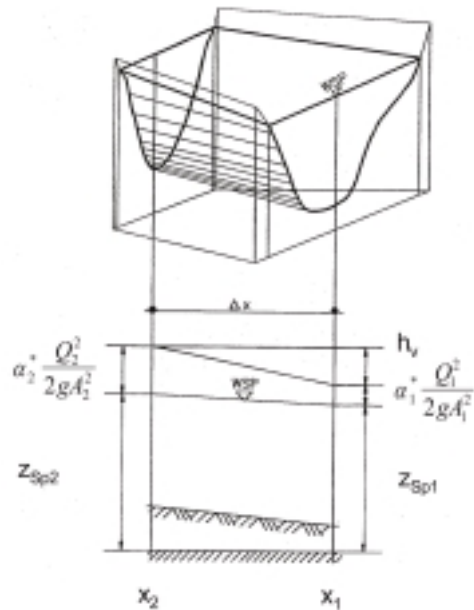
$$S_f = \frac{\lambda}{r_{hy}} \frac{Q^2}{A^2} \frac{1}{8g}$$

The resistance value is determined according to Colebrook-White.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2.03 \log \left( \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{\lambda}} + \frac{k_s / r_{hy}}{14.84} \right)$$

In natural rivers it is usually sufficient to use the simplified equation.

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2.03 \log \left( \frac{k_s / r_{hy}}{14.84} \right)$$



Those equations are not entirely empirical. They can be physically proved. They can be used to integrate the natural conditions of a river system mathematically with the  $k_s$ -value into the resistance equations. Good results have been accomplished with the steady one-dimensional water surface calculation.

The quantification of the vegetation can be determined according to the method of Pasche. Important is the fact that the friction factors  $\lambda$  of surface roughness and vegetation can be added.

$$\lambda_{flood\ plain} = \lambda_{vege,fp} + \lambda_{surf,fp}$$

The friction factor for vegetation is estimated the following way. See figure 5 for notations.

$$\lambda_v = \frac{4h_p d_p}{a_s a_y} c_{vx}$$

The mathematical procedure to calculate the friction factor  $\lambda$  is very time consuming because it is iterative [BWK].

Those iterations are a considerable disadvantage of the method. Longer calculations for complex simulations are the result. Therefore, the chosen method has to solve most effectively the unsteady St. Venant equations if the method according to Pasche and the Darcy-Weisbach-Law is the basis of calculation.

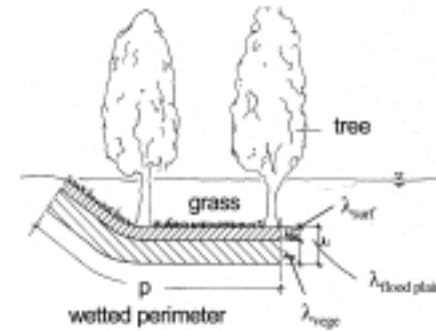
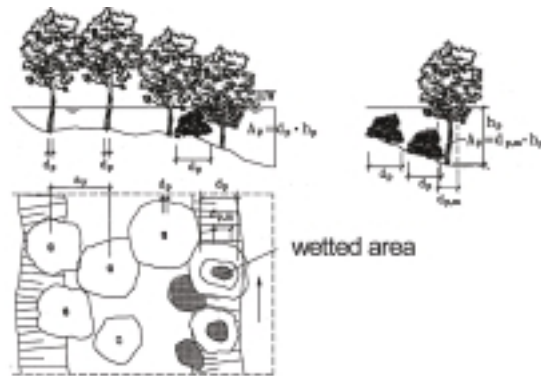


Fig. 3 (left):  
Notation for the St. Venant Equation, Note that  $\alpha^*$  is the coriolis coefficient

Fig. 4 :  
Different friction factor for surface and vegetation

## 5 Time Integration Scheme

In the time integration scheme we follow an approach of King. The variation with time will be described by the following function

$$y(x,t) = y(x,0) + at + bt^\gamma$$

with a constant  $\gamma$ . Then

$$\frac{\partial y(x,t)}{\partial t} = a + \gamma bt^{\gamma-1}$$

and substituting to eliminate b

$$\frac{\partial y(x,t)}{\partial t} = a + \frac{\gamma}{t} (y(x,t) - y(x,0)) - \gamma a$$

$$\frac{\partial y(x,0)}{\partial t} = a$$

then, in particular  $y$  at time  $\Delta t = t_2 - t_1$

$$\frac{\partial y(x,t_2)}{\partial t} = \frac{\gamma}{\Delta t} (y(x,t_2) - y(x,t_1)) + (1 - \gamma) \frac{\partial y(x,t_1)}{\partial t}$$

This scheme reduces to the conventional linear integration scheme at  $\gamma = 1$ .

Fig. 5 (left):  
Notation for determination of friction factor  $\lambda$

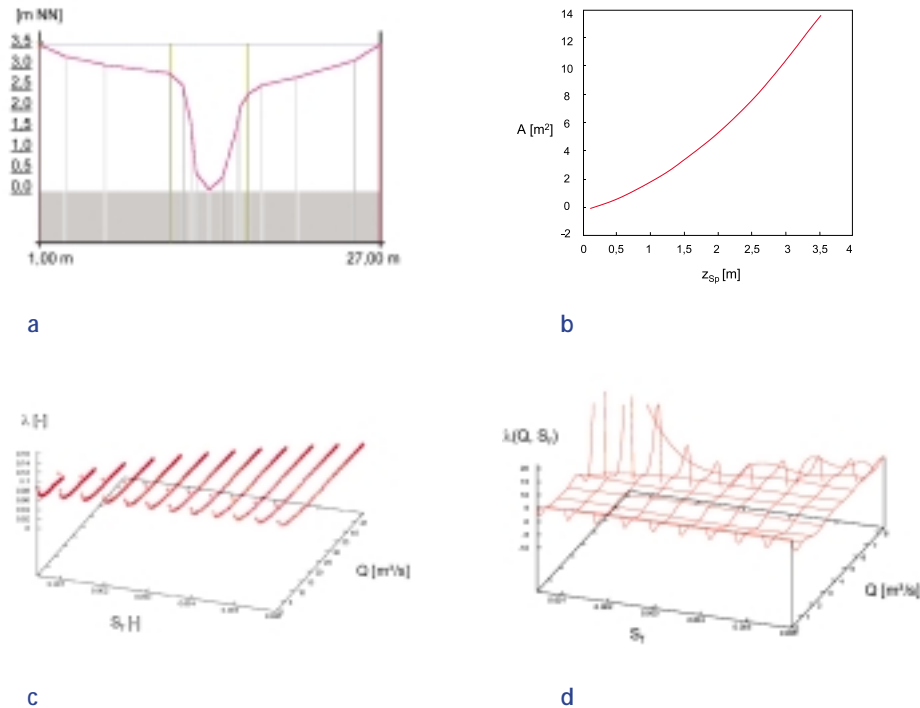


Fig. 6:  
Approximation by Polynomials

- Cross section
- Cross sectional area  $A(z_{sp})$  main channel
- Friction factor  $\lambda(Q)$  for different slopes  $S_f$  left flood plain
- Friction factor  $\lambda(Q, S_f)$  two dimensions left flood plain

## 6 Finite Element Formulation

The finite element method is a well known method for solving differential equations. Numerous research and applications have shown good results in the area of structural mechanics as well as fluid mechanics.

This model uses a formulation based on the method of weighted residuals to develop the finite element equations. The equations are nonlinear. The Newton-Raphson procedure must be used to solve the equations. The equation for the nodal values which has to be solved has the following form.

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial Q_n} & \frac{\partial f_1}{\partial z_n} \\ \frac{\partial f_2}{\partial Q_n} & \frac{\partial f_2}{\partial z_n} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta Q \\ \Delta z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} f_1 \\ f_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

where  $f_1$  is the unsteady St. Venant Equation and  $f_2$  is the Continuity Equation. The derivation of the functions to  $Q_n$  and to  $z_n$  give

$$\frac{\partial f_1}{\partial Q_n} = \int_0^L N_n N \left[ \frac{\partial}{\partial Q} \left( \frac{\partial Q}{\partial t} \right) + \frac{\partial}{\partial Q} \left( \frac{Q^2}{A} \frac{\partial \alpha'}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial Q} \left( \frac{\alpha' Q}{A} \frac{\partial Q}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial Q} \left( \frac{\alpha' Q}{A^2} \frac{\partial A}{\partial x} \frac{\partial Q}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial Q} \left( \frac{\alpha' Q^2}{A^2} \frac{\partial A}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial Q} \left( \frac{2\lambda Q^2 l_w}{8A^2} \right) + g \frac{\partial}{\partial Q} \left( A \frac{\partial z_{sp}}{\partial x} \right) \right] dx$$

$$\frac{\partial f_1}{\partial z_n} = \int_0^L N_n N \left[ \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\partial Q}{\partial t} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{Q^2}{A} \frac{\partial \alpha'}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\alpha' Q}{A} \frac{\partial Q}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\alpha' Q}{A^2} \frac{\partial A}{\partial x} \frac{\partial Q}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{\alpha' Q^2}{A^2} \frac{\partial A}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{2\lambda Q^2 l_w}{8A^2} \right) + g \frac{\partial}{\partial z} \left( A \frac{\partial z_{sp}}{\partial x} \right) \right] dx$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial Q_n} = \int_0^L N_n N \left[ \frac{\partial}{\partial Q} \left( \frac{\partial Q}{\partial t} \right) + \frac{\partial}{\partial Q} \left( \frac{Q^2}{A} \frac{\partial \alpha'}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial Q} \left( \frac{\alpha' Q}{A} \frac{\partial Q}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial Q} \left( \frac{\alpha' Q}{A^2} \frac{\partial A}{\partial x} \frac{\partial Q}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial Q} \left( \frac{\alpha' Q^2}{A^2} \frac{\partial A}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial Q} \left( \frac{2\lambda Q^2 l_w}{8A^2} \right) + g \frac{\partial}{\partial Q} \left( A \frac{\partial z_{sp}}{\partial x} \right) \right] dx$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial z_n} = \int_0^L N_n N \frac{\partial N_n}{\partial x} dx$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial z_n} = \int_0^L N_n N \left( \frac{\partial}{\partial z} \frac{\partial A}{\partial t} \right) dx$$

These equations have to be simplified further. The integrals are estimated by numerical integration in which the integrands are evaluated at Gauss points, multiplied by a weighting factor for that location and summed up to form the final integral [King].

## 7 Approximation by Polynomials

A first approach to solve this extremely complex equations is the approximation of certain functions by polynomials. Pair of variates of those functions have to be built before the actual calculation begins. After that approximate polynomials are calculated by numerical procedures. The functions themselves as well as their derivatives can then be approximated by these polynomials. First results show good approximations. This



approximation proves to be very important for the calculation of the function of the friction factor  $\lambda$ . This value is dependent on both the independent variables  $z$  and  $Q$ . One-dimensional polynomials can be calculated when keeping parameters steady. Does the other parameter vary the result will be several functions. Those functions can be approximated by a two-dimensional function.

Fig. 6 shows examples for a typical river cross section. The functions of  $\lambda$  are plotted for the left flood plain. The polynomials used in Figure 6 are

$$A(z_{Sp}) = p_0 + p_1 z_{Sp} + p_2 z_{Sp}^2 + p_3 z_{Sp}^3 + p_4 z_{Sp}^4$$

$$\lambda(Q) = p_0 + p_1 Q + p_2 Q^2 + p_3 Q^3 + p_4 Q^4$$

$$\lambda(Q, S_f) = p_0 + p_1 Q + p_2 S_f + p_3 Q S_f + p_4 Q^2 + p_5 S_f^2 + p_6 Q^2 S_f^2$$

There are different procedures to optimize the fittings.

## 8 Concluding Remarks

This paper describes a finite element model for unsteady flow problems for natural rivers with floodplains and vegetation. In the last months we verified the model at the River Stör in Schleswig-Holstein and at the Danube in Bavaria. The results will be published in November 2003.

### Notations

a	Coefficient [-]
A	Channel cross section area [m <sup>2</sup> ]
b	Coefficient [-]
f <sub>1</sub>	Function of the St. Venant Equation [-]
f <sub>2</sub>	Function of the Continuity Equation [-]
g	Acceleration due to gravity [m/s <sup>2</sup> ]
l <sub>U</sub>	Wetted perimeter [m]
L	Domain of N [-]
N	Weighting function [-]
N	Weighting function for node xn [-]
p <sub>i</sub>	Coefficients [-]
Q	Volume rate flow [m <sup>3</sup> /s]
Q <sub>n</sub>	Nodal values Q [m <sup>3</sup> /s]
r <sub>hy</sub>	Hydraulic radius [m]
S <sub>f</sub>	Friction slope [-]
t	Time [s]
x	Coordinate [m]
y	Coordinate [m]
z	Coordinate [m]
z <sub>n</sub>	Nodal values z [m]
z <sub>Sp</sub>	Water surface elevation above datum [m]
α'	Boussinesq coefficient [-]
α*	Coriolis coefficient [-]
γ	Coefficient [-]
Θ	Angle [-]



### References

BWK: (1999) *Hydraulische Berechnung von Fließgewässern, Teil 1: Stationäre Berechnung der Wasserspiegellinie unter besonderer Berücksichtigung von Bewuchs- und Bauwerkseinflüssen* (in German), Editor: BWK-Geschäftsstelle Düsseldorf, Sep. 1999

Cunge, J.A.; Holly F.M.; Verwey, A.: (1980) *Practical Aspects of Computational River Hydraulics Monographs and Surveys in Water Resources Engineering*, Pitman, Boston

King, I.P.: (1976) *Finite Element Models for unsteady Flow Routing through Irregular Channel, Finite Elements in Water Resources*, First Int. Conf. on FE in Water Resources, Pentech Press, London

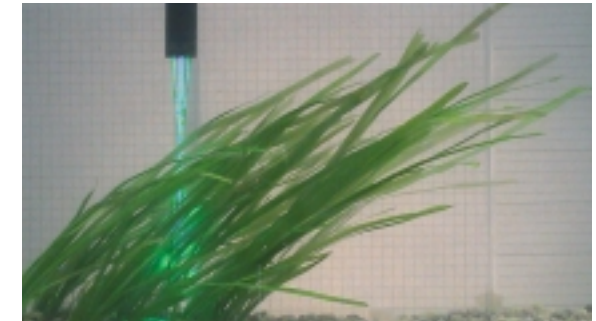
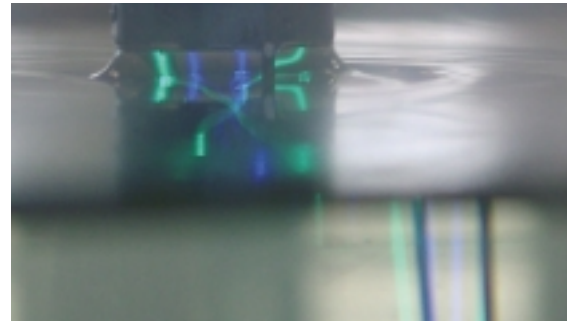
LWR - Landesamt für Wasserwirtschaft Rheinland Pfalz: (1998) *Die Wirkung der Retention auf den Abfluss der Nahe bei extremen Hochwassern, Bericht A 006* (in German); Editor: Institut für Hydromechanik und Wasserwirtschaft, ETH Zürich

Pasche, E.; Rouve, G.: (1985) *Overbank Flow with Vegetatively Flood Plains*, *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 111, No. 9

Fig.: Retention effects at the river Trave in Schleswig-Holstein during a flood

# Numerical Simulation of Flexible Vegetal Roughness in Coastal Zones

A short Introduction of the Topic



## Abstract

Vegetation greatly affects the hydrodynamic in rivers and coastal zones. To find algorithms for evaluating its resistance is a critical task in the scope of hydrodynamic numerical simulation. A short overview of an ongoing research project of the Department of River and Coastal Engineering of the TUHH will be given in this article. It investigates ecological reasonable concepts of near shore protection and develops a first forward looking Bio-Hydro-Engineering solution. At first the governing equations for simulating flexible vegetation have been derived. Herein the flow resistance and turbulence characteristics were considered and led to additional terms in the common 3D Reynolds equations. The flexible elements have been considered as sources of surface roughness as well as drag resistance.

## Introduction

Coastal zones are very dynamic systems. There is not even a possibility to define a hard shore line as boundary. It is a wide area of hydro- and morphodynamic processes which change position and shape of coasts. There are tides and waves attacking flat sandy beaches, moody wadden seas or steep cliffs in most different shapes and compositions. In the latter centuries the European coasts in particular have been stabilized with dikes and dams to protect human values in the back lands. Today it is known that there is neither a strong separation of the mainland from the open sea possible nor necessary. The moving water volume needs retention area for absorbing hydrodynamic power and sediments to fulfill the transport capacity. European coasts are strongly occupied by human. The squeeze of land makes it hard to find additional territories for sea retention. Therefore the retention effect

of the buffer zone between open sea and settled mainland or islands has to be increased. Since ecological and aesthetic values become very important, coast protection on natural biological basis has to be developed.

## Literature Review

There are a lot of investigations on the field of vegetation roughness in open channels. The main part of the derived methods basically treat plants as cylinders. The most popular theories are those of Lindner (1982), Pasche and Rouvè (1985), Mertens (1989) and Nuding (1991). They investigated the wake caused by various cylinder set-ups resulting in methods to determine drag coefficients for single plants in a group and a separated friction factor of the vegetation. The consideration of flexible vegetation in mathematical models

is mainly one dimensional. There are a lot of references for Manning's  $n$  in grassed channels as a function of seasonal states. One of the most cited scientist on this field of investigation is Kouwen. He developed in Kouwen and Unny (1973) a closed empirical solution for calculation of flexible roughness in open channel flows. They investigated hydrodynamic effects of artificial gras in a laboratory open channel and derived a formula for the vertical velocity profile above the submerged vegetation. They account the vegetation flexibility and population density for flow resistance. The method is one-dimensional and based on empirical parameters. One advantage is that they use the Darcy-Weisbach-Formulation with a dimensionless roughness parameter instead of common Manning's  $n$ . On the other hand it is pretty complicated to get material constants like the modulus of elasticity of a high flexible plant.

Further Oplatka (1998) dealt with the flow resistance of flexible willows. One of the main problem of calculation momentum loss due to drag resistance is the projected area of the plant. He showed that with increasing flow velocity the area perpendicular to the flow exponentially decreases.

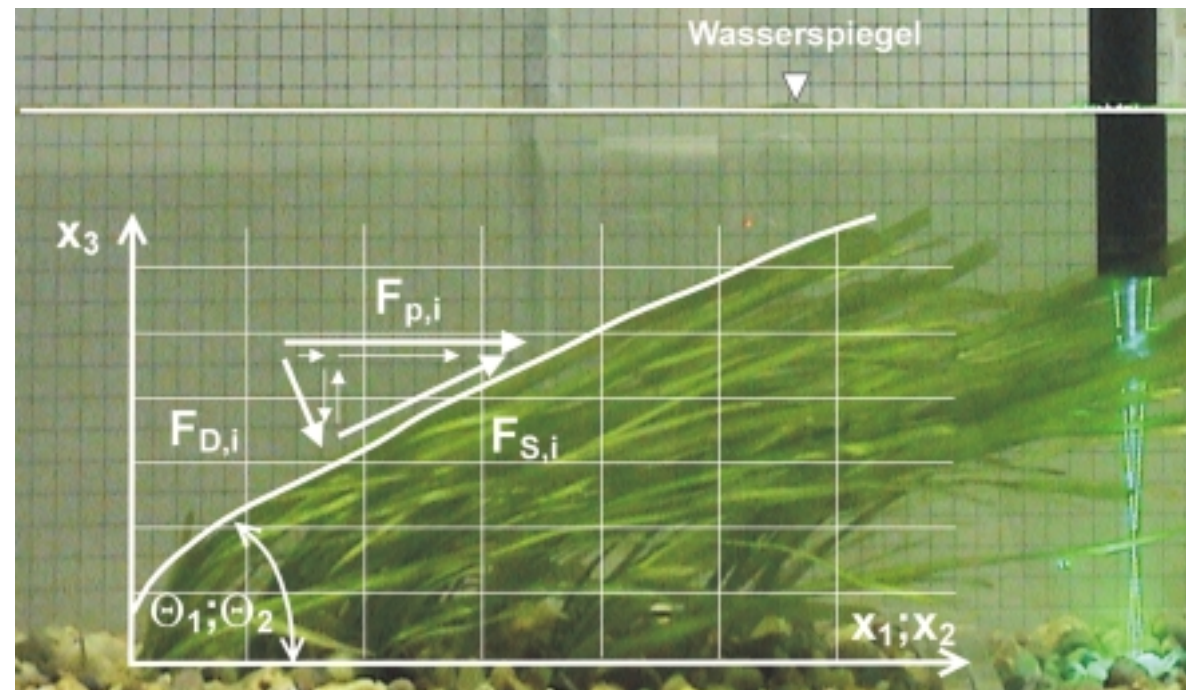
Järvelä (2002) investigated the flow resistance of vegetated channel banks and flood plains. The experiments show what type, density and combination of vegetation, flow depth and velocity influence vegetal drag or friction losses. Friction factor and drag coeffi-

cients were determined. There is a large variation with flow depth, velocity, Reynolds number and vegetal characteristics. He also compared drag coefficients of leafy and leafless willows.

### Mathematical Background

The numerical calculation of open channel flow is based on the time-averaged Navier-Stokes-Equations,

which are also called the Reynolds Equations. This differential equation system considers the advective and diffusive transport of momentum. It describes the production and dissipation of the mean kinetic energy due to sink and source terms of gradients of mean velocity. A force term of the equations considers the outer forces. To introduce the drag resistance of vegetal roughness elements it is necessary to extent the force term with the common known drag force:



Decomposition of the resulting drag force

Crab - inhabitant  
of sea grass meadows

Temporary research  
station in the  
wadden sea of Sylt

$$F_{D,i} = \frac{1}{2} \rho \cdot C_D \cdot \frac{1}{x_{3,p}} \int_0^{x_{3,p}} [u_i^2(x_3) \cdot A_p(x_3) \cdot \sin \Theta_i] dx_3 \quad \text{mit } i = 1, 2$$

In this term the drag coefficient  $C_D$  sums up pressure and friction drag. To separate the effects it is necessary to split the force in a part perpendicular and one parallel to the plant. This has the advantage that the drag coefficient  $C_D$  for a plant community can be considered as constant. Further it is possible to use the common Darcy-Weisbach-Formula to determine the surface friction  $\lambda_p$  of the plants.

$$F_{D,\perp} = \frac{1}{2} \rho C_D \cdot \frac{1}{x_{3,p}} \int_0^{x_{3,p}} [(u_i(x_3) \cdot \sin \Theta_i)^2 \cdot A_p(x_3)] dx_3 \quad \text{mit } i = 1, 2$$

$$F_{D,\parallel} = \frac{1}{8} \rho \lambda_p \cdot \frac{1}{x_{3,p}} \int_0^{x_{3,p}} [(u_i(x_3) \cdot \cos \Theta_i)^2 \cdot A_p(x_3)] dx_3 \quad \text{mit } i = 1, 2$$

A second modification of the Reynolds Equations takes into account that plant communities influence the turbulence of the flow. It is known that the wake flow of the vegetation elements is turbulent. It is isotropic and of small length scales near the dissipation length. This additional turbulent kinetic energy is a loss of the mean kinetic energy. A sink term in the Reynolds Equations describes stresses due to vegetation wake flow.

$$\tau_{i,j} = -\rho \overline{u_i' u_j'} = \rho \nu_i \left( \frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{u_j}}{\partial x_i} \right) + \sigma_{ij} \left( \frac{2}{3} \rho k \right) \quad \text{mit } i = 1, 2, 3$$

Because of the time averaging there are more unknown variables as equations in the system. This



closure problem is solved by implementing at least one further equation which determines the turbulent stresses. This additional equation or equation system is called turbulence model. The most used turbulence models for the simulation of open channel flow are based on the eddy viscosity theory. For engineering purposes it is nearly impossible to calculate the turbulent stresses directly. Therefore Boussinesq found a model which describes the dependency of the turbulence with the main flow field. The proportional constant  $\nu_t$  is called eddy viscosity. If the main flow field is known the only task of most turbulence models is to calculate the eddy viscosity. This value is independent of the property of the fluid itself. It just depends on the flow characteristics. It is a further kind of inner friction due to different velocities of two infinite fluid volumes. In the presence of vegetation the eddy viscosity becomes a function of the plant community properties as well. So common turbulence models have to be



adapted for calculating turbulent stresses in plant influenced flow fields.

At this time there are just a few investigations of the turbulent flow field within a plant community. So it is neither possible to guess the eddy viscosity in the vegetative influenced water column nor use known turbulence models without adaptations because the vertical velocity profile is not an usual boundary layer profile. It has to be taken into account that turbulent length scales are limited by the population density of the plant community. Usually the limits are given by the channel itself like water depth or channel wide.

## Hydro- and morphodynamical Background

Vegetative roughness in coastal zones is always flexible. Most types of it are plants (algae or grasses) with





no flexural stiffness at all. The existence of a vegetation layer has a significant influence of the shape of the vertical velocity profile. That in turn is the main driving force of morphological developments of an area. The flow field in coastal zones through vegetation is divided in mainly two parts. There is an accelerated current layer above the vegetation whereas the flow velocities between the plants are strongly reduced. That means for morphological processes that the sediment transport capacity increases in the upper part of the water column and decreases in the plant layer. The Rouse profile describes the sediment concentration as a function of distance from the bottom. It shows that the suspended load concentration decreases exponentially with height. Therefore a small vegetation layer already acts as a suspension sink that catches a large part of the transported sediments. The fast flow above the vegetation has a higher transport capacity but no sediment. So plant communities usually work as sedi-

ment catchment areas stabilizing the bottom beneath. As all natural processes pursue an equilibrium there is a process that initiates the sediment transport in the plant community. Otherwise the plants would bury themselves. Turbulent movements inhibit the settlement of all available particles. A minimum concentration will always be kept in the water column and transported with the reduced flow through the vegetation. A further settlement reduction mechanism is given by the continuity condition. As particles are transported in suspension the sediment concentration strongly depends on the inflow into the water volume. In absence of a plant community the discharge is distributed approximately logarithmic over the water column. This distribution is changed as well as the vertical velocity profile: low velocity in the field means less water transport and thus less mass of sediments.

## Conclusions and Perspectives

To find the mathematical formulation for this physical equilibrium is the main aim of flow field investigations in this project. In order to evaluate the quantitative influence of vegetation on morphological processes it is necessary to predict the plant communities' height under flow conditions as well as the effective velocity reduction. The vegetation height in the water column depends on the plant material density, population den-

sity, plant shape, its surface roughness and drag force exerted on it.

### Nomenclature

$u_i$  time averaged flow velocities ( $i = 1 \dots 3$ ) [m/s]

$u_i'$  turbulent velocity fluctuation ( $i = 1 \dots 3$ ) [m/s]

$x_i$  cartesian coordinates ( $i = 1 \dots 3$ ) [m]

$A_p$  leaf area [m<sup>2</sup>]

$\Theta$  vegetation slope [rad]

$\nu_t$  eddy viscosity [m<sup>2</sup>/s]

$k$  turbulent kinetic energy [m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>]

$\delta_{ij}$  Kronecker symbol ( $i=1..3, j=1..3$ )

### References

- Järvelä J., Determination of flow resistance of vegetated channel banks and floodplains, International Conference on Fluvial Hydraulics, Louvain-la-Neuve, Belgium, Sep. 4-6, 2002
- Kouwen N., Unny T.E., Flexible Roughness in Open Channels, Journal of the Hydraulics Division, ACE, Vol. 99, pp. 713-728, 1973
- Lindner K., Der Strömungswiderstand von Pflanzenbeständen, Mitteilungen, Leichtweiss-Institut für Wasserbau, TU Braunschweig, Heft 75, 1982
- Oplatka M., Stabilität von Weidenverbauungen an Flussufern, Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich, Nr. 156, 1998
- Pasche E., Rouvé G., Overbank Flow with Vegetatively Roughened Flood Plains, J. Hydr. Eng., Vol. 111 No. 9, pp. 1262-1278, 1985

Beautiful colored  
salt marsh grassland

# Naturmessungen unter Hochwasserbedingungen zur Verbesserung der Güte von hydrodynamisch-nummerischen Modellen

Abb. 1:  
Gegliedertes Gerinne  
mit Interaktion Haupt-  
gerinne – Vorland

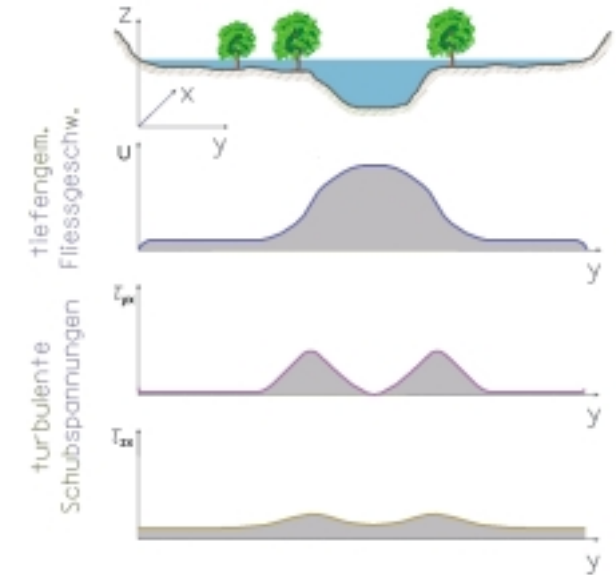
Seit den 60'er Jahren werden im Wasserbau und in der Wasserwirtschaft hydrodynamische Modelle von Oberflächengewässern eingesetzt. Heute stehen angefangen mit einfachen eindimensionalen Wasserspiegellagenprogrammen bis hin zu komplexen dreidimensionalen Modellen eine ganze Reihe von Werkzeugen für die hydrodynamisch-nummerische (HN) Modellierung zur Verfügung, die angepaßt an die Problemstellung und den zur Disposition stehenden Ressourcen eingesetzt werden können.

Die prinzipielle und praktische Eignung der HN-Modelle hat sich anhand von vielen wissenschaftlichen Untersuchungen bestätigt, und auch Erfahrungen aus der Ingenieurpraxis haben zur Akzeptanz der HN-Modelle beigetragen. Gleichzeitig sind die Modellanforderungen gewachsen hinsichtlich Einsatzmöglichkeiten und Genauigkeit. Auf naturnahe Fließgewässer übertragen heisst das beispielsweise, dass die Modelle nicht mehr ausschließlich mittlere Strömungsgrößen für die Bemessung von baulichen Maßnahmen liefern müssen, sondern für auf die Strömungsberechnung aufsetzende morphologische Untersuchungen oder Wasserqualitätsbetrachtungen werden präzise Angaben zur vertikalen und horizontalen Geschwindigkeitsverteilung benötigt. Zusätzlich haben gesellschaftspolitische Forderungen nach einem ökologisch nachhaltigen Gewässermanagement dazu geführt, daß wasserbauliche Problemstellungen nicht mehr isoliert, sondern im Kontext zum Erhalt des Ökosystems Flussaue zu sehen sind.

Dieser integrative Ansatz bedeutet u.a., daß der Fokus der Untersuchungen nicht nur auf das Gewässerbett beschränkt bleiben kann, sondern daß das Vorland in die Betrachtungsweise miteinbezogen werden muss. Die für naturnahe Fließgewässer spezifische Bedeutung der Ausuferungsdynamik muß mit den Modellansätzen somit wiedergegeben werden können. Die bestimmenden Randbedingungen und Einflussgrößen für das Strömungsverhalten eines naturnahen Fließgewässers sind hauptsächlich:

- geometrische Ungleichförmigkeit in Strömungsrichtung,
- heterogene Rauigkeitsverhältnisse,
- spezielles Widerstandsverhalten von Bewuchs (Groß-, Mittel- und Kleinbewuchs), wobei das Verhalten sich als Funktion des Abflusses verändern kann (über- oder durchströmt),
- Sekundärströmungen, z.B. wegen mäandrierender Linienführung,
- Abflussquerschnitt geformt als gegliedertes Gerinne.

Die beiden letzten Faktoren haben bei Hochwasserabflüssen erheblichen Einfluss auf den Fließwiderstand, sind aber zugleich Phänomene, über die nur unvollständige Erkenntnisse vorliegen. Abb. 1 zeigt schematisch die Auswirkungen eines gegliederten Gerinnequerschnittes für die turbulenten Schubspannungen. Auf Grund der ausgeprägten Geschwindigkeitsgra-



diente zwischen Hauptgerinne und Vorland wirkt eine Art Trennfläche, auch freie Scherschicht genannt, im Übergangsbereich zwischen den beiden Querschnittsteilen. Das führt zu einem deutlichen Anstieg der in der Trennfläche maßgeblich wirksamen vertikalen Schubspannungskomponente  $\tau_{yx}$  (s. Definition in Abb. 2), die im Vergleich zur sonst dominanten horizontalen Schubspannungskomponente  $\tau_{xy}$  die Geschwindigkeitsverteilung im Querschnitt hauptsächlich bestimmt.

Vor diesem Hintergrund kommt der Frage nach der Güte eines HN-Modells eine zentrale Bedeutung zu. Die Güte eines Modells ist u.a. bestimmt durch den damit verbundenen Arbeitsaufwand, die Robustheit

oder Fehleranfälligkeit des Modells, aber hauptsächlich ist damit das Vertrauensintervall der berechneten Strömungsgrößen gemeint. Im unmittelbaren Zusammenhang dazu stehen die möglichen Fehlerquellen in der Anwendung, die alle zur Abweichung zwischen Modell (Berechnungswerte) und Natur (Messwerte) beitragen. Nach DVWK (1999) und BWK (1999) werden diese Fehlerquellen unterschieden in:

- Datenfehler (z.B. falsche Geometriedaten oder Widerstandsbeiwerte),
- Fehler in den Modellgleichungen (z.B. durch vereinfachende Annahmen),
- Diskretisierungs- und Rundungsfehler (Numerik),
- Messfehler in der Aufnahme von Naturdaten.

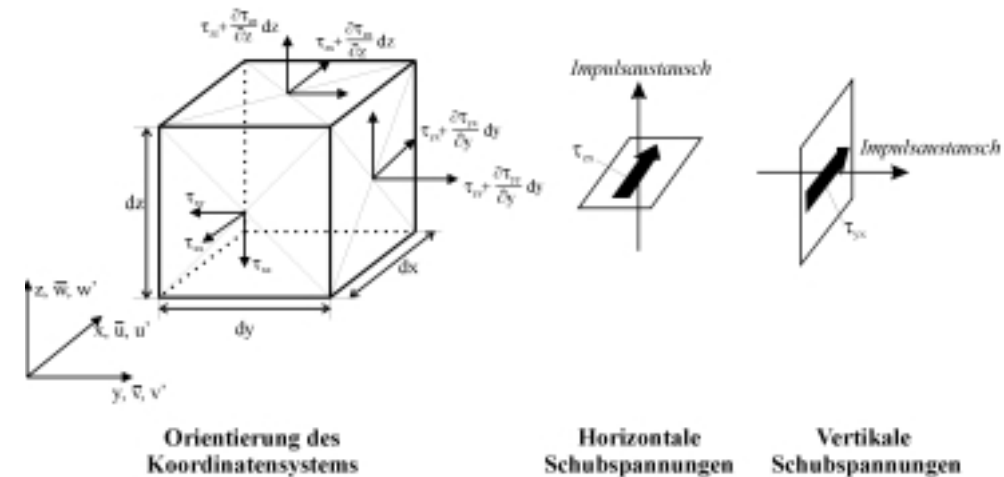
Auf die Vermeidung von Messfehlern in der Aufnahme von Naturdaten hat der Anwender der Modelle selten Einfluß. Die drei erstgenannten Fehlerquellen betreffen die Modellergebnisse direkt, wobei die Zugriffsmöglichkeiten auf diese Fehlerquellen für die überwiegende Mehrzahl der Anwender beschränkt ist. Einflussnahme auf Fehler in den Modellgleichungen oder im numerischen Lösungsverfahren bleiben dem Spezialisten und Modellentwickler vorbehalten. Dem reinen Anwender bleiben in diesem Fall nur die Alternativen mit der Erkenntnis dieser Fehlerquellen zu leben oder auf ein anderes, das Strömungsproblem besser abbildendes Modell, zurückzugreifen. Zur Vermeidung von Daten- und Diskretisierungsfehlern ist

hauptsächlich die Erfahrung des Anwenders entscheidend, was besonders deutlich wird in der Festsetzung der hydraulischen Inputparameter. Oftmals orientiert sich die Festsetzung der Widerstandsbeiwerte, der Bewuchsparameter oder evtl. der Wirbelviskosität an Werten aus vorherigen Anwendungen, es werden Angaben aus der Fachliteratur herangezogen, oder im besten Fall werden sie aus Messungen abgeleitet.

Wenn es um die Beurteilung und Vermeidung von Modellfehlern geht, sagt DVWK (1999) kurz und treffend, Zitat:

„Die Wahrheit sagt sich leicht, daß nämlich der Vergleich mit der Natur der entscheidende Maßstab für die Genauigkeit eines Modells ist“.

Um dem gerecht zu werden, sind Messungen also zwingend notwendig. Dabei meint „Messungen“ hier sowohl Labormessungen an kleinmaßstäblichen physikalischen Modellen als auch Naturmessungen. Den Labormessungen kommt dabei die Aufgabe zu, Strömungsphänomene isoliert und grundlegend zu analysieren, so dass darauf aufbauend Zusammenhänge mathematisch formuliert und evtl. einfließende Parameter bestimmt werden können. Mit Hilfe von Naturmessungen wird das Zusammenwirken von Prozessen unter der Prämisse der natürlichen Variabilität der Geometrie und Rauigkeit (Ungleichförmigkeit) untersucht. Hinzu kommt aber auch, dass die Ergebnisse von Labormessungen auf Grund der nicht reynoldsähnlichen Abbildung im physikalischen Modell nur einge-



schränkt auf die Natur übertragbar sind. Naturmessungen sind deshalb eine wertvolle Ergänzung zu Labormessungen und bieten dem Modellanwender die besten Voraussetzungen für eine physikalisch sinnvolle Parameterabschätzung.

Leider müssen Nezu et al. (1993) und DVWK (1999) feststellen, dass wohldokumentierte und umfangreiche Naturmessungen nur spärlich vorliegen. Interessant sind besonders Messungen, die Aussagen über das Strömungsfeld zulassen, also über die horizontale und vertikale Geschwindigkeitsverteilung im Modellgebiet; ebenso wie vertikal und zeitlich hochaufgelöste Messungen von punktuellen Geschwindigkeitszeitreihen, die Rückschlüsse auf die turbulenten Schubspannungen zulassen. Und das alles nicht nur bei Normalabfluß, sondern insbesondere bei Hochwasser-

Abb. 2: Definitionsskizze Schubspannungen

**Abb. 4:**  
ADV-Halterung am  
Bug des Messbootes

abfließen, wo z.B. der Umstand der überströmten Vorländer erst anfängt wirksam zu werden und sich deshalb eine grundlegend andere Strömungssituation einstellt.

Um dieses Defizit in Bezug auf Naturmessungen in naturnahen Fließgewässern zu vermindern, wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes ein Untersuchungsprogramm aufgestellt. Den Schwerpunkt bildeten vor allem Hochwassermessungen, so dass für hydrodynamische Berechnungen von extremen Ereignissen eine Optimierung der Modellgüte erreicht werden sollte. Untersucht wurden im einzelnen die Phänomene:

- Gegliederters Querschnitt,
- Sekundärströmungen infolge Mäandrierung.

**Abb. 3:**  
Lippehochwasser  
vom Februar 2002  
Deichstrecke bei Dorsten



Da der Einfluß dieser beiden Faktoren auf die Strömungscharakteristik stark vom Abfluß und von den geometrischen Bedingungen abhängig ist, wurden Naturmessungen für vier Gewässer unterschiedlicher Größe und Prägung geplant (Rhein, Elbe, Lippe und Stör). An besonders geeigneten Querschnitten, z.B. innerhalb gleichförmiger Doppeltrapezprofile in geradlinigen Gewässerstrecken oder in ausgeprägten Gewässerkrümmungen, wurden jeweils Geschwindigkeitsmessungen und Wasserstandsfixierungen ausgeführt.

Bei den Geschwindigkeitsmessungen kamen modernste akustische Messverfahren zur Anwendung, welche die Erfassung der vollständigen dreidimensionalen Geschwindigkeitskomponenten erlauben. Zum einen wurde ein Ultraschall-Doppler-Gerät zur Messung von Geschwindigkeitsprofilen (ADCP) und zum anderen ein Acoustic Doppler Velocimeter (ADV) für die punktuelle Messung von zeitlich hoch aufgelösten Geschwindigkeitszeitreihen (32 Hz) in der freien Scherschicht zwischen Vorland und Hauptgerinne eingesetzt. Die gesamte Messtechnik einschließlich Hard- und Software zur Prozesssteuerung und Auswertung waren an Bord eines Meßbootes installiert, so dass sämtliche Messaufnahmen vom bewegten Boot gemacht wurden. Zur Illustration ist in Abb. 4 die Anbringung der ADV-Sonde am Bug des Bootes gezeigt. Insbesondere der Einsatz der ADV-Sonde und die Ausführung von „Punktmessungen“ vom beweg-

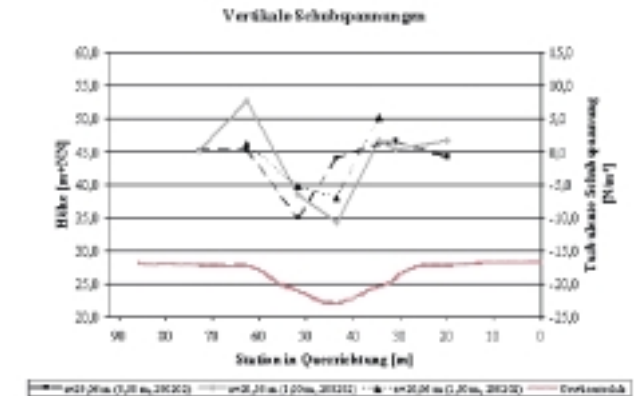
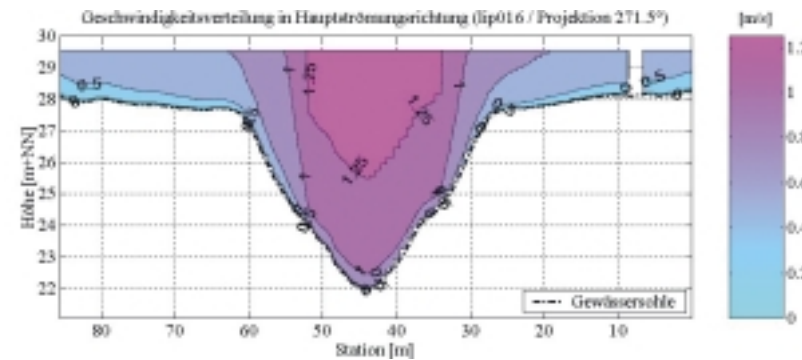


ten Boot wurden in dieser Form erstmalig ausgeführt. Dazu wurde ein Verfahren entwickelt, das die Kopplung von Geschwindigkeitsmessungen (Zeitreihen) mit Positionsbestimmungen mittels Differential Global Positioning System (DGPS) beinhaltet. Damit können die Bewegungen des Messvolumens der ADV-Sonde,



die von Wellenbewegungen oder Kursschwankungen des Bootes herrühren, aus den Rohdaten der Geschwindigkeitsmessung herausgefiltert werden. Die mit dieser Methode erzielten Ergebnisse repräsentieren keine Punktmessung im strengen Sinne, sondern stellen integrale Werte dar, die auf eine Messzelle bezogen sind mit den typischen Abmessungen 1,0 m x 1,0 m x 0,1 m (Breite x Länge x Höhe).

Abb. 5 und Abb. 6 zeigen Auszüge aus den Ergebnissen der Meßauswertung für einen Abflussquerschnitt der Lippe bei Dorsten, wo die Lippe in einem ca. 100 m breiten Querschnitt, der beidseitig durch 6 m hohe Deiche begrenzt wird, sehr gerade und gestreckt durch den städtischen Bereich geführt wird. In Abb. 5 ist die zeitlich gemittelte Geschwindigkeitsverteilung in Hauptströmungsrichtung dargestellt, die anhand der ADCP-Messung abgeleitet wurde. Die Auswertung ergab gleichzeitig Rauigkeitsbeiwerte ( $k_s$ -Werte) für die Sohle von 5 mm (Gewässersohle) bzw. 200 bis 300 mm (Vorland). Die Abb. 5 zeigt die im gleichen Querschnitt gemessenen vertikalen Schubspannungen  $\tau_{vx}$ , die auf Grundlage der ADV-Punktmessungen bestimmt wurden. Die laterale Verteilung der gemessenen vertikalen Schubspannung ist in guter Übereinstimmung mit der theoretischen und prinzipiellen Darstellung in Abb. 1 und zeigt einen deutlichen Anstieg der Schubspannungskomponente in der freien Scherschicht zwischen Hauptgerinne und Vorland. Details zu den Naturmessungen und Messverfahren



sind in Lippert (2003) beschrieben, wo die Turbulenzmessungen auch zur Verifikation von gängigen algebraischen Turbulenzmodellen (z.B. Sohlschubspannungsansatz oder Prandtlischer Mischungswegansatz) benutzt wurden. Die anhand der Messungen ermittelten hydraulischen Parameter (Rauigkeitsbeiwerte, Wirbelviskosität, etc.) wurden auch als Eingangsdaten für ein zweidimensional tiefengemittelttes Berechnungsverfahren angesetzt und somit getestet, inwieweit das numerische Verfahren in der Lage ist, die gemessenen Strömungsverhältnisse nachzubilden. Als numerisches Verfahren zur Lösung der mathematischen Grundgleichungen (Flachwassergleichungen) wurden die Finite-Elemente-Methode (Galerkin-Verfahren) und ein Mischansatz geläufig unter der Bezeichnung Kontroll-Volumen-FEM benutzt, Gresho et al. (1998).

#### Literaturverzeichnis

BWK: Hydraulische Berechnung von naturnahen Fließgewässern. Merkblatt 1, Bund der Ingenieure für Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft und Kulturbau e.V., Düsseldorf, 1999.

DVWK : Numerische Modelle von Flüssen, Seen und Küstengewässern. Schriften 127, Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn, 1999.

Gresho, P.M.; R.L. Sani: Incompressible Flow and the Finite Element Method. Wiley, Chichester, 1998.

Lippert, K.: Analyse von Turbulenzmechanismen in naturnahen Fließgewässern und ihre mathematische Formulierung für hydrodynamische Modelle. Arbeitsbereich Wasserbau, TU Hamburg-Harburg, Dissertation, eingereicht 2003.

Nezu, I.; H. Nakagawa: Turbulence in Open-Channel Flows. IAHR-AIRH Monograph, A.A. Balkema, Rotterdam, 1993.

Abb. 5:  
Zeitgemittelte  
Geschwindigkeits-  
verteilung basierend  
auf ADCP-Messungen

Abb. 6:  
Laterale Verteilung der  
vertikalen Schubspannung  
gemessen mit ADV

# Hydrodynamische Untersuchungen von Wasserversorgungssystemen in Flugzeugen mit innovativer Druckbeaufschlagung und Desinfektion

## 1. Problemstellung und Zielsetzung

Durch die Novellierung der Trinkwasserverordnung müssen in Zukunft alle Wasserversorgungssysteme in öffentlichen Beförderungsmitteln wie Flugzeug und Bahn Wasser in Trinkwasserqualität bereitstellen. Aus diesem Grund besteht bei den Fluggesellschaften großes Interesse an Desinfektionsmodulen zur Nachrüstung bestehender und zur Ausrüstung neuer Systeme in Flugzeugen. Im Zusammenhang mit der Entwicklung einer wirkungsvollen Wasserdesinfektion sind generelle Untersuchungen zur konstruktiven Verbesserung der bestehenden Wassersysteme notwendig. Dazu gehört z.B. die Entwicklung einer effizienten innovativen Druckbeaufschlagung.

Diese basiert bei heutigen Flugzeugwassersystemen auf einer Kombination aus der sogenannten Triebwerks-Zapfluft (bleed air) und Druckluft, die von Kompressoren erzeugt wird. Während des Fluges erfolgt die Druckbeaufschlagung hauptsächlich durch Zapfluft. Die Kompressoren bedrücken das Wassersystem wenn das Flugzeug am Boden steht und unterstützen die Druckbeaufschlagung während der Flugphasen. Diese Technik hat einige Nachteile: Die Führung der Zapfluft vom Triebwerk zum Wassertank erfordert ein aufwendiges System aus Rohrleitungen und Regelarmaturen. Die Armaturen müssen den Druck reduzieren und ggf. Kompressoren hinzuschalten. Zudem muss die einwandfreie Funktion über ein

breites Temperaturspektrum gewährleistet sein. Erfahrungsgemäß verursachen die dafür notwendigen Geräte häufig Schwierigkeiten, welche die Zuverlässigkeit des Druckbeaufschlagungssystems beeinträchtigen. Ein dynamisch anpassbares Kompressorsystem soll die aufwendigen auf „bleed air“ basierenden Druckbeaufschlagungssysteme in Zukunft ersetzen. Dieser vereinfachte Aufbau ist vorteilhafter und zuverlässiger, allerdings zur Zeit noch nicht Stand der Technik im Flugzeugbau.

Im Rahmen des „Hamburger Luftfahrtforschungs- und Technologieprogramms“ des „Amtes für Wirtschaft und Landwirtschaft“ wurde das vorliegende Projekt initiiert. In Zusammenarbeit mit der MAN-Technologie AG wird im Arbeitsbereich Wasserbau der Technischen Universität Hamburg-Harburg ein innovatives Druckbeaufschlagungssystem entwickelt. Dazu sind die im folgenden aufgeführten Maßnahmen notwendig:

- experimentelle Untersuchungen zur Leistungsbestimmung verschiedener Kompressoren,
- Aufbau und Betrieb eines Systemteststandes zur Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen den betrachteten Subsystemen und zur Kalibrierung eines numerischen Modells,
- Entwicklung eines numerischen Modells für eine realitätsnahe Wiedergabe der dynamischen Interaktionsprozesse zwischen Kompressor und Wasserversorgungsnetz.

Das numerische Modell soll die 1-d Hydraulik eines Wassersystems mit der Gasdynamik der Druckbeaufschlagung gekoppelt berechnen. Dadurch lassen sich Schaltzyklen der Kompressoren sowie die Zeitverläufe des Druckes im System während eines fiktiven Fluges sekundenschnell berechnen bzw. simulieren. Das numerische Werkzeug wird dazu dienen das Wasserversorgungssystem sowie die Steuerung der Druckbeaufschlagung zu optimieren.

## 2. Numerisches Modell

### 2.1. Die Differentialgleichungen

Die Grundlage für die Berechnung eindimensionaler instationärer Strömungen in Druckrohrleitungen bildet ein Differentialgleichungssystem, welches aus der Bewegungsgleichung auf Basis einer Impulsbilanz und einer Kontinuitätsgleichung besteht. Die Bewegungsgleichung beschreibt das Zusammenwirken von Trägheits-, Massen-, Druck- und Reibungskräften an einer infinitesimalen Rohrlamelle, die Kontinuitätsgleichung erfasst die Massentransportbilanz eines Volumenelementes:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{Q}{A} \frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{Q}{A} \frac{\partial A}{\partial p} \frac{\partial p}{\partial t} - \frac{Q^2}{A^2} \frac{\partial A}{\partial x} + \frac{A}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + gA \frac{\partial z}{\partial x} + gAS_p = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{A}{\rho a^2} \left[ \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{Q}{A} \frac{\partial p}{\partial x} \right] = 0$$

### 2.2. Der Reibungsansatz

Der Term  $S_f$  der Bewegungsgleichung, welcher das Reibungsgefälle beschreibt, soll mit dem Ansatz von DARCY-WEISBACH für Rohre mit kreisrundem Querschnitt beschrieben werden:

$$S_f = \frac{\lambda \cdot Q|Q|}{d \cdot A^2 g}$$

Dafür ist es notwendig den Widerstandsbeiwert  $\lambda$  zu bestimmen. Hierfür wird ein Ansatz nach ZANKE verwendet, der den Widerstandsbeiwert als stetig differenzierbare Funktion sowohl für laminare und turbulente Fließverhältnisse, als auch für den Übergangsbereich darstellt.

$$\lambda = (1 - \alpha) \left[ \frac{64}{Re} \right] + \alpha \left[ -2 \log \left( 2,7 \frac{(\log(Re))^{12}}{Re} + \frac{k_s/d}{3,71} \right) \right]^2$$

Berechnungen mit diesem quasi-stationären Widerstandsterm liefern jedoch nur befriedigende Ergebnisse für langsame Veränderungen der Zustandsgrößen, bei denen die Wandreibung ein quasi-stationäres Verhalten aufweist. Experimente haben gezeigt, dass bei schnellen Veränderungen größere Diskrepanzen zwischen gemessenen und berechneten Größen auftreten, welche auf den quasi-stationären Widerstandsansatz zurückzuführen sind.

Für die Modellierung eines instationären Widerstandsbeiwertes gibt es verschiedene Ansätze. ZIELKE leitete analytisch einen instationären Term für laminare

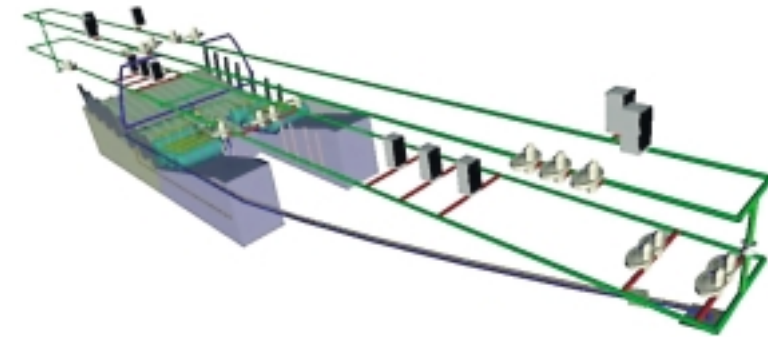
Strömung her, in dem gewichtete Geschwindigkeitsänderungen in den instationären Anteil des Widerstandsbeiwertes eingehen. BRUNONE entwickelte ein Modell, welches den instationären Anteil des Widerstandsbeiwertes in Beziehung zur zeitlichen Geschwindigkeitsänderung  $\frac{\partial v}{\partial t}$  und zur konvektiven Änderung  $\frac{\partial v}{\partial x}$  stellt. Dieses Modell weist jedoch Schwachstellen auf, da beispielsweise das Schließen eines Ventils am oberen Ende einer Leitung nicht korrekt wiedergegeben wird. Für das vorliegende Problem soll ein erweiterter Ansatz des instationären Widerstandsbeiwertes  $\lambda_{inst}$  des BRUNONE-Modells nach PEZZINGA verwendet werden:

$$\lambda_{inst} = \lambda_{stat} + \frac{2kd}{v|v|} \left( \frac{\partial v}{\partial t} + a \cdot \text{sgn}(v) \cdot \left| \frac{\partial v}{\partial x} \right| \right)$$

### 2.3 Lösen des Differentialgleichungssystems mit der Methode der finiten Elemente

Für die Berechnung instationärer Druckrohrströmungen in Rohrnetzen wird die Methode der finiten Elemente nach dem Verfahren gewichteter Residuen nach GALERKIN verwendet.

Als unbekannte Lösungsvariablen sind der Druck  $p_{k,i}$  und der Durchfluss  $Q_{k,i}$  für jeden Knoten gesucht. Für die Berechnung von Strömungen in Rohrnetzen müssen jedoch Modifikationen an der Verfahrensvorschrift vorgenommen werden, da der Durchfluss an Knoten, an denen mehr als zwei Stränge zusammen-



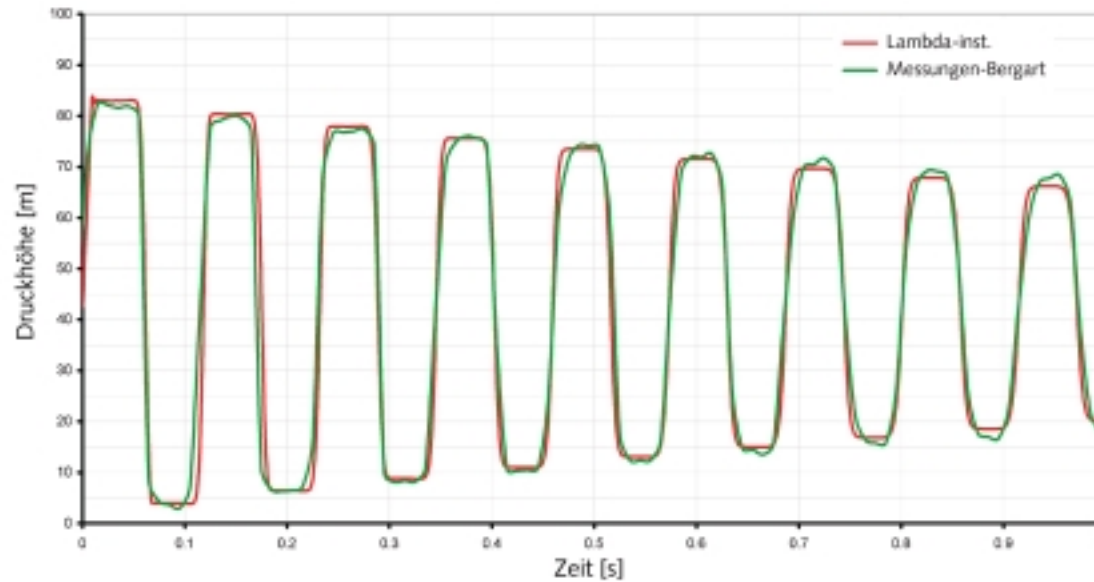
Wasserversorgungssystem eines Großraumflugzeuges

treffen, eine Unstetigkeitsstelle aufweist und somit nicht über die Lösung der Differentialgleichung bestimmt werden kann. Vielmehr müssen an diesen Stellen Knotenbedingungen aufgestellt und in das Gleichungssystem integriert werden.

Eine weitere Besonderheit bei der Wahl des Lösungsverfahrens stellt die Nichtlinearität der Bewegungsgleichung infolge des Reibungsterms dar. Für die Lösung des sich aus der finiten Elemente Formulierung ergebenden Gleichungssystems wird das NEWTON-RAPHSON-Verfahren verwendet, welches sich in der folgenden Form darstellen lässt:

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_{11}} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_{m1}} \\ \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_{1n}} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial x_{mn}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{11+1} - x_{11} \\ x_{21+1} - x_{21} \\ \vdots \\ x_{n-11+1} - x_{n-11} \\ x_{n1+1} - x_{n1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} f_{11} \\ f_{21} \\ \vdots \\ f_{n-11} \\ f_{n1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Vergleich der Berechnungsergebnisse mit Messungen von BERGANT



Vergleich der Berechnungsergebnisse bei Ansatz eines quasi-stationären und eines instationären Widerstandsbeiwertes

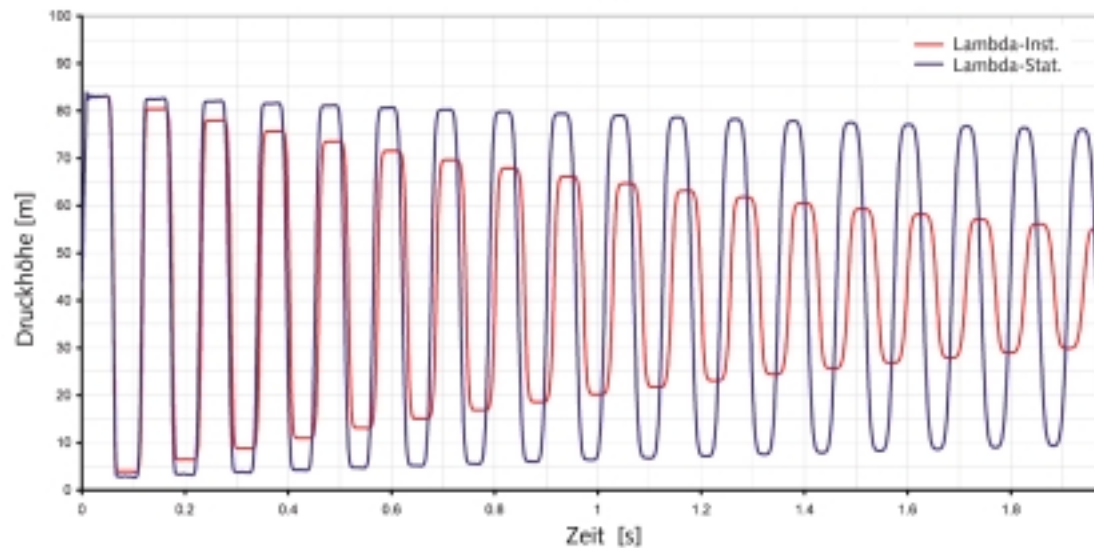


Abb. (rechts):  
Versuchsaufbau zur  
Messung von Druckstößen  
nach BERGANT

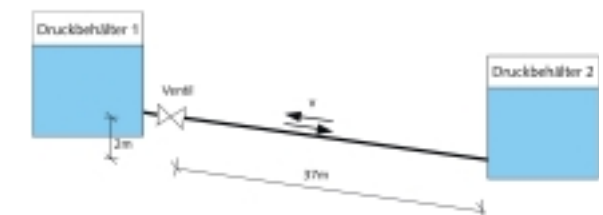
#### 2.4. Berechnungsbeispiel: Simulation von Druckstößen

Druckstöße treten beispielsweise nach dem schnellen Schließen oder Öffnen von Ventilen sowie beim An- oder Ausschalten von Pumpen auf. Ursache ist die Massenträgheit des Fluids.

Bei Druckstößen schwingt die Wassermasse im Rohr, wodurch Druckschwankungen ausgelöst werden. Die Schwingungen gehen aufgrund des Reibungsverhaltens mit der Zeit gegen Null. Für das Beispiel eines Druckstoßes sollen Berechnungsergebnisse des numerischen Modells mit Versuchsmessungen nach BERGANT verglichen werden.

Es wird dabei eine 37 m lange Kupferleitung mit einem Durchmesser von 22 mm und einer Wanddicke von 1,6 mm betrachtet, an deren oberen Ende ein schnell schließendes Ventil angeordnet ist. Bei einer eingestellten Fließgeschwindigkeit von 0,3 m/s wird das Ventil in 0,009 Sekunden geschlossen.

Die numerische Berechnung erfolgt dabei mit dem Ansatz eines instationären Widerstandsbeiwertes. Der





Vergleich der Druckänderung am Ventil mit den Versuchsergebnissen von BERGANT zeigt eine gute Übereinstimmung.

Hingegen treten bei der Druckstoßberechnung bei dem Ansatz eines quasi-stationären Widerstandsbeiwertes große Abweichungen der Berechnungsergebnisse von den Versuchsmessungen auf. Ein Vergleich der Berechnung mit einem quasi-stationären und einem instationären Widerstandsbeiwert verdeutlicht, dass für den ersten Fall die Amplitude weit geringer gedämpft wird und sich auch die Frequenz verändert.

### 3. Versuchseinrichtungen

Zur Kalibrierung und Validierung des numerischen Modells ist ein physikalisches Modell unerlässlich. Auch zur Auswahl besonders geeigneter Systemkomponenten (Wassertanks, Rohrleitungen, Kompressoren) ist der Aufbau von Testständen notwendig. Daher werden für die geplanten Untersuchungen die im folgenden beschriebenen Teststände benutzt.

#### 3.1 Kompressorteststand

Ein Ziel des Forschungsprojektes ist die Entwicklung eines innovativen Druckbeaufschlagungssystems. Dabei soll ein dynamisch anpassbares Kompressorsystem die bisher weit verbreitete, aber aufwendige „bleed air“-Druckbeaufschlagung ersetzen. Ein breit

gefächertes Sortiment an Kompressoren ist verfügbar. Die Kompressoren unterscheiden sich nicht nur durch Leistung und Baugröße voneinander, sondern auch durch das Funktionsprinzip. Es stehen beispielsweise Kolbenkompressoren, Scroll-Kompressoren oder auch Metal-Bellows-Kompressoren zur Verfügung. Um die konstruktionsbedingte Charakteristik, die Leistungsfähigkeit unter unterschiedlichen Randbedingungen und somit die Eignung für das zu entwickelnde Druckbeaufschlagungssystem beurteilen zu können, ist ein Leistungsprüfstand für Kompressoren entwickelt und gebaut worden.

Im Versuchsbetrieb „saugen“ die Kompressoren Luft aus einem druckgeregelten Tank und geben die verdichtete Luft an einen zweiten Tank wieder ab. Mit Hilfe der Druckregelungen beider Tanks lassen sich unterschiedliche Betriebsbedingungen simulieren. Während des Testszenarios werden Druck, Temperatur und Luftdurchsatz vor und hinter dem Kompressor kontinuierlich über ein Messdatenerfassungssystem aufgezeichnet. Anhand der gewonnenen Daten kann die Eignung des jeweiligen Kompressors beurteilt werden.

An die im Teststand verwendeten Durchflussmesser werden besondere Anforderungen gestellt: eine sehr hohe Messgenauigkeit bei großer Messspanne und geringer Temperaturabhängigkeit des Messverfahrens. Diese Eigenschaften konnten von der Großzahl der angebotenen Geräte nicht erfüllt werden. Letztendlich fiel die Entscheidung auf einen – im Laboreinsatz eher



weniger verbreiteten – Drehkolbengaszähler. Mit diesem Durchflussmesser kann der Luftdurchsatz im echten volumetrischen Messverfahren ohne Berücksichtigung etwaiger Abhängigkeiten von Betriebsdruck und -temperatur bestimmt werden.

#### 3.2 Systemteststand

Der Systemteststand bildet ein Flugzeugwassersystem realitätsnah mit Druckbeaufschlagung und Desinfektion aber ohne „bleed air“ nach. Er wird für folgende Untersuchungen eingesetzt:

**Kompressorteststand in den Laborräumen des Arbeitsbereichs Wasserbau**

- Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen den Komponenten des neu entwickelten Druckbeaufschlagungssystems,
- Simulation des Druckbeaufschlagungsprozesses am Boden und während des Fluges,
- Simulation von Langzeitflügen mit realitätsnahen Wasserverbrauchsprofilen zur Überprüfung der Wirkungsweise verschiedener Desinfektionssysteme sowie zur Kalibrierung und Validierung des numerischen Modells.

Um die für die Kalibrierung benötigten Messwerte zeitlich hoch aufgelöst aufzuzeichnen, wird auch bei diesem Teststand ein Messdatenerfassungssystem verwendet. Dieses ist in einem herkömmlichen PC implementiert, der auch für die Steuerung der Wasserverbraucher, der Kompressoren, des Desinfektionssystems und der Energieversorgung verwendet wird.

#### 4. Ausblick

Mit dem numerischen Werkzeug können instationäre Simulationen mit einer hohen zeitlichen Auflösung durchgeführt werden. Damit kann der Wasserverbrauch in Flugzeugen besonders realitätsnah simuliert werden, wodurch eine geeignete und zuverlässige Systemlösung für die Druckbeaufschlagung von Luftfahrtwassersystemen erwartet wird. Wenn sich das Konzept

im technischen Einsatz als erfolgreich erweist, ist das Potenzial dieser innovativen Lösung auf existierende und vorgesehene Luftfahrtprogramme anwendbar.

Außerdem lässt sich das numerische Modell einfach auf andere Anwendungsgebiete umstellen und kann beispielsweise bei Großabnehmern von Trinkwasser wie z.B. Großbauten mit ausgedehnten und stark vermaschten Wasserversorgungsnetzen sowie Industriebetrieben Verwendung finden.

#### Nomenklatur

x	Ortskoordinate [m]
t	Zeit [s]
Q	Durchfluss [m <sup>3</sup> /s]
p	Druck [N/m <sup>2</sup> ]
A	Querschnittsfläche [m <sup>2</sup> ]
ρ	Dichte [kg/m <sup>3</sup> ]
g	Erdbeschleunigung [m/s <sup>2</sup> ]
z	Höhenkoordinate [m]
S <sub>F</sub>	Reibungsgefälle [-]
a	Wellenfortpflanzungsgeschwindigkeit [m/s]
d	Rohrdurchmesser [m]
k	BRUNONES Reibungskoeffizient [-]
k <sub>S</sub>	Wandrauheit [m]
λ	quasi-stationärer Widerstandsbeiwert [-]
λ <sub>inst</sub>	instationärer Widerstandsbeiwert [-]
v	Fließgeschwindigkeit [m/s]
Re	Reynoldszahl [-]
f <sub>i</sub>	Funktion der Newton-Raphson-Formulierung
x <sub>i</sub>	Variable der Newton-Raphson-Formulierung

#### Literatur

Bergant A., Simpson A.R., Vitkovsky J.: Developments in unsteady pipe flow friction modeling, Journal of Hydraulic Research, Vol. 39, No. 3, pp. 249-257, 2001

Brunone B., Golia U.M., Greco M.: Some remarks on the momentum equation for fast transients, Int. Meeting on Hydraulic Transients with Column Separation, 9th Round Table, IAHR, Valencia, Spain, pp. 201-209, 1991

Chaudhry M. H.: Applied Hydraulic Transients, Second Edition, Van Nostrand Reinhold Company Inc., New York, 1987

Larock B. E., Jeppson R. W., Watters G. Z.: Hydraulics of Pipeline Systems, CRC Press, Boca Raton/Lond./N. Y./Washingt. D.C., 2000

Martin H., Pohl R., u.a.: Technische Hydromechanik Bd 4, Hydraulische u. numerische Modelle, 1. Aufl., Verlag Bauwesen, Berlin, 2000

Penzinga G.: Discussion: „Developments in unsteady pipe flow friction modelling“, Journal of Hydraulic Research, Vol. 40, No. 5, p. 650, 2002

Wylie E. B., Streeter V. L., Suo L.: Fluid Transients in Systems, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1993

Zanke U. C. E.: Hydromechanik der Gerinne und Küstengewässer: Für Bauingenieure, Umwelt- und Geowissenschaftler, Parey Verlag im Blackwell Wissenschafts-Verlag GmbH, Berlin/Wien, 2002

Zielke W.: Elektronische Berechnung von Rohr- und Gerinneströmungen, Ein Kompendium computerorientierter Verfahren zur Berechnung stationärer und instationärer Strömungen in Rohrleitungen und Rohrnetzen, Flüssen und Kanälen, Erich Schmidt Verlag, Berlin / Bielefeld / München, 1974



## 1 Einleitung

Es ist Sommer in Deutschland, der Sommer des Jahres 2003 mit südlichen Temperaturen, viel Sonne und dem Gefühl, Italien hätte sich bis an Nord- und Ostsee ausgedehnt. Vom Rhein bis an die Elbe werden sinkenden Pegelstände gemeldet, die Niedrigwasserstände beeinträchtigen zunehmend die Schifffahrt. Auf den Feldern vertrocknet die Heuernte und auch der Getreide- und Gemüseanbau leidet unter starkem Wassermangel.

Aus dieser Perspektive wird es schwer, den Blick zurück zu richten auf die Ereignisse des Sommers 2002: auf sommerliche Starkniederschläge folgt extremes Hochwasser, die Stadt Dresden und mit ihr viele andere Orte versinken in der schmutzigen Flut. – Viele der damals entstandenen Schäden sind inzwischen behoben, an anderer Stelle wird intensiv an der Wiederherstellung des Normalzustandes gearbeitet. Immer wieder erscheinen Berichte, in denen die Fortschritte und Veränderungen vorgestellt werden. Bilder der wieder hergestellten Straßenzüge und Ortslagen, den Darstellungen der Verwüstungen gegenübergestellt, zeigen idyllische Szenerien. Der Eindruck von Verbesserungen stellt sich ein, der Blick ist nach vorwärts gerichtet. Das Leben verläuft immer mehr in normalen Bahnen und die Schrecken des Elbehochwassers 2002 verblassen, nach nur einem Jahr.

Mit den Erfahrungen und Folgen verschiedener vergangener Hochwasserereignisse im Bewusstsein<sup>1</sup>

## Überflutungssituation der Stör in der Nähe von Kellinghusen, Februar 2002

© Kreisfeuerwehrverband Steinburg

<sup>1</sup> Zum Beispiel das Hochwasserereignis des Jahres 1999 in Augsburg-Pfersee: Bei diesem Hochwasserereignis der Wertach nahmen die Fluten den gleichen Weg, über den sie bei einem Ereignis 30 Jahre zuvor abgeflossen waren. Die Situation konnte also erwartet werden und trotzdem war man nicht darauf vorbereitet. Hoher Sachschaden und lebensbedrohliche Situationen für die Betroffenen waren die Folge. (In: Schadenanalyse und Schadenverminderung im Siedlungsbereich, T.R. Geissler, E. Pasche, TU Hamburg-Harburg 2001.)



### Blick auf den Zwinger in Dresden im Flutsummer 2002 und derselbe Blick nach einem Jahr

© Greenpeace



<sup>2</sup> IKSE: Internationale Kommission zum Schutz der Elbe

<sup>3</sup> Ein herausragendes Beispiel stellen die Geschehnisse in der sächsischen Gemeinde Röderau dar. Hier wurde ein im Überflutungsgebiet genehmigtes Siedlungs- und Gewerbegebiet nach der Flut an gleicher Stelle wieder aufgebaut. Danach folgte der Beschluss zur Umsiedlung. (Quelle: Spiegel Online 4. August 2003)

schweift der Blick in die Zukunft und es stellt sich die Frage, was getan werden kann, um eine Wiederholung der Katastrophe an der Elbe zu verhindern, um das Bewusstsein der Gefährdung lebendig zu halten, um eine Umsetzung der am aktuellen Erleben der Überflutungen gewonnenen Erkenntnisse zu ermöglichen. Es gibt Initiativen, die verschiedenen Fragen zur Entschär-

fung der Hochwassergefahr nachgehen und das Bewusstsein der Gefährdung lebendig halten. Die neuerlich ausgesprochene Feststellung, dass kein Hochwasserschutz absolute Sicherheit gewährt und die jüngst von der IKSE<sup>2</sup> auch für die Elbe geforderte Freigabe von gewässernahen Fläche zur Überflutung entstammen allerdings nicht der neueren Forschung, son-

dern bilden in Fachkreisen die Grundlage aktueller Überlegungen. Dass diese und ähnliche Forderungen trotzdem wie aktuelle Erkenntnisse durch die Presse an die Öffentlichkeit kommen, zeigt die Diskrepanz zwischen fachlicher Erkenntnis und allgemein verfügbarem Wissen. Dadurch bleiben vor allem in Bezug auf eine konsequente Umsetzung dieser Erkenntnisse noch viele Wünsche offen.

Leider finden sich unter den Geschichten, die das Hochwasser schrieb, auch immer wieder Fälle der wesentlichen Missachtung bekannter Hochwassergefahren. Anderen Interessen wird eine höhere Priorität eingeräumt und es kommt erneut zu Ansiedlungen in Überflutungsgebieten. In vielen Fällen sind die Betroffenen aber nicht über die latente Gefahr informiert<sup>3</sup>. Die Voraussetzung wird geschaffen für weitere Überflutungen mit katastrophalen Folgen.

## 2 Veranlassung

In vielen Schilderungen finden sich direkt und indirekt verschiedene Ursachen für die immer wieder durch Hochwasserereignisse hervorgerufenen hohen Schäden. Nachfolgend werden einige Aspekte herausgestellt, an denen die Motivation zur Untersuchung der „Methoden und Möglichkeiten einer nachhaltigen Hochwasservorsorge“ ersichtlich wird.



### Hochwasserschutz = Sicherheit?

Hochwasserschutzanlagen suggerieren Sicherheit. Es gibt aber keinen absoluten Schutz vor Überflutungen. Jede Hochwasserbemessungsgrenze orientiert sich an einem statistischen Wert des Wasserstandes, der irgendwann überschritten wird. Damit bedeutet die Schaffung von Werten in so gesicherten Flächen immer eine Bildung von Schadenpotential. Und es beginnt häufig eine Entwicklung, die in Stufen zu immer höheren Schadenpotentialen führt. Durch höhere Schutzziele steigt die scheinbare Sicherheit, das Bewusstsein der Gefahr schwindet, die installierten Werte werden erhöht.

Neben dem Sachschadenpotential steigt mit größeren Stauhöhen und abnehmendem Gefahrenbewusstsein die Gefährdung der Menschen hinter den Deichen. Es fehlen die Kenntnisse adäquater Vorbereitung und situationsgemäßen Verhaltens im Überflutungsfall. Lebensbedrohliche Situationen können die Folge sein.

### Verschärfung der Hochwassergefahr

Hochwasserschutzanlagen bewirken eine Verschärfung der Gefahr, vor der sie schützen sollen.

Die Notwendigkeit eines Schutzes gegen Überflutungen bedeutet, dass sich das zu schützende Gut in einem Bereich befindet, der bei bestimmten Abflusssituationen als Teil des Gewässers anzusehen ist. Das Errichten eines Schutzes, der einen Teil der überflu-

tungsgefährdeten Fläche gegen das Wasser abgrenzt, führt damit zur Einengung des Gewässers. Die Folge ist, in abgekürzter Form<sup>4</sup>, eine Erhöhung der Wasserstände ablaufender Hochwasserwellen. Somit führt die Einrichtung oder Erhöhung des Hochwasserschutzes zur Erhöhung der Hochwasserpegelstände. Leidtragende sind damit in den meisten Fällen die Unterlieger.

Damit ist keine neue Erkenntnis ausgesprochen, sondern nur ein Zwiespalt aufgezeigt, der sich aus der Schutzwürdigkeit eines in Überflutungsgebieten vorhandenen Wertepotentials ergibt und der zu dem oben dargestellten Kreislauf führt, ja diesen noch verschärft. In diesem Zusammenhang steht auch die Forderung, abgedeichte, ehemalige Überflutungsflächen wieder frei zu geben und in Form von Hochwasserrauen oder Poldern als Retentionsflächen zur Verfügung zu stellen. Was aber geschieht mit den auf diesen Flächen befindlichen Werten, die den Hochwasserschutz veranlassen haben?

### Wissen, was kommt

Menschen können sich nur gegen Gefahren schützen, die sie einzuschätzen vermögen und sie können sich in gefährdenden Situationen nur adäquat verhalten, wenn sie die Gefährdung erkennen.

In Köln weiß man inzwischen, was geschieht, wenn der Rhein sein Bett verlässt und durch die Strassen fließt. Zwei vergleichbare, extreme Hochwasserereignisse in kurzer Folge in den Jahren 1993 und 1995

Haushalte	Schaden je Haushalt in EUR		Reduktion je Haushalt	
	1993	1995	Absolut (EUR)	% von 1993
Alle	21.014,10	6.306,27	14.707,82	70%
Bis 1993 keine Hochwassererfahrung	28.191,10	8.271,68	19.919,42	71%
Hochwassererfahrung vor kurzer Zeit	2.572,82	1.982,28	590,03	23%

haben das Bewusstsein geschärft. Viele Betroffene waren bei der „Wiederholung“ vorbereitet, wussten sich und ihren Besitz zu schützen und konnten auf diese Weise den Schaden deutlich reduzieren, wie die Tabelle zeigt. Aus Einzelfallschilderungen geht hervor, dass nach dem Ereignis 1993 vielfach privat initiierte Objektschutzmaßnahmen umgesetzt wurden, die dann 1995 gegriffen haben<sup>5</sup>. An der Elbe war dieses Wissen im Jahre 2002 nicht vorhanden. Die Menschen wurden von den Fluten überraschend und größtenteils unvorbereitet getroffen. Im nachhinein zeigt sich aber vieler Orten, dass man um die Gefahr hätte wissen können. Dieses Bewusstsein, diese Situationskenntnis, die in Köln aus dem eigenen Erleben entstand, ist ein zentraler Aspekt einer wirkungsvollen Hochwasservorsorge. Allerdings verliert das so gewonnene Wissen mit der Zeit an Präsenz, Vorsichts- und Vorsorgemaßnahmen

<sup>4</sup> abgekürzt insofern, als viele Aspekte der Siedlungstätigkeit schon in den Einzugsgebieten der Gewässer zu einer Erhöhung der Hochwasserscheitelwasserstände beitragen. An erster Stelle ist hier die Flächenversiegelung zu nennen, durch die das Niederschlagswasser auf kürzestem Weg der Kanalisation und dem nächsten Gewässer zugeführt wird. Es kommt zu einer Vergrößerung des abfließenden Volumens und zu einer Beschleunigung.

<sup>5</sup> Aus: *Schadenanalyse und Schadenverminderung im Siedlungsbereich*, T.R. Geissler, E. Pasche, Technische Universität Hamburg-Harburg 2001

Pegellatte in der Elbe, Dresden.  
Mit Marken gekennzeichnet: Hochwasser im August 2002 und sommerlicher Wasserstand ein Jahr danach.

© Greenpeace



werden vernachlässigt, das Bewusstsein verblasst. Tritt die Hochwasserbetroffenheit sehr selten ein, so kann der gewonnene Vorteil zwischen zwei Ereignissen völlig verschwinden. Die nächste Überflutung trifft erneut auf eine unvorbereitete Situation und bewirkt hohe Schäden. Das Ereignis in Augsburg<sup>1</sup> legt davon Zeugnis ab.

#### Und wer zahlt?

Ein garantierter Hochwasserschutz, ausgewiesene Baugebiete und eine behördliche Baugenehmigung führen dazu, dass die Verantwortung für die Sicherheit bei den Kommunen, Städten oder Gemeinden gesehen wird. Diese Annahme ist verständlich, führt aber im Schadensfall dazu, dass auch der Schadensausgleich von diesen Stellen erwartet wird.

Häufig kommt der Staat über die Einrichtung von Sonderfonds auch für Teile des Schadens auf, teilweise sogar, ohne Nachweise über die Schadenshöhe zu verlangen. Planmäßig sind diese Ausgaben nicht und belasten daher den jeweiligen Gesamthaushalt. Außerdem stützen sie die oben genannte Annahme und dämpfen die Motivation zum Handeln.

Versicherbar sind Hochwasserschäden heute kaum, wenn Prämien zugrunde gelegt werden, wie sie in anderen Bereichen der Naturgefahren-Versicherungen zu finden sind. Zurecht, wie der Anteil der versicherten Schäden des Elbehochwassers gezeigt hat: die betroffenen Versicherungen tragen schwer an der finanziel-

len Last. Unter normalen Bedingungen<sup>6</sup> ist der Versicherungsfall (=Schadenfall) unter einem bestimmten Zeithorizont als sicheres Ereignis anzusehen, was generell gegen eine Versicherbarkeit spricht.

So bleiben die Schäden ungedeckt und müssen von den Betroffenen finanziert werden. In vielen Fällen führt dies zu bedrohlichen finanziellen Belastungen.

#### Noch ein Jahrhundert-Hochwasser

Naturereignisse werden nach geschichtlichen Aufzeichnungen auf Grund ihrer Stärke oder Schwere statistisch einer bestimmten Wahrscheinlichkeit zugeordnet. Besagt diese Wahrscheinlichkeit, das ein Ereignis höchstens einmal in hundert Jahren zu erwarten ist, so wird es als Jahrhundertereignis bezeichnet. Heute wird diese Bezeichnung außerdem als Synonym für katastrophale Schäden verwendet. Nun scheinen sich in letzter Zeit die Jahrhundert-Ereignisse auf allen Gebieten zu häufen. Niederschläge, Stürme, Hochwasser werden immer öfter den rekordverdächtigen Größenordnungen zugeordnet. Ob diese Häufung tatsächlich einer Abweichung von den statistischen Auswertungen entspricht, ob sie aufgrund der Informationsverbreitung über die Medien so wahrgenommen wird oder ob sie überhaupt nur einem ungenauen Sprachgebrauch entspringt, sei dahingestellt<sup>7</sup>.

Aufmerksam machen sollte dabei aber, dass im Zusammenhang mit Klimaveränderungen immer auch die Zunahme von extremen Naturereignissen genannt

<sup>6</sup> d.h. eine Versicherung wird gewünscht, weil die Gefahr der Hochwasserbetroffenheit besteht.

<sup>7</sup> Schließlich beinhaltet eine Wahrscheinlichkeit von 0,01 auch die Möglichkeit eines mehrmaligen Auftretens oder völligen Ausbleibens dieses Ereignisses innerhalb einer Zeitspanne von 100 Jahren

wird. Muss die statistische Einordnung von gefährdenden Naturereignissen zu Bemessungszwecken einmal grundlegend überprüft und vielleicht in Frage gestellt werden?

### 3 Zielsetzung

Ein zentrales Motiv des Hochwasserschutzes ist die Verhinderung von Schäden. Dabei richtete sich der Blick in der Vergangenheit hauptsächlich auf die von Menschen installierten Werte wie Gebäude und Infrastruktureinrichtungen und die nutzbaren Güter land- und forstwirtschaftlicher Flächen. Die Belange des Gewässers und die Folgen der Eingriffe in den gesamten Naturraum waren nicht Gegenstand der Betrachtung. Mit dem Anspruch der Nachhaltigkeit<sup>8</sup> im Umgang mit den Lebensräumen ist auch bei der Verhütung bzw. Begrenzung von Hochwasserschäden eine Neuorientierung erforderlich. Die Handlungsmaxime, die in der Vergangenheit in ihrer Konsequenz häufig als „naturraumfeindlich“ zu bezeichnen war, kann mit diesem Anspruch nur „mit der Natur für den Menschen“ heißen. Damit muss die Motivation der Schadensverhütung das Gewässer und den Naturraum als Zielbereiche mit einbeziehen. Unter diesem Gesichtspunkt entsprechen Maßnahmen, die zu einer Verschärfung der Situation und zu einer Zuspitzung der Bedrohung führen, wie der Kreislauf aus Schaden, Schutzerhöhung und



Hochwasserverschärfung, nicht der Handlungsmaxime. Im klassischen Begriff des Hochwasserschutzes, bei der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser<sup>9</sup> als „Technischer Hochwasserschutz“ bezeichnet, sind die neuen Aspekte dieser geänderten Zielsetzung nicht enthalten. Für den hier zu gehenden Weg wird daher die Bezeichnung der „Hochwasservorsorge“ gewählt.

Diese umfasst den von der LAWA umrissenen Begriff der „Weitergehenden Hochwasservorsorge<sup>9</sup>“, soll aber auch den „Rückhalt in der Fläche“ bzw. im Gewässer beinhalten, da beide Bereiche eng zusammen gehören. Die „Weitergehende Hochwasservorsorge“ stellt eine Voraussetzung dar, Überflutungsflächen zu erhalten ohne die Hochwasserschäden (in vollem Umfang) in Kauf nehmen zu müssen.



Da im Sinne ganzheitlicher Lösungsansätze beide Bereiche zu betrachten sind, wird in den durchzuführenden Untersuchungen das Augenmerk auf die „Schadensverminderung im Siedlungsbereich“ gerichtet. Die hier gestellte Frage lautet: Auf welche Weise und durch welche Maßnahmen können Hochwasserschäden verhindert oder begrenzt werden, wenn nicht auf den technischen Hochwasserschutz zurück gegriffen werden soll, oder wenn dieser Schutz nicht mehr ausreicht?

1. Wo ist Hochwasservorsorge erforderlich?
2. Was muss/kann geschützt werden?
3. Wie kann der Schutz erfolgen?
4. Wie viel kann der Schutz bewirken?

Diese vier allgemein gehaltenen Fragen stecken das

**Hochwasserschäden!**  
Der Einfluss des Heizöls macht einen Austausch des Mauerwerks erforderlich.

© Ferstl, Neustadt a.d. Donau

<sup>8</sup> Nachhaltige Entwicklung: Die wohl meist genannte Definition einer „Nachhaltige Entwicklung“ ist diejenige der sogenannten Brundtland-Kommission (benannt nach der norwegischen Vorsitzenden der UN-Kommission für Umwelt und Entwicklung, Gro Harlem Brundtland, 1987): „Dauerhafte Entwicklung, die den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen und ihren Lebensstil zu wählen.“

<sup>9</sup> Leitlinien für einen zukunftsweisen Hochwasserschutz, LAWA, Stuttgart 1995

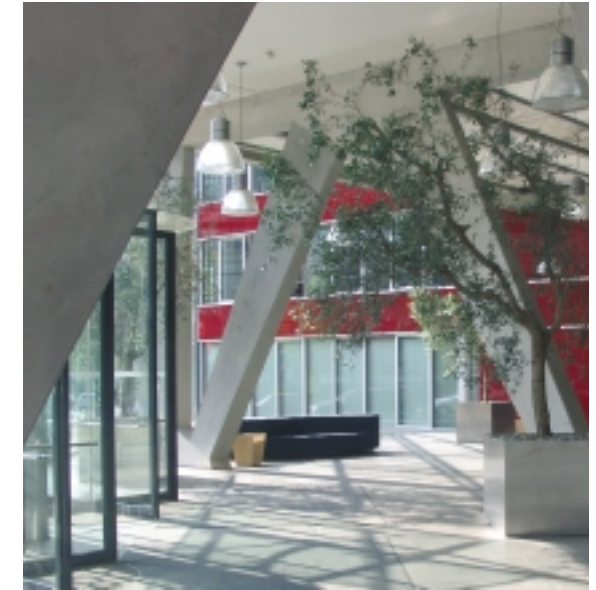


**Angepasste Nutzung!**

Der Überflutungsbereich bleibt frei oder wird in einer Weise genutzt, die im HW-Fall den Schaden gering hält.

Links:  
Parkraum im überflutungsgefährdeten Bereich

Rechst und Mitte:  
Verglaste Empfangshalle im Erdgeschoß



gesamte Untersuchungsgebiet ab. In der genaueren Betrachtung kann und muss jede Frage weiter differenziert werden. Zu einigen Aspekten der im Folgenden genauer aufgeschlüsselten Fragestellungen wurden bereits Untersuchungen durchgeführt, z.T. mit bisher einmaligen Ergebnissen. Es wurde eine Quantifizierung der Wirksamkeit von Maßnahmen der Hochwasservorsorge durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen sowohl das Potential dieser Forschung als auch den weiteren Untersuchungsbedarf auf. Die Quantifizierung der Wirksamkeit stellt eine zentrale Grundlage für die weitergehende integrierte Hochwasservorsorge

dar. Sie muss aber neben der Darstellung des Nutzens auch die Frage nach den Kosten beantworten.

**Wo?**

Überflutungen werden immer wieder, und sogar in hinlänglich als überflutungsgefährdet bekannten Gebieten<sup>10</sup>, als überraschend und nicht erwartet eingestuft. Die erste Voraussetzung für eine wirksame und möglichst flächendeckende Hochwasservorsorge ist daher die eindeutige Information über die Hochwassergefährdung eines jeden Grundstückes. Hierzu ist es erforderlich, dass

- Gefahrenkarten erstellt werden, nicht nur für die großen Flüsse, Seen, die Küste etc, sondern auch für kleinere Flüsse und Bäche. Eine Gefährdung darf an keiner Stelle a priori ausgeschlossen werden,
- die Existenz dieser Karten allgemein bekannt und die Karten oder die darin enthaltenen Informationen jedermann zugänglich sind und
- das für jede Baugenehmigung, zusammen mit der Erteilung der Genehmigung, eine Information zur Überflutungsgefahr erfolgen muss.



Die Erstellung von Gefahrenkarten ist nicht Thema dieser Untersuchungen, vielmehr werden sie als notwendig gefordert und ihre Existenz in der hier umrissenen Art für die weiteren Überlegungen vorausgesetzt.

#### Was?

Welche Werte müssen oder können durch Hochwasservorsorge vor Schäden im Überflutungsfall geschützt werden? Bei genauerer Betrachtung werden unter dieser Frage alle Grundlagen einer Untersuchung zu Methoden und Möglichkeiten der Hochwasservorsorge vereint. Hier ist nicht (nur) eine Zusammenstellung

möglicher Schäden gesucht sondern vielmehr die gesamte Schadensgenese jedes einzelnen Schadenaspektes. Dabei sind Art und Umfang nur zwei Aspekte von vielen. Je gezielter die Möglichkeiten der Vorsorge greifen sollen, desto differenzierter ist die Auswertung der Schadensgenese vorzunehmen.

Zwei Beispiele, zu deren Verständnis nur wenige Worte nötig sind, sollen die Vielschichtigkeit dieser Frage verdeutlichen. Sie zeigen, wie weit die Untersuchungen über beschädigtes Mobiliar und beschädigte Bodenbeläge hinaus gehen und zum Teil in interdisziplinärem Zusammenwirken erfolgen müssen:

- Ein Ölfilm auf dem Wasser kann den Schaden am Gebäude vervielfachen, bis zum Abriss desselben: Für Dichtung und Isolation werden an vielen Stellen Materialien eingesetzt, die nicht resistent gegen Öl sind. Beispiele sind umlaufende Horizontalsperren, aufsteigende Kabelschächte, Trittschalldämmungen etc. Werden diese oft innerhalb tragender Bauteile liegenden Kunststoffe aufgelöst, sind die Folgen beträchtlich. Die Abbildungen auf Seite 57 zeigen eine Situation, bei der aus diesem Grund Teile der Wand ausgewechselt werden mussten.
- Psychische Folgen werden bisher in der Bewertung von Hochwasserschäden selten betrachtet. Sie spielen aber nicht nur bei der Schadensentstehung

und -vermeidung eine Rolle (s.u) sondern auch als Schadensursache. In einem extremen Fall hat die unerwartete Überflutung des neuen Hauses starke und bleibende psychische Beeinträchtigungen bei der Eigentümerin hervorgerufen, die eine seit Jahren andauernde Arbeitsunfähigkeit begründen. Diesen Schaden zu bewerten ist schwierig, fraglos aber hat er eine bedeutende monetäre Komponente, sowohl privat- als auch volkswirtschaftlich.

Hochwasservorsorge beinhaltet neben dem Schutz auch die Möglichkeit einer höheren Resistenz gegen die schädigenden Einwirkungen. Außerdem ist „Hochwasserschaden“ nicht zwangsläufig gleichbedeutend mit „Wasserschaden“. Betriebsunterbrechungen durch überflutete Zufahrtswege oder abgeschnittene Rohstofflieferanten können ebenso eine Hochwasserfolge sein und einen bedeutenden Schaden darstellen. Aus diesem Grund ist es erforderlich den Vorgang der Schädigung zu kennen, um Möglichkeiten zu Verhinderung oder Minderung zu entwickeln.

#### Wie?

Viele Möglichkeiten des Schutzes und der Vorsorge ergeben sich wie von selbst aus dem Erkennen der Gefahr und des entstehenden Schadens. Aus diesem Grund haben Menschen in häufig überfluteten Gegenden vielfach eigene Strategien zum möglichst schadensfreien Leben mit der Bedrohung entwickelt. Bei

**Stahltafel und wasserdichte Fenster mit druckfestem Sicherheitsglas dichten dieses Hamburger Gebäude bei Sturmflut ab. Techniken aus dem Schiffbau im Objektschutz.**

<sup>10</sup> Interviews mit Bezug auf die Hochwasserereignisse 1993 und 1995 in Köln-Rodenkirchen, einem seit langem als gefährdet bekannten Gebiet, ergaben, dass auch hier bei Erteilen einer Baugenehmigung nicht auf die Gefahr hingewiesen wurde. Der Architekt, die Behörden und nicht zuletzt die schon länger ortsansässigen Nachbarn wussten Bescheid. Trotzdem war der Neubau nicht der Hochwassergefahr angepasst. Zu finden in: *Schadenanalyse und Schadenverminderung im Siedlungsbereich*, T.R. Geissler, E. Pasche, Technische Universität Hamburg-Hamburg 2001

Zu erreichen auch bei Sturmflut. In diesen Büros der Hafencity (Hamburg) kann auch bei Sturmflut gearbeitet werden. Der Zugang liegt über dem BHW im 1. OG.



<sup>11</sup>Alle diese Maßnahmen erfordern generell vorlaufende Arbeiten. Auch zum Entfernen des Gebäudeinhaltes müssen Vorarbeiten und Planungen getätigt werden, da ein großer Teil des Gebäudeinhaltes normalerweise nicht oder nur mit größerem Aufwand entfernt werden kann. Hochwasserangepasste Nutzung (d.h. hochwertige Nutzungen nur außerhalb der HW-Grenzen) angepasste Bauweisen und besonders die Installation eines Objektschutzes machen teilweise auch Umbauten erforderlich. Es stehen damit dem Nutzen immer auch Kosten gegenüber. Erläuterungen dazu in: *Schadenanalyse und Schadenverminderung im Siedlungsbereich*, T.R. Geissler, E. Pasche, Technische Universität Hamburg-Harburg 2001.

der Überlegung zum „Wie?“ der Hochwasservorsorge ergeben sich zuerst zwei Fragen:

- Welche Werkzeuge (Möglichkeiten/Maßnahmen) stehen zur Verfügung?
- Wie können die möglichen Werkzeuge wirksam eingesetzt werden?

Bei guter Kenntnis der Werkzeuge und Möglichkeiten lässt sich der wirksame Einsatz in vielen Fällen ableiten. Wie aber kann sichergestellt werden, dass die Betroffenen die Schutzmöglichkeiten kennen, dass sie im Ereignisfall

vorbereitet sind, sich richtig verhalten und in Bezug auf Schadensbegrenzung adäquat handeln?

Ein genauerer Blick auf das eingangs Gesagte weist auf den Weg, der zur Lösung führt. Das eigene Erleben führt zu einer lebendigen Vorstellung, einem Wissen um die Zusammenhänge und Abläufe, das den Betroffenen in die Lage versetzt, richtig zu handeln. Dies ist aber nur der Anfang des Weges, denn es kann nicht als Ergebnis dieser Untersuchung die Aussage stehen, jeder müsse am eigenen Leib erfahren, was eine Überflutung seines Hauses an Folgen bringt. Vor der Frage nach den Werkzeugen der Hochwasservorsorge und

ihrem Einsatz steht damit die Frage, wie dieses Bewusstsein bei den Menschen auch ohne eigenes Erleben geweckt und dann auch lebendig gehalten werden kann. Denn eine weitere Erfahrung zeigt, dass dieses Wissen eine sehr kurze Halbwertszeit hat und mit Ausbleiben der Überflutungen verblasst.

Auf diesem Feld besteht großer Forschungsbedarf. Es muss ein Schwerpunkt interdisziplinärer Untersuchungen zur Hochwasservorsorge sein, Möglichkeiten der Bewusstseinsbildung zu finden und zu entwickeln, welche die Menschen befähigen, ihre Sicherheit weitestgehend in die eigenen Hände zu nehmen. Damit ist



ein weiterer Aspekt der Hochwasservorsorge angesprochen: Mit dem Bewusstsein der Gefahr muss auch das Verständnis der Eigenverantwortlichkeit gefördert werden.

Die Maßnahmen zur Schadensvermeidung oder -verminderung für bestehende oder neu zu errichtende Gebäude reichen vom einfachen Entfernen des Gebäudeinhaltes über eine angepasste Nutzung und Ausstattung bzw. Bauweise bis hin zum Objektschutz, d.h. einer für das Einzelobjekt umgesetzten Hochwasserfreilegung<sup>11</sup>. Die Abbildungen auf Seite 58 zeigen Möglichkeit der Nutzungsanpassung: Das Erdgeschoss weist eine extensive Nutzung auf, als Parkmöglichkeit oder als Eingangs- und Empfangshalle (mit auffahrbarer, bzw. klappbarer Glasfassade im Überflutungsbereich). Auf der folgenden Seite ist eine Möglichkeit der objektbezogenen Hochwasserfreilegung mit Sicherheitsglas und Schotten dargestellt. Insbesondere für Gewerbeobjekte ist eine hochwasserfreie Zuwegung nicht nur praktisch. Wie bereits erläutert, stellt sie einen wichtigen Beitrag zur Schadensminderung dar, zur Vermeidung von Betriebsunterbrechungen (siehe Abbildungen Seite 60).

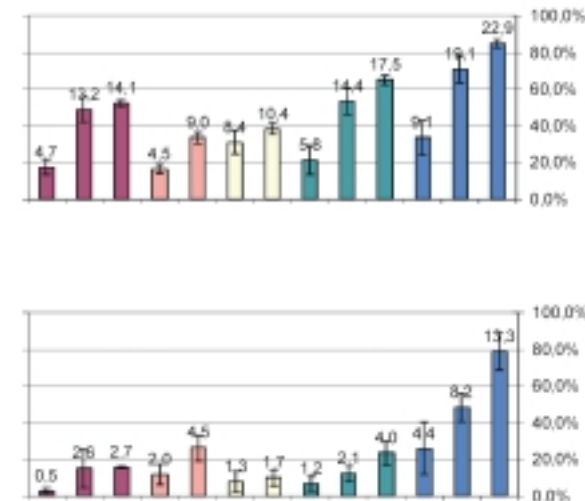
**Wie viel?**

Die Abschätzung der Wirksamkeit ist die zentrale Aufgabenstellung dieser Untersuchung. Aufbauend auf den dargestellten Voraussetzungen soll der Nutzen der Schadensminderung dem für die Hochwasservorsorge

zu erbringenden Einsatz gegenübergestellt werden. Hochwasservorsorge muss als kalkulierbare Maßnahme nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten planbar sein, insbesondere als Zusatz oder Alternative zum technischen Hochwasserschutz. Zur Wirksamkeit sind schon Untersuchungen durchgeführt worden, mit sehr vielversprechenden Ergebnissen. Anhand der Schadenssituationen vergangener Hochwasserereignisse wurden Bewertungen ihrer Vermeidbarkeit durchgeführt. Das Ergebnis stellt das Schadensminderungspotential dar, in Abhängigkeit von Ausgangssituation und durchgeführten Maßnahmen<sup>12</sup>.

Die Diagramme zeigen (in TDM und in % des Gesamtschadens) exemplarisch das mittlere Potential der Schadensminderung für die zwei Ausgangssituationen „Ohne Kenntnis der Hochwassergefahr“ und „Mit langjähriger Erfahrung“. Für den zweiten Fall zeigt sich das deutlich niedrigere Reduktionspotential. Die Erfahrung hat hier den Umgang mit Hochwasser gelehrt. Entsprechend ist auch der mittlere Gesamtschaden deutlich kleiner. Für Bereiche, in denen bisher keine schadensmindernde Hochwasservorsorge betrieben wurde, werden dagegen Reduktionspotentiale zwischen 50% und 80% erwartet.

Nicht jedes Gebäude kann in der hier durchgeführten Weise analysiert werden. Daher ist es erforderlich, von den noch deutlich zu erweiternden exemplarischen Erkenntnissen zu abstrahieren. Diese Abstraktion wird als Standardisierung von Schadensobjekten erfol-



gen, unterschieden nach typischen Merkmalen. Die Darstellung auf Seite 62 zeigt Ausschnitte eines solchen Kataloges von Schadensobjekten.

Eine ebenfalls durchzuführende, abstrahierende Standardisierung der Maßnahmen der Hochwasservorsorge und ihrer Kosten ermöglicht dann eine Analyse der wirtschaftlichen Relevanz der Maßnahmen.

**4 Ausblick**

Einsatzmöglichkeiten für die Ergebnisse dieser Forschung finden sich bei der Stadtplanung und -entwicklung, bei Versicherungen und bei Gewerbe und Indus-

Diagramme: Möglichkeiten der Schadensreduktion in% des Gesamtschadens und absolut. Im Vergleich zwei Situationen: Ohne und mit „Hochwassererfahrung“

<sup>12</sup>Jeweils in steigender Intensität der Durchführung der Maßnahmen: Rot: „Entfernen des Gebäudeinhaltes“, Orange: „Angepasste Innenausstattung“, Gelb: „Angepasste Nutzung“, Grün: „Mobiler HW-Schutz“, Blau: Abdichtung.



Gebäudemodell	Hochwasserszenarien		Mögliche Hochwasserschäden	Mögliche Schaderminderung
<b>Einfamilien- / Mehrfamilienhaus Einzelhaus</b>  Hochwasserhöhe: 0,8 m (nur Grundwasser / HG halb voll)	 ohne Heizblinierung	 oH	nur HG - Grundreinigung / -fröschung / 1/4 Hausst. - Estrich trocken / geklebten Boden neu - Wandputz+Anstrich neu (halbe Höhe) - Türen neu - telex. Elektroinstallation neu € 33.000,- €	- Hochwasserangepaßtes Inventar 11 % - Hochwasserangepaßte Baumaterialien 15 % - beides zusammen 26 % - Gebäudeabdichtung 100 %
		 mH mit Heizblinierung	nur HG - Grundreinigung / -fröschung / 1/4 Hausst. - Estrich + Bodenbelag neu - Wandputz+Anstrich+Fliesen neu (1/2 Höhe) - Türen neu - telex. Elektroinstallation neu € 45.580,- €	- Hochwasserangepaßtes Inventar 21 % - Hochwasserangepaßte Baumaterialien 14 % - beides zusammen 35 % - Gebäudeabdichtung 100 % - Umstellung von Heizöl auf Gas 45 %
 Hochwasserhöhe: 0,0 - 1,0 m (KG voll)	 ohne Heizblinierung	 oH	nur HG - Grundreinigung / -fröschung / 1/2 Hausst. - Estrich trocken / geklebten Boden neu - Wandputz+Anstrich + Deckenansr. neu - Fenster+Türen neu - Elektroinstallation neu € 63.680,- €	- Hochwasserangepaßtes Inventar 19 % - Hochwasserangepaßte Baumaterialien 18 % - beides zusammen 37 % - Gebäudeabdichtung 98 %
		 mH mit Heizblinierung	KG + telex. EG - Grundreinigung / -fröschung / 1/2 Hausst. - Estrich+Bodenbel. neu / ger. Wand austausch - Wand- +Deckenputz+Anstrich neu / Reinigung - Fenster+Türen neu - Elektroinstallation neu € 69.680,- €	- Hochwasserangepaßtes Inventar 17 % - Hochwasserangepaßte Baumaterialien 17 % - beides zusammen 34 % - Gebäudeabdichtung 89 % - Umstellung von Heizöl auf Gas 34 %
<b>Beschreibung</b> Grundfläche: 80 m² / 1,0 m erhöht gebaut Anzahl der Räume: HG 6 / EG 7 - Gebäudebestandsklasse KG / EG / OO / DO - Gebäudeausrichtung HG: - Betonboden - Schwimmender Estrich, Fliesen / telex. Teppich - Innenwand Putz, Anstrich - Decke Putz, Anstrich - Fenster und Türen Holz / Metall - Treppe Stein - Gebäudeausrichtung EG: - Wände Holzfachwerk - Böden Estrich, Fliesen / telex. PVC, Teppich - Estrich der Wohnfläche Bodenheizung - Innenwand Putz, Anstrich / telex. Fliesen - Decke Putz, Anstrich / telex. Verklebung - Fenster und Türen Holz - Treppe Stein - Gebäudeinventar HG: - Wäsche- und Trockensch. - Hobby / Arbeits- und Werkst. - Vorrat und Lager - Gebäudeinventar EG: - Wohnzimmer - Schlafzimm. - Esszimm. - Küche - WC / Bad restl. Hausst. (aus KG und EG)	 ohne Heizblinierung	 oH	Brandreinigung / -fröschung / 3/5 Hausst. - Estrich trocken / geklebten Boden neu - Wandputz+Anstrich + Deckenansr. neu - Fenster (nur HG)+Türen neu - Elektroinstallation neu - Außenputz+Anstr.+Wärmeverbund neu / 1/2 € 96.680,- €	- Hochwasserangepaßtes Inventar 16 % - Hochwasserangepaßte Baumaterialien 16 % - beides zusammen 32 % - Gebäudeabdichtung 91 %
		 mH mit Heizblinierung	Grundreinigung / -fröschung / 3/4 Hausst. - Estrich+Bodenbel. neu / telex. Wandputz - Wand- +Deckenputz+Anstrich neu - Fenster+Türen neu - Elektroinstallation neu - Außenputz+Anstr.+Wärmeverbund neu / 1/2 € 129.800,- €	- Hochwasserangepaßtes Inventar 14 % - Hochwasserangepaßte Baumaterialien 12 % - beides zusammen 26 % - Gebäudeabdichtung 84 % - Umstellung von Heizöl auf Gas 31 %
 Hochwasserhöhe: 1,0 - 1,5 m (EG 0,5 m Wasser)	 ohne Heizblinierung	 oH	Grundreinigung / -fröschung / Hausst. - Estrich trocken / geklebten Boden neu - Wandputz+Anstrich + Deckenansr. neu - Fenster (nur HG)+Türen neu - Elektroinstallation neu - Außenputz+Anstr.+Wärmeverbund neu € 134.800,- €	- Hochwasserangepaßtes Inventar 14 % - Hochwasserangepaßte Baumaterialien 22 % - beides zusammen 36 % - Gebäudeabdichtung 76 %
		 mH mit Heizblinierung	Grundreinigung / -fröschung / Hausst. - Estrich+Bodenbel. neu / telex. Wandputz - Wand- +Deckenputz+Anstrich neu - Fenster+Türen neu - Elektroinstallation neu - Außenputz+Anstr.+Wärmeverbund neu € 162.080,- €	- Hochwasserangepaßtes Inventar 14 % - Hochwasserangepaßte Baumaterialien 13 % - beides zusammen 27 % - Gebäudeabdichtung 76 % - Umstellung von Heizöl auf Gas 22 %

trie: Kombiniert mit Gefahrenkarten in einem geographischen Informationssystem lässt sich eine flächenbezogene Aussage treffen über die Wirtschaftlichkeit von Maßnahmen der Hochwasservorsorge. So können stadtplanerisch und administratorisch Anreize zur Erweiterung der Eigenvorsorge gegeben werden, z.B. durch finanzielle Unterstützung bei der Umsetzung. Im Sinne einer volkswirtschaftlichen Gesamtplanung kann es überhaupt interessant sein, eine flächendeckende Hochwasservorsorge zu fördern.

In diesem Zusammenhang steht auch das im Entwicklungsstadium befindliche, internetbasierte Hochwasserportal. Hier werden Betroffene nach Eingabe der Eckdaten ihrer Gebäudesituation über das ungefähre, wasserstandsabhängige Schadenspotenzial informiert. Außerdem schlägt ein Expertensystem Möglichkeiten und Maßnahmen zur Minderung des Schadenspotenzials vor. Die Gebäudedaten werden in anonymisierter Form in einer Datenbank abgelegt und stehen damit für die angeführten Überlegungen zur Verfügung. Für die Risikovorsorge in Form von Versicherungspolice bietet sich auf dieser Basis eine gute Grundlage zur Kalkulation annehmbarer Prämien: Durch Auflagen zur Eigenvorsorge kann das versicherte Risiko um eine häufig auftretende Schadensgrundlage gemindert und die Prämien damit deutlich gesenkt werden.

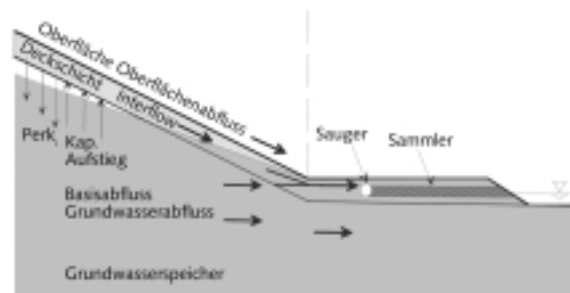
# Analyse und integrale Beschreibung der hydrologischen Prozesse in Flussgebieten mit Grundwasserdominanz



## 1) Erfordernisse einer integralen Wasserwirtschaft

Die Umsetzung der EU-Wasserrahmenrichtlinie erfordert die Erarbeitung von einzugsgebietsbezogenen Bewirtschaftungsplänen. Ziel ist es, einen guten ökologischen, morphologischen und chemisch-physikalischen Gewässerzustand zu schaffen. Gleichzeitig steigen durch die immer dichtere Besiedelung der Flusseinzugsgebiete die Anforderungen an den innerstädtischen Hochwasserschutz. Um allen Anforderungen gerecht werden zu können, müssen Maßnahmen im Einzugsgebiet in ihrer nachhaltigen Wirkung frühzeitig beurteilt und gegeneinander abgewogen werden. Zentrale Fragenkomplexe für die Erarbeitung eines integralen Bewirtschaftungsplans sind:

- Ermittlung von Bemessungsabflüssen, Wirksamkeit von Hochwasserschutzmaßnahmen, Grenzen von Überschwemmungsflächen
- Langfristige Grundwasserneubildung im Einzugsgebiet; Nachhaltigkeit von Grundwasserentnahmen
- Eintrag, Transport und Abbau von gewässerbelastenden Stoffen



Die Komplexität der Aufgaben erfordert den Einsatz von detaillierten Simulationsmodellen, die den gesamten Wasserkreislauf langfristig und kurzfristig physikalisch abbilden. Hierzu zählen die Abflussbildung auf der Erdoberfläche, in der ungesättigten Bodenzone und im Grundwasserleiter, die lateralen Fließprozesse im Einzugsgebiet sowie der Wellentransport im Gewässer. Da die Abflussprozesse im Flachland im Allgemeinen grundwasserdominiert sind, ist es erforderlich, auch innerhalb von Niederschlag-Abflussmo-

dellen die Interaktion zwischen ungesättigter Bodenzone und Grundwasser sowie die Interaktion zwischen Grundwasser und Gewässer abzubilden.

## 2) Prozesse in grundwasserdominierten Einzugsgebieten

Während in den Hoch- und Mittelgebirgsregionen aufgrund des hohen Geländegradienten und geringerer Infiltrationskapazität der Böden die Abflusskomponenten Oberflächenabfluss und Interflow dominieren, wird das Abflussgeschehen in der norddeutschen Tiefebene maßgeblich vom Grundwasserabfluss geprägt. Zwar ist in den Quellregionen der Gewässer meist ein mittleres bis geringes Geländegefälle vorhanden, beim Übergang zu den Niederungen, die sich in den breit angelegten Urstromtälern entwickelt haben, kommen die Abflussprozesse Oberflächenabfluss und Interflow jedoch weitgehend zum Erliegen und das Hangwasser infiltriert in den oberflächennahen Grundwasserleiter bevor es das Gewässer erreicht (Abb. 1). Diese Übergänge müssen im Modell abgebildet werden.

Bedingt durch die extrem hohen Konzentrationszeiten in den Niederungen ist die Infiltrationskapazität hier so hoch, dass selbst bei Starkregenereignissen meist der gesamte Bestandsniederschlag infiltrieren kann beziehungsweise sich als stehendes Wasser in Mulden sammelt. So sind in den Niederungen ausge-

Abb. 1:  
Übergang vom  
Hang zur Niederung

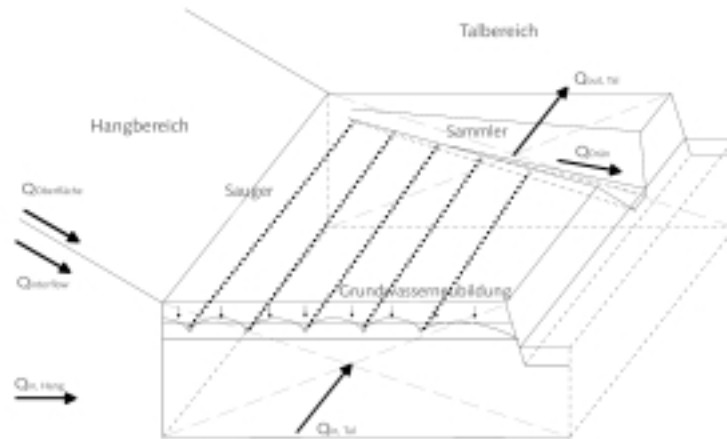


Abb. 2:  
Abflussbilanz im  
dränierten Teilgebiet

dehnte Moore entstanden. Zum Zweck der landwirtschaftlichen Nutzung wurden diese mit Dränsystemen durchzogen. Durch das Anströmen der Dränsysteme kommt es zur zügigen Entwässerung der Niederungen und damit zu Abflussspitzen, die teilweise die Dynamik von städtischen Einzugsgebieten aufweisen. Die Drainage der landwirtschaftlichen Niederungen führt auch zu erheblichem Stoffeintrag in die Vorfluter. Abb. 2 zeigt das Abflussgeschehen in einem dränierten Einzugsgebiet. In der Teilgebietsbilanz treten neben dem Zufluss in Talrichtung  $Q_{in, Tal}$  noch die seitlichen Zuflüsse aus dem Hangbereich  $Q_{in, Hang}$ ,  $Q_{interflow}$ ,  $Q_{Oberfläche}$  auf. Als Verlustterm kommt zum Abfluss aus dem Tal  $Q_{out, Tal}$  noch der Abfluss über die Drainage  $Q_{Drän}$  hinzu. Ein weiterer zu beschreibender Prozess ist der Wechsel von Exfiltration aus dem Aquifer in das Gewässer und Infiltration vom Gewässer in den Aquifer.

### 3) Forschungsbedarf

Die Dominanz des Grundwassers am Abflussgeschehen erfordert eine möglichst detaillierte modellmäßige Beschreibung der oben genannten Prozesse. Besonderer Forschungsbedarf besteht noch in der Darstellung der Grundwasserfließprozesse auf Einzugsgebietsebene. Die 3-dimensionale Darstellung des Grundwasserfließprozesses, die innerhalb reiner Grundwassermodelle angewendet wird, stellt hohe Anforderungen an die Datengrundlage und ist numerisch aufwendig. Die in Niederschlag-Abflussmodellen angewendete konzeptionelle Darstellung des Grundwasserleiters als linearer Speicher zeigt sich zur Abbildung von Fließprozessen als nicht geeignet. Rückstauprozesse im Grundwasserleiter, Grundwasser / Gewässerinteraktion sowie der Stofftransport können mit diesem Ansatz nicht gelöst werden. Benötigt werden hydrologische Modelle, die den Grundwasserfließprozess auch für mezoskalige und makroskalige Einzugsgebiete ( $>100 \text{ km}^2$ ) mit vertretbaren Anforderungen an die Datengrundlage abbilden können.

### 4) Das Modell KALYPSO

Zur Zeit wird am Arbeitsbereich Wasserbau mit dem deterministischen, detaillierten, nicht linearen Niederschlag-Abfluss-Modell KALYPSO gearbeitet. Der land-

gebundene Teil der globalen Wasserbilanz wird unter Zugrundelegung der physikalischen Prozesse simuliert. Dabei wird der Prozess der Abflussbildung als eindimensional-vertikal angenommen und auf Hydrotopenebene (kleinste hydrologisch homogen reagierende räumliche Einheit im Einzugsgebiet) simuliert. Zur Beschreibung der Abflusskonzentration werden die entstandenen Abflussvolumina auf Teilgebietsebene aggregiert und unter Berücksichtigung der charakteristischen Fließzeiten nach Translation und Retention als Teilgebietsabfluss gesammelt und einem Knoten im Gerinnenetz zugeordnet. Dabei werden die Prozesse als lateral eindimensional aufgefasst. Die Abflussverformung im Gerinne erfolgt nach dem Verfahren von Kalinin und Miljukov, es werden keine Wasserstände berechnet.

Das Modellkonzept beruht auf der Simulation der einzelnen hydrologischen Teilprozesse als Speicherelemente, die über Wasserflüsse miteinander zu einer Kaskade von Speichern gekoppelt sind. Der Abfluss aus einem Speicher stellt den Zufluss zum nachgeschalteten Speicherelement dar oder bildet eine Abflusskomponente. Da der Abfluss innerhalb eines Speicherelementes unabhängig vom Speicherinhalt des unterhalb liegenden Teilgebietes erfolgt, können Rückstauprozesse nicht abgebildet werden.

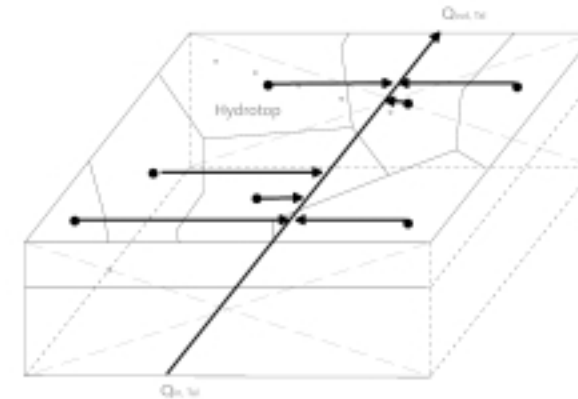
## 5) Ansätze zur Abbildung der beschriebenen Prozesse

Zur Zeit erfolgt die Berechnung der Teilgebietsabflüsse explizit, das heißt, der gesamte Simulationszeitraum wird für jedes Teilgebiet einzeln und nacheinander berechnet. Um die Abhängigkeit der Fließprozesse vom momentanen Zustand des unterhalb liegenden Teilgebietes zu berücksichtigen muss die Berechnung in einem impliziten Verfahren, das heißt, für alle Teilgebiete gleichzeitig erfolgen. Dabei soll der Grundwasserfließprozess als eindimensional lateral, jedoch in Abhängigkeit des Potenzialgradienten zwischen zwei Teilgebieten erfolgen. Jedes Teilgebiet hat einen Zuflussknoten und Abflussknoten. Der Grundwasserfluss erfolgt innerhalb einer gerichteten Baumstruktur nach der 1-dimensionalen Darcy-Gleichung. Jedem Knoten wird ein Anfangswasserstand [m +/- NN] zugeordnet. Die Aquifersohle wird als horizontal angenommen. Handelt es sich bei einem Teileinzugsgebiet um eine an einen Hang angrenzende Niederung, so kann dem Zuflussknoten der Interflow und der Oberflächenabfluss des Hangs zugeordnet werden.

Die Kopplung der Bodenzone und der Grundwasseroberfläche erfolgt, indem den Unterkanten der Hydrotope, die als horizontal angenommen werden, Höhen in Bezug auf NN zugewiesen werden. Diese Höhen werden jeweils mit dem aktuellen Grundwasserstand des Grundwasserleiters im Bereich des Hydro-

tops abgeglichen und das Hydrotop als bis zu diesem Stand gesättigt angenommen. Das im Hydrotop stehende Grundwasser kann als Interflow abflusswirksam werden. Dies führt dann sowohl zu einer Entleerung des Hydrotops, als auch zur Absenkung des Grundwasserstandes. Die Zuordnung der Hydrotope zu dem linear angenommenen Grundwasserspiegel erfolgt über eine Zuordnung der Hydrotopschwerpunkte zu einem bestimmten Punkt auf einer der Grundwasserfließlinien. Der Grundwasserstand an diesem Punkt wird mit der Hydrotopunterkante abgeglichen. Ist die unterste Hydrotopschicht gesättigt, so erfolgt der Abgleich mit der darüber liegenden Schicht. Die Zuordnung erfolgt im GIS (Abb. 3).

Zur Simulation der Grundwasserneubildung wird das perkolierende Wasser aller Hydrotope aggregiert und dem Grundwasserzuflussknoten des Teilgebietes zugeordnet. Die Perkolation aus den Hydrotopen erfolgt jeweils aus der letzten über der Grundwasseroberfläche liegenden Hydrotopschicht. Zur Kopplung der Austauschprozesse zwischen Aquifer und Oberflächengewässer muss zunächst noch eine Berechnung der Wasserspiegellage des Gewässerabschnitts im Teilgebiet erfolgen. Hierzu wird das Modul zur Berechnung der Wellenverformung nach dem Verfahren von Kalinin und Miljukov durch die Kopplung an ein 1-dimensionales instationäres Hydraulikmodell ersetzt, das am Arbeitsbereich Wasserbau entwickelt wurde.



## 6) Zusammenfassung

Zur Beschreibung der Abflussprozesse im Flachland wird am Arbeitsbereich Wasserbau ein Niederschlag-Abflussmodell entwickelt, das die Grundwasserfließprozesse eindimensional im Sinne des Potenzialkonzepts nach Darcy abbildet. Der Austauschprozess zwischen ungesättigter Bodenzone und Grundwasser soll dabei über eine Höhenzuweisung der Bodenschichten sowie über eine GIS-basierte räumliche Zuordnung der Hydrotope zur Grundwasserfließlinie erfolgen. In einem zweiten Schritt der Modellentwicklung erfolgt die Kopplung des Oberflächenspiegels mit dem Grundwasserspiegel. Im Modell wird ein implizites Lösungsverfahren für das Gleichungssystem gewählt.

Abb. 3:  
Kopplung Bodenzone und Grundwasseroberfläche



# Praxisorientierte Anwendung hydraulischer und hydrologischer Modelle

## Innerstädtischer Hochwasserschutz im Einzugsgebiet der Düpenau

### Einleitung

Die Düpenau ist ein Gewässer 6. Ordnung in der Gemarkung Osdorf im Westen Hamburgs. Sie fließt Richtung Norden über die Stadtgrenze nach Schleswig Holstein und passiert dabei ein Rückhaltebecken (RHB Helmuth-Schack-See).

Entlang der Düpenau kam es in der Vergangenheit häufiger zu einer Hochwassergefährdung der angrenzenden Bebauung von Sülldorf. Es bestand ein dringender Handlungsbedarf, die Hochwasserabflussver-

hältnisse der Düpenau bis zum RHB Helmuth-Schack-See zu verbessern. Für diesen Zweck wurde eine hydraulische Untersuchung mit Hilfe eines Spiegellinienmodells vorgenommen, aus der kurzfristig umzusetzende Ad-Hoc-Maßnahmen abgeleitet wurden.

Im Sinne eines nachhaltigen Hochwassermanagements gemäß der LAWA-Leitlinie für einen zukunftsweisenden Hochwasserschutz (1995) ist jedoch ein ganzheitlicher Ansatz anzustreben, der die Regenwasserentlastung durch Verbesserung der Regenversickerung stärkt und damit neben der verbesserten Hochwasservorflut auch im Trockenwetterfall ein natürlicheres Abflussverhalten in der Düpenau erreicht. Aufgrund des angestrebten ganzheitlichen Ansatzes ist für die Bestimmung der hydrologischen und hydraulischen Grundlagen eine einzugsgebietsbezogene Betrachtungsweise vorzusehen. Um möglichst verlässliche Aussagen für das Hochwasserschutzkonzept zu erhalten, wurde ein Niederschlags-Abflussmodell mit dem am Arbeitsbereich Wasserbau der Technischen Universität Hamburg-Harburg (TUHH) entwickelten Modell/Programm KALYPSO und ein Spiegellinienmodell mit dem Programm WSPWIN aufgestellt. Mit diesen Modellanwendungen wurden die aktuellen Bemessungsabflüsse und Überflutungsräume entlang der Düpenau und die Einleitungen bei Hochwasser aus den bebauten Flächen quantifiziert. Hierauf aufbauend wurde ein Handlungskonzept entsprechend den oben aufgeführten Grundsätzen entwickelt.

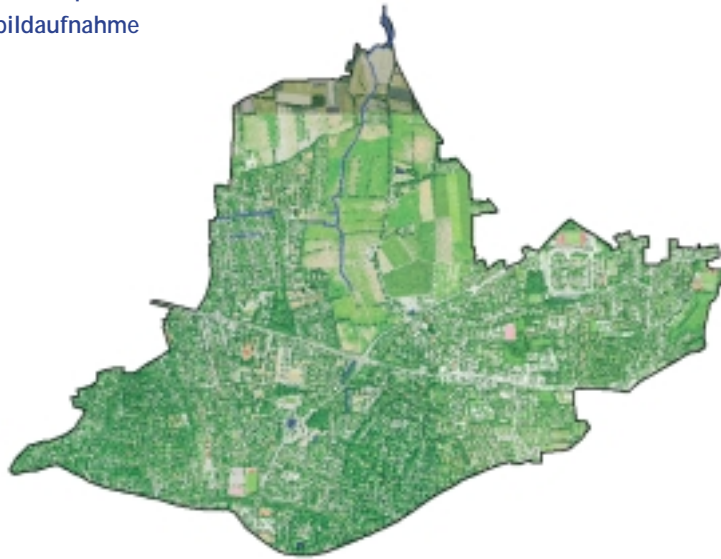
### Spiegellinienmodell

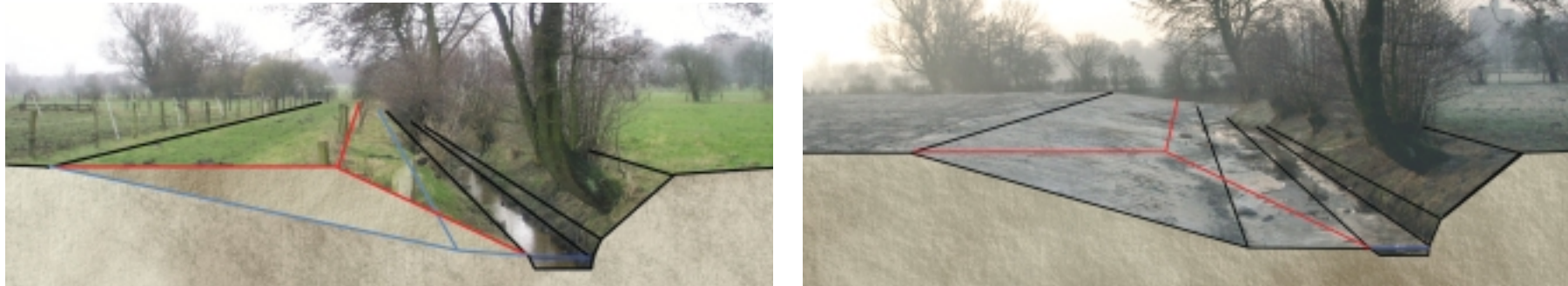
#### Allgemein

Bei dem Spiegellinienprogramm WSPWIN handelt es sich um ein Programm, mit dem eindimensionale Strömungsvorgänge erfasst werden können. Es dient der Berechnung der Wasserspiegellagen bei stationär ungleichförmigem Abfluss in natürlichen Gerinnen. Sonderbauwerke wie Brücken, Durchlässe, Wehre und Überfälle können in die Berechnung mit einbezogen werden. Unregelmäßigkeiten der Gewässergeometrie und des Sohlgefälles sowie der Sohl- und Bewuchsrauheit werden ebenfalls in der hydraulischen Berechnung berücksichtigt. Voraussetzung für die Anwendung dieses eindimensionalen Strömungsmodells ist die Zusammenfassung der in der Natur vorkommenden mehrdimensionalen Strömungsvorgänge zu einem eindimensionalen Zustand. Die Fließgeschwindigkeit und die Wasserspiegelhöhe werden dabei über dem Gewässerquerschnitt als konstant beziehungsweise horizontal angenommen. Komplexe instationäre Fließvorgänge, wie sie bei Retentions- und Rückströmungsvorgängen sowie bei plötzlicher Querschnittsänderung auftreten, werden mathematisch nicht explizit erfasst. Sie können aber über die Kalibrierung der Modellparameter in das Modell einfließen.

Das Programm WSPWIN ermöglicht die Bearbeitung einer Vielzahl hydraulischer Fragestellungen. Diese sind beispielsweise die Berechnungen verschie-

Einzugsgebiet der Düpenau  
Luftbildaufnahme





Ad-hoc-Aufweitungsmaßnahme  
Planung und Ausführung

dener Wasserspiegellagen zur Ermittlung von Überschwemmungsgrenzen, der Nachweis der Auswirkung von Störbauwerken oder Baumaßnahmen am und im Gewässer, die Beurteilung von Ein- und Ausleitungen auf die Wasserspiegellage, die Ermittlung des Retentionsraums, die Quantifizierung des Strömungsfeldes sowie der Nachweis der Strömung in und an Bauwerken im Gewässer.

#### Aufbau des Spiegellinienmodells für die Düpenau

Den ersten Schritt bei der Erstellung des hydraulischen Modells stellt die Datenakquisition dar. Danach wird das Basismodell einer Sensitivitätsuntersuchung unterzogen. Die Kalibrierung, d.h. die Verifikation von Modellparametern durch Vergleich von berechneten mit gemessenen Werten, schließt die Modellerstellung ab. Die benötigten Fluss-Profile lagen aus verschiedenen aktuellen Bestandsvermessungen vor. Eventuell benötigte Zwischenprofile wurden durch Duplikation

eines vorherigen Profils und Anpassung der Höhen durch Interpolation generiert. Die Kilometrierung der insgesamt 33 Profile erfolgte vom Unterwasser (Kilometer 0,0000 - Pegel 410 Helmuth-Schack-See) bis zur Grenze des Untersuchungsgebiets (Kilometer 1,6959 – Beginn der Verrohrung unter der Osdorfer Landstraße). Anschließend wurden jedem Profil die dem jeweiligen Gewässerabschnitt entsprechenden Rauheiten und Bewuchsparameter zugeordnet. Diese Parameter wurden im Gelände erhoben. Die Grundrauheitswerte wurden jeweils für das Vorland, die Böschung und die Gewässersohle getrennt nach Darcy-Weisbach ( $k_s$ -Werte) angegeben. Für die Bestimmung der Bewuchsparameter entlang des Gewässers wurde der Gewässerverlauf oberhalb und unterhalb der einzelnen Profile betrachtet, da das Programm WSPWIN jeweils zwischen zwei Profilen interpoliert. Die verschiedenen im Verlauf der Düpenau vorkommenden Brücken bzw. Durchlässe wurden an

den entsprechenden Profilen in WSPWIN als Brücke implementiert. Zur Kalibrierung des Modells wurde anhand der Niedrigwasserabflüsse aus den WQ-Beziehungen der  $k_s$ -Wert der Sohle ermittelt. Abweichend von den Grundrauheiten, die sich nach ersten Erhebungen vor Ort ergaben, wurde dieser Wert einheitlich um ca. 30% erhöht. Mit dieser höheren Sohlrauheit soll den z.T. bis an die Sohle reichende Störbauwerken (wie Pumpenschächte, zerstörte Bongossi-Zäune, usw.) und der z.T. stark ausgeprägte Riffelbildung der Sohle Rechnung getragen werden. Die Böschungsrauheit und die Rauheit des Vorlandes wurden auf Basis des Hochwasserabflusses bestimmt.

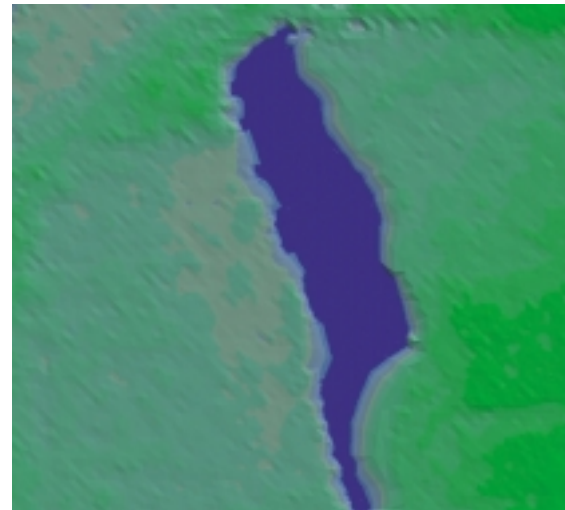
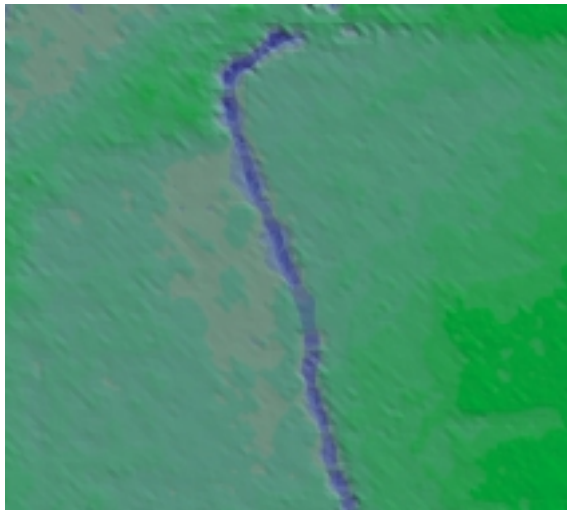
#### Ad-hoc-Maßnahmen an der Düpenau

Mit dem kalibrierten und validierten hydraulischen Spiegellinienmodell für die Düpenau wurde das Ver-

Aufweitungsmaßnahme –  
Anlegen einer Retentions-  
fläche vor und nach der  
Durchführung



Einbau der Aufweitung in  
das digitale Höhenmodell



halten des Gewässers bei Hochwasser untersucht. Bereits die Eichung lieferte wichtige Erkenntnisse über das hydraulische Verhalten des Gewässersystems. Es konnte gezeigt werden, wie sensibel die Düpenau auf Querschnittsverengung durch Verlegung mit Geschwemmsel reagiert und dass dieser Umstand zu Überschwemmungen im Hochwasserfall führen kann. Die wesentliche Aussage, die aus der hydraulischen Untersuchung hervorging, war die Tatsache, dass für einen Rückstau in den einmündenden Holtbarggraben und das anschließende Regensiel bei Hochwasser allein der geringe Querschnitt der Düpenau und nicht etwa der Holtbarggraben mit seiner z.T. verlandeten Sohle verantwortlich ist. Als eine mögliche Lösung des Rückstauproblems aus der Düpenau wurde eine lokale Profilaufweitung der Düpenau im Bereich der Mündung des Holtbarggrabens untersucht. Eine Aufweitung in diesem Bereich hätte zur Folge, dass besonders bei hohen Abflüssen ein größerer Fließquerschnitt zur Verfügung steht und der Wasserspiegel deutlich gesenkt werden kann. Ebenfalls würde die Gefahr der Verlegung durch den größeren Gewässerquerschnitt deutlich vermindert werden.

Entsprechend dieser Empfehlung wurde als erste Ad-hoc-Maßnahme zur Verbesserung der Vorflutverhältnisse der Düpenau und damit zur Reduzierung der Hochwassergefährdung der angrenzenden Bebauung entsprechend der örtlichen Gegebenheiten eine einseitige Aufweitung der Düpenau im Bereich der Mün-



dung des Holtbarggrabens durchgeführt. Zusätzlich wurde durch flächenhafte Aufweitung vor dem anschließenden Brückendurchlass eine größere Retentionsfläche geschaffen.

## NA-Modell

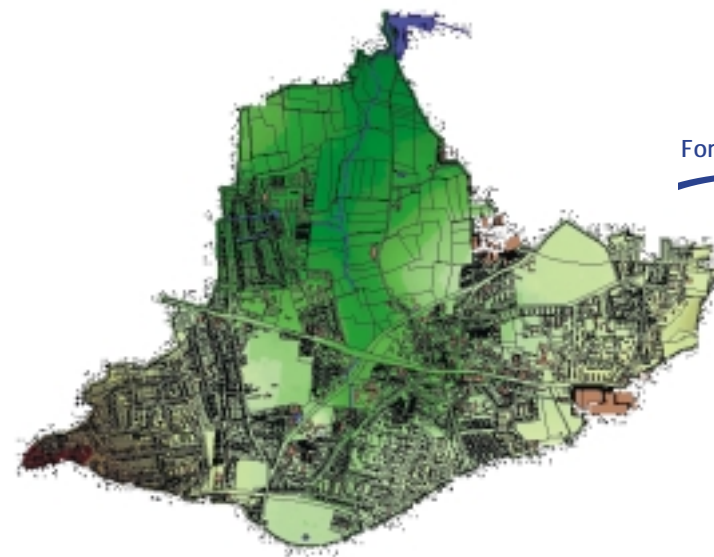
### Allgemein

Für die Erstellung eines Niederschlag-Abfluss-Modells (NA-Modell) sind umfangreiche Vorarbeiten notwendig. Die zu erwartende Genauigkeit der Simulationsergebnisse hängt hauptsächlich von der Qualität der Grundlagendaten ab, da viele physikalische Teilprozesse in dem Modell mathematisch abgebildet werden. Eine sorgfältige Recherche in den verschiedensten Bereichen ist demnach von größter Bedeutung. Nach diesem ersten Schritt, der Datenakquisition, ist eine Aufbereitung der Daten notwendig. Diese beinhaltet sowohl eine Prüfung der Daten, als auch eine detaillierte Bearbeitung. Hierzu werden Geografische Informationssysteme (GIS) verwendet, die es erlauben, Informationen mit geografischem Bezug in Datenbanken abzulegen und zu bearbeiten. Ebenfalls zu der Vorbereitungsphase gehört die Berechnung verschiedener Eingabegrößen (Preprocessing), die entweder gar nicht oder in nicht ausreichender Genauigkeit nach der Datenakquisition vorliegen. Schließlich können die Startdateien für das NA-Modell erzeugt und das Basis-

modell für die Langzeitsimulation aufgestellt werden. Für eine Verfeinerung der Simulationsschritte von Tageswerten auf kürzere Zeiträume werden weitere notwendige Informationen aus den Ergebnissen des kalibrierten Langzeitmodells als Eingangsgrößen für die Kurzzeitsimulation genutzt.

### Aufbau des NA-Modells für die Düpenau

Das ca. 760 ha große Einzugsgebiet der Düpenau wurde auf Basis der detaillierten Kenntnisse über die Höhenstruktur, die Sieleinzugsgebiete, die Landnutzung und damit über die Versiegelungsstruktur in 46 Teileinzugsgebiete eingeteilt. Dabei hatte in Gebieten mit versiegelter Fläche die Orientierung der Teilgebietsgrenzen an den Sieleinzugsgebieten Priorität vor der Orientierung am Verlauf der Höhenlinien. Eine entscheidend wichtige Information war die Unterteilung in Misch- und Trennkanalisation. Nur diejenigen Flächen, die an eine Trennkanalisation angeschlossen sind, entwässern das anfallende Regenwasser direkt in den Vorfluter, die Düpenau bzw. den Holtbarggraben. Das Regenwasser, das auf die versiegelten Flächen mit Mischkanalisation fällt, wird dem System entzogen und einer Kläranlage außerhalb des Einzugsgebiets zugeführt. In dem Einzugsgebiet der Düpenau ist der größte Teil mit Mischkanalisation ausgestattet. Nur etwa 15 % der Fläche ist an eine Trennkanalisation angeschlossen. Bei der Aufschlüsselung in Teileinzugsgebiete wurde bereits darauf geachtet, dass die Gebie-



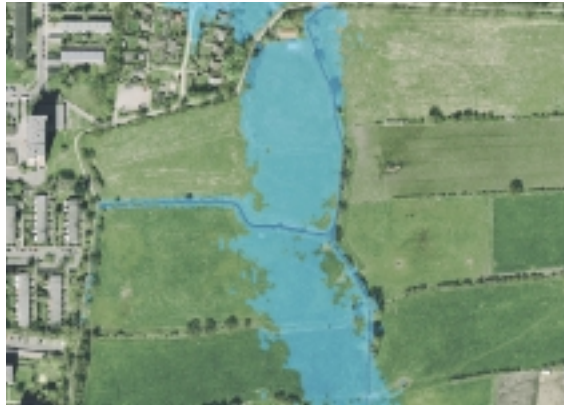
te in Bereiche gleicher Sielzüge eingeteilt werden, um eventuelle Maßnahmen der Sielumwidmung zur Trennkanalisation in ausgewählten Bereichen in die Untersuchungen einbinden zu können. Die hydrologischen Berechnungen im NA-Modell finden auf Hydrotopenebene statt. Hydrotope sind Flächen mit gleichen hydrologischen Eigenschaften in Bezug auf die Landnutzung bzw. den Versiegelungsgrad, den Bodentyp und das hydrogeologische Profil bzw. die Grundwassersituation. Im Einzugsgebiet der Düpenau ergaben sich insgesamt 832 unterschiedliche Hydrotope.

Für die Qualität, die Aussagefähigkeit und die Kalibrierbarkeit des NA-Modells sind gute und lückenlose Pegelaufzeichnungen und Abflussmessungen unverzichtbar. Entweder liegen Wasserstands-Abflussbeziehungen ( $W$ - $Q$ -Beziehung) für die Pegel vor oder diese müssen aus den Aufzeichnungen aufgestellt werden. Für die zwei an der Düpenau installierten Pegel wurden die  $W$ - $Q$ -Kurven aus bestehenden und eigenen Abfluss- und Wasserstandsmessungen neu erstellt. Kalibriert wurde das Modell anhand von Niederschlagsdaten der letzten 32 Jahre. Hierbei kam es dar-

Digitale Datenaufbereitung  
– Höhenmodell, Flurstücke,  
Nutzung



Ausschnitt aus der  
Überflutungskarte Düpenau  
für ein HQ 100



auf an, unter den gleichen Randbedingungen von Niederschlag und Verdunstung die gemessene Ganglinie des Gewässers möglichst übereinstimmend mit der berechneten zu simulieren, wofür die physikalischen Parameter sinnvoll gewählt und kombiniert werden mussten.

#### Hochwasserstatistik

Zur Bestimmung der Auftretenswahrscheinlichkeit der Hochwasserereignisse in den letzten Jahren wurden für die beiden Pegel an der Düpenau Hochwasserstatistiken auf Basis des kalibrierten NA-Modells aufgestellt. Besonders für Ausbau- und Renaturierungsarbeiten am Gewässer ist das Wissen um die mittleren Jahresabflussereignisse eine wichtige Grundlage. Im Einzelnen sind dies: der mittlere Niedrigwasserabfluss (MNQ), der mittlere Abfluss (MQ) und der mittlere Hochwas-

serabfluss (MHQ). Ermittelt wurden diese Werte durch Auswertung und Analyse sowohl der gemessenen, als auch der mit dem NA-Modell simulierten Ereignisse der Jahre 1971 bis 2002. Für die Ausweisung von Überflutungsräumen wurden aus der erstellten HW-Statistik das 5-jährige, das 30-jährige und das 100-jährige Ereignis herangezogen. Durch Berechnung der jeweiligen Spiegellinienlage und deren Verschneidung mit dem digitalen Höhenmodell wurden die entsprechenden Überflutungskarten erzeugt.

#### Simulationen

##### 1.

Zu der Fragestellung welche Renaturierungsmaßnahmen sich für die Düpenau anbieten, wurde eine Simulation durchgeführt, die das gesamte Einzugsgebiet unversiegelt wiedergibt, also den natürlichen Zustand darstellt. Das Ergebnis dieser Simulation ermöglichte eine Aussage darüber, wie sich der Abfluss der Düpenau ohne menschlichen Eingriff in die Fläche des Einzugsgebiets verhalten würde. Der Gesamtversiegelungsgrad des topographischen Einzugsgebiets wurde auf 0 % zurückgesetzt. Dies erfolgte durch Anpassung der verschiedenen Eingabedateien des NA-Modells. Im Vergleich zum Ist-Zustand zeigte die Simulation in der Summe beständig einen gering niedrigeren Abfluss. Die mittlere prozentuale Abflussdifferenz über den simulierten Zeitraum von 32 Jahren betrug – 12,8 %.

Erwartungsgemäß wurden die vielen Abflussspitzen, die von versiegelten Flächen unmittelbar dem Gewässer zugeführt würden, weggenommen und die Abflusskurve „geglättet“. Insgesamt war eine Erhöhung des Mittel- und Niedrigwasserabflusses um ca. 10 % zu verzeichnen.

##### 2.

In einer zweiten Simulation wurde mit Hilfe des NA-Modells untersucht, in welcher Weise die Einführung einer Trennkanalisation erfolgen könnte und welche Auswirkungen dies auf den Abfluss in der Düpenau haben würde. Die Simulation der Kanalumwidmung wurde schon während des Modellaufbaus berücksichtigt, indem die Einteilung der Teilgebiete unter Berücksichtigung der Kanaleinzugsgebiete vorgenommen wurde. Entsprechend der örtlichen Möglichkeiten zur Einleitung des Regenwassers von den neu angeschlossenen versiegelten Flächen in die Düpenau, wurden verschiedene Simulationen durchgeführt. Es wurde über einen Zeitraum von 32 Jahren von 1971 bis 2002 gerechnet. Die mittlere prozentuale Abflussdifferenz über diesen Zeitraum betrug +50 %. Diese große Abweichung kam dadurch zustande, dass die Hochwasserspitzen durch den Abflussanteil von den zusätzlichen versiegelten Flächen extrem erhöht wurden. Entsprechend nahm die Gesamtfülle des Abflusses auch um ca. 50 % zu. Das Niedrigwasser veränderte sich nicht. Aus diesen Simulationen lassen sich sinnvol-

le Bereiche einer eventuellen Kanalumwidmung selektieren und mögliche Einleitungsstellen in das Gewässersystem und die örtliche Auswirkung aufzeigen.

### 3.

Für die Untersuchung der Wirkungsweise von Mulden-Rigolen-Systemen im Einzugsgebiet kann ebenfalls das NA-Modell herangezogen werden. Diese Art der Simulation wurde bereits in einem Vergleichsgebiet, dem Kollau-Einzugsgebiet, welches direkt im Nord-Osten an das Düpenau-Einzugsgebiet angrenzt, durchgeführt. Die Vorgehensweise und auch die Ergebnisse sind mit denen für die Düpenau vergleichbar. Zur Bestimmung des benötigten Rückhaltevolumens in einem Teilgebiet wird die Abflusskurve eines fünf-jährigen Hochwasserereignisses (HQ 5) im Ist-Zustand mit dem des potentiell natürlichen Zustands verglichen. Die Differenz aus beiden Kurven in ihrem positiven Überschneidungsbereich ergibt das maximal benötigte Speichervolumen in dem betrachteten Teilgebiet. Es lassen sich in einem Teilgebiet mehrere Speicher definieren, für die jeweils eine Wasserstands-Abfluss-Beziehung definiert werden muss. Wird die Simulation für verschiedene Hochwasserszenarien durchgeführt, so lässt sich die Wirksamkeit und der Wirkungsraum solcher Maßnahmen bestimmen. In der Vergleichssimulation an der Kollau ergab sich ein positiver Effekt für Hochwasser bis zu einem 35-jährigem Ereignis (HQ 35). So wird ein Hochwasserabfluss bei einem



HQ 1 um 47% abgemindert, bei einem HQ 5 um 19,5% und bei einem HQ 20 um immerhin noch 4,5%. Bei höheren Hochwasserereignissen kehrt sich die Methode des Rückhaltes in Mulden und Rigolen jedoch zum Negativen. So ist bei einem HQ 50 eine Verschärfung des Hochwasserabflusses um ca. 1,7% zu erwarten, da sich die Welle des aus dem Rückhaltesystem abgehenden Wassers mit der des Hochwassers ungünstig überschneidet.

## Renaturierung

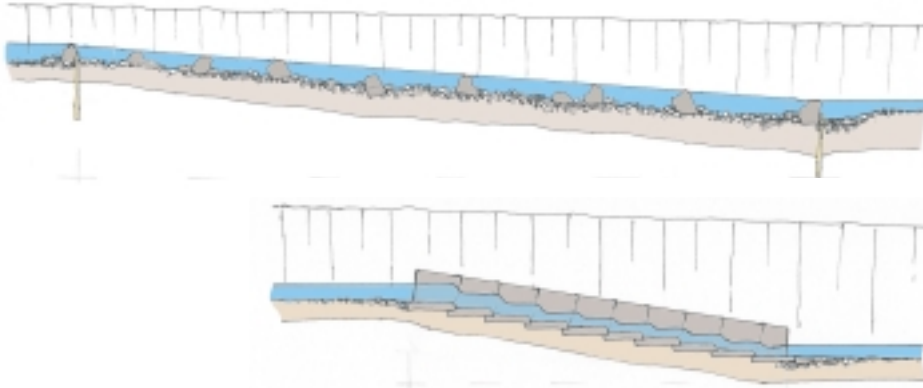
### Leitbild und Entwicklungsziel zur Renaturierung der Düpenau

Das Leitbild ist der potentiell natürliche Zustand des jeweiligen Gewässers, d.h. der Zustand, der sich einstel-



len würde, wenn die heutigen Nutzungen aufgelassen würden, Sohl- und Ufersicherungen zurückgebaut, künstliche Regelungen des Wasserhaushalts aufgehoben, Gewässereintiefungen sowie Grundwasserabsenkungen der Auen rückgängig gemacht und die Gewässerunterhaltung eingestellt würden. Unter Berücksichtigung von einschränkenden Randbedingungen, wie z.B. bestehenden Nutzungen und Rechten, werden aus dem Leitbild die Entwicklungsziele abgeleitet. Durch die Gewässerrenaturierung wird ein naturnaher Gewässerzustand bezüglich der Morphologie, Hydrologie und Biologie des Gewässers hergestellt oder die Entwicklung zu einem solchen Zustand zumindest eingeleitet. Hierzu können Verfahren des naturnahen Wasserbaus, der Ingenieurbiologie und die Grundlagen der Regime-Theorie verwendet werden. Die Umgestaltung basiert auf der Vorgabe des neuen Gewässerverlaufs

Renaturierung  
– Anwendung der  
Regimetheorie



#### Planung – Umbau des vorhandenen Treppenabsturzes in eine aufgelöste Sohlrampe

durch aktive Maßnahmen, wie z.B. das Ausheben eines neuen Gewässerbettes. Hierdurch werden naturnahe Verhältnisse selbst bei Gewässern mit geringer Entwicklungsfreudigkeit schon nach kurzer Zeit erreicht. Nachteile der Umgestaltung sind die hohen Kosten, das aufwendige Erstellen eines Planungskonzeptes und die notwendigen Kenntnisse der morphologischen oder hydraulischen Kennwerte.

Für die Renaturierung der Düpenau in dem Bereich des Helmuth-Schack-Sees bis zur Verrohrung unterhalb der Osdorfer Landstraße können die allgemeinen morphologischen und biologischen Leitbilder für Fließgewässer zum größten Teil direkt übernommen werden. Die benötigten Parameter zur Beschreibung der im Leitbild entwickelten Gewässermorphologie werden durch die Anwendung der Regime-Theorie ermittelt.

#### Regimetheorie

Die Regime-Theorie ist eine empirische Methode zur Bestimmung einer stabilen Flussmorphologie in alluvialen Fließgewässern mit dominierenden Abflussbedingungen. Sie beruht auf der aus Beobachtungen in der Natur gewonnen Erkenntnis, dass alluviale Fließgewässer, deren Lauf- und Bettform vom Menschen geändert worden ist, „sich bemühen“, eine eigene Zustandsform zu schaffen. Wird der Endzustand erreicht, so befindet sich das Gewässer bezüglich Querschnitt, Gefälle und anderer unabhängiger Randbedingungen in einem dynamischen Gleichgewicht, das sich im Laufe der Zeit kaum ändert. Ein solches Gewässer befindet sich im Regime und wird als Regime-Gewässer bezeichnet.

Für die Untersuchung der Düpenau wurden neben der Theorie von Yalin und Silva auch die Gleichungen nach Leopold und Wohlmann sowie nach Bray verwendet. Da die Düpenau eine sandige Sohl- und Böschungsstruktur aufweist, konnte der weit verbreitete Ansatz nach Schumm nicht verwendet werden; dieser gilt nur für Gewässer mit kohäsiver Sohlstruktur.

Für den 1,65 km langen Lauf der Düpenau ergaben sich nach Vergleich und Kombination der verschiedenen Methoden folgende Regime-Größen: Regimebreite der Düpenau  $b=2,05$  m; Regimefließtiefe  $h=0,30$  m; Regimegefälle  $I=0,00105$  (nach Yalin). Aus dem geforderten Regimegefälle und der momentanen Flusslänge von 1,65 km ergab sich eine Laufverlängerung auf

2,85 km, die durch einen mäandrierenden Verlauf erreicht werden kann. Im Untersuchungsgebiet der Düpenau herrschen sandige Böden bis ca. 1,6 m Tiefe vor, die anschließend von lehm- und schluffhaltigen Bodenschichten abgelöst werden. Aus den verschiedenen Theorien ließen sich die Anzahl der notwendigen Mäander bis zu ca. 27 mit einer Bogenlänge von jeweils ca. 108 m ableiten. Aus diesen Vorgaben konnten verschiedene Laufentwicklungen, die jeweils auf die örtlichen Zwänge Rücksicht nahmen, beschrieben werden.

#### Sohlrampe

Sowohl nach dem morphologischen und biotischen Leitbild als auch nach den Anforderungen des Hochwasserschutzes und Rückführung in einen natürlicheren Zustand stellt der momentan im Unterlauf der Düpenau vorhandene Treppenabsturz ein Hindernisbauwerk dar. Der Treppenabsturz überwindet mit 8 Stufen eine Höhe von ca. 1,30 m. Im Rahmen der Renaturierung der Düpenau soll dieser Treppenabsturz nun in eine raue Sohlrampe umgebaut werden.

Auch hierbei liefern das hydrologische und das hydraulische Modell die Grundlagedaten für die Planung. Insbesondere sind dies der mittlere Niedrigwasserabfluss, der Mittelabfluss und der mittlere Hochwasserabfluss sowie unterschiedliche Bemessungsabflüsse wie ein 50-jähriges oder ein 100-jähriges Hochwasserereignis. Ein hilfreiches Werkzeug für weiterfüh-



rende Planungen von Retentionsflächen etc. sind die Überflutungskarten, die nach Bedarf aus dem Spiegel­linienmodell und dem digitalen Höhenmodell des Geländes für die Bemessungshochwasser erstellt werden können.

#### Regenwasserversickerungskonzepte

Die zunehmende Versiegelung durch Bebauung ist erst dadurch ein Problem geworden, dass der Großteil des Regenwassers in der Kanalisation abgeführt wird, anstatt in den unversiegelten Bereichen zu versickern (in Siedlungsgebieten sind im Durchschnitt nur 40% der Fläche versiegelt). Dadurch wird der Regenabfluss aus besiedelten Gebieten beschleunigt und geht dem natürlichen Wasserhaushalt verloren. Für die Vorfluter bedeutet dies obendrein, dass statt einer langsamen Speisung durch Interflow, Basisabfluss und Oberflächenabfluss (der durch die Versiegelung besonders stark beschleunigt wird), große Wassermengen punktuell zugeführt werden. Der dadurch resultierende beschleunigte Abfluss trägt zu einer Verschärfung der Hochwasserabflüsse vor allem an kleineren Gewässern wie der Düpenau bei. Alternativ zu den kostenaufwendigen zentralen Regenwasserrückhaltebecken, die lediglich Abflussspitzen auffangen können, bieten sich viele kleine Versickerungsmaßnahmen an, die der urbanen Situation angepasst werden können. Im Rahmen der Renaturierung der Düpenau wurden Konzeptskizzen erstellt und die Wirkung vieler kleinerer

Versickerungsmaßnahmen auf das Abflussverhalten des Gewässersystems untersucht.

#### Zusammenfassung

Durch die Verwendung hydraulischer und hydrologischer Modelle in der Wasserwirtschaft lassen sich vielfältige Ziele verfolgen:

- Analyse des langfristigen Wasserhaushaltes
- Hochwasseranalysen
- Hochwasserstatistiken in Bezug auf den Ist-Zustand
- Ausweisung von Überschwemmungsflächen
- Bemessung von wasserbaulichen Anlagen
- Untersuchung der Auswirkung von Änderungen im Einzugsgebiet oder am Flusslauf
- Planung von Renaturierungen

Für einen erfolgreichen Einsatz von mathematischen Modellen ist Zuverlässigkeit absolut notwendig. Die Qualität und die Breite an Fragestellungen, die mit diesem Modell beantwortet werden können, hängen sowohl von der Detailliertheit und der Qualität der Kalibrierung als auch von der Fachkenntnis des Anwenders ab. Eine Verwendung mathematischer Modelle zur Lösung wasserwirtschaftlicher Fragestellungen ist dabei am erfolgreichsten, wenn NA-Modell und Spiegel­linienmodell kombiniert verwendet werden.



Skizze eines Regenwassernutzungskonzepts im Einzugsgebiet der Düpenau



## Cross Border Flood Management in the River Basin Tisza



### Introduction

In 1998 and 2001 Transcarpathia was battered by enormous flood hazards. Rivers broke out of their natural courses and damaged the main infrastructure in the region and left people in horrible circumstances. Due to these disasters the EU began to take care of the flood affected region.

As a part of the EU Program „TACIS Cross-Border Co-operation Small Project Facility“ an international team of six regional partners from Rhineland Palatinate (co-ordination and expert team), Oblast Transcarpathia/Ukraine, Kosicze/Slovakia and Nyiregyhaza /Hungary started the project „Cross Border Flood Manage-

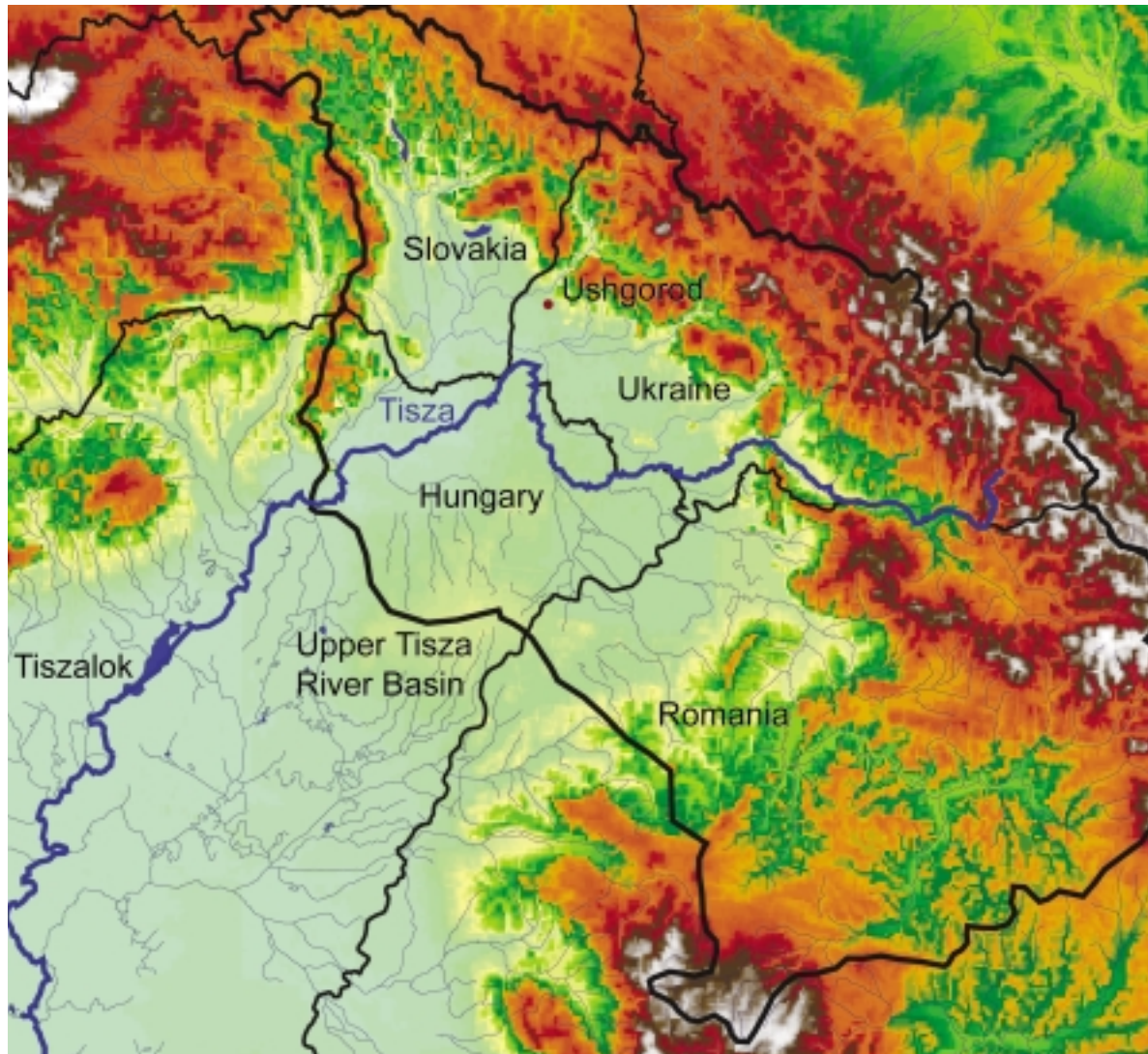
ment in the River Basin Tisza (FLOMATIS)“ in February 2001. The project area covered the Upper Tisza River Basin (UTRB) from the spring region of the river Tisza and its tributaries in the Carpathian Mountains to the gauging station at Tiszalok/Hungary.

The project focuses on a sustainable improvement of flood control in order to reduce flood vulnerability along the river Tisza by integrative flood management strategies.

In the first project phase an inventory of hydrological recording facilities, regional flood forecast and alarm systems and water legislation structure in the riparian countries Hungary, Romania, Slovakia and Ukraine has been carried out. Additionally, the flood

characteristics, hazardous zones and their damage potential have been inventoried. Based on this inventory, operational and institutional requirements as well as the necessary equipment for an efficient flood forecast and alarm system for the UTRB have been derived.

Due to the old-fashioned, mainly manually operated hydrological and meteorological network, interrupted communication lines during flood situations and nonexisting communication network between the flood alarm centres in the four riparian nations, the effectiveness of the existing regional forecast systems was assessed to be very limited. All partners agreed on the upgrade of the present forecast techniques to the high standards of modern forecast systems.



### Hydrological Characteristics of UTRB

Due to its length of 966 km and size of the catchment of 153,000 km<sup>2</sup> the river Tisza is the largest tributary of the river Danube. Two factors characterise the adverse hydrometeorological boundary conditions:

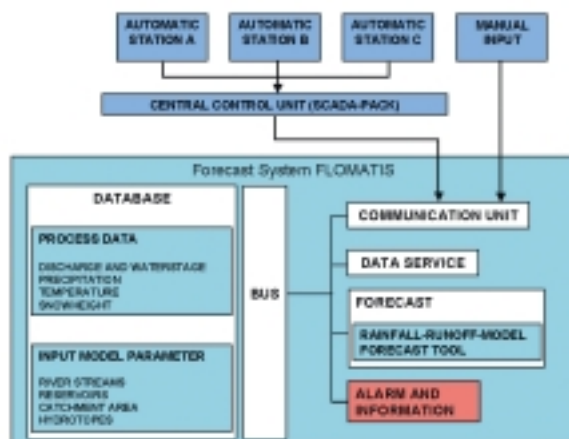
About 60 % of the UTRB gets more than 1000 mm precipitation annually. Warm air masses from the Mediterranean Sea and the Atlantic Ocean cause cyclones with heavy rainfall in the southern and western slopes. In general, two-third of precipitation occurs in the warm half of the year. Furthermore, land surface is subdivided into Carpathian Mountains (70 % of catchment area) and wide Tisza Lowlands. Therefore, in the Ukrainian catchment area the average rainfall varies from 700 mm in the lowlands and more than 2000 mm in the high mountain area.

The alpine landscape is defined by broad ridges which are disrupted by small valleys. This natural hydrological system has undergone various anthropogenic changes during the last 50 years which are mainly melioration, extensive embankment with levees along the Tisza and its tributaries Bodrog, Latorica and Ush and deforestation.

Further the fertile Chernozem soils in the plains have attracted farmers that nowadays most parts of the lowlands are used for intensive farming.

Due to these climate and topographic conditions flash floods are common in spring and summer with

### Forecast System FLOMATIS



river stages increasing 1.5 to 2.5 meters within three or four hours, further intensified by the low infiltration capacity of the soils in the Carpathian Mountains. These floods cause enormous inundation in the vast lowland areas. During the last 30 years the river Tisza has been effected by about 115 flood events. The strength and the number of floods has continuously increased and reached its maximum with the two flood events of 1998 and 2001.

Many damages would have been avoided if the dikes and rivers itself would have been better maintained and the effected people would have been informed reliably and in time. Thus first actions of flood management should concentrate on the improvement of flood forecasting and faster dissemination of flood warnings to the affected people.

### Forecast System FLOMATIS

In consequence of the described hydrological processes in the UTRB and the extreme changes in topography between the alpine mountains and lowlands, a high spatial and temporal resolution of the forecast model should be the highest priority followed by improved data management and more sophisticated and refined process modelling. Thus, these model qualities had been the main targets of the new program package called FLOMATIS which has been developed within this EU Project.

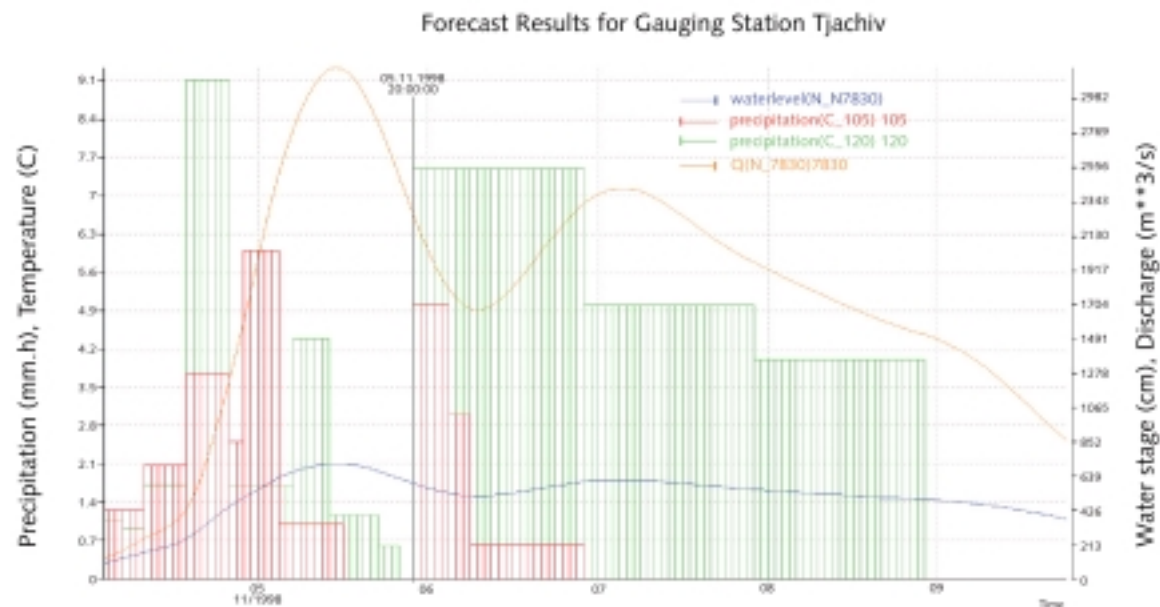
Developing the software concept of the Forecast System FLOMATIS, special focus was given to an optimised and robust user interface which ensures a logical and structured operation of the forecast system. By using a graphical user interface with interactive visualisation, input mistakes were minimised. This has been accomplished by a modern graphical user interface which allows manoeuvre through the data sets in a tree structure and provides interactive graphic tools for access, input, edit and visualisation of data. The communication unit manages the data import in the central database in which all model input parameters and process data are stored. Running permanently in the background of the computer it can automatically fetch the measured data from the local measuring stations either via SCADA-PACK or from manual input and stores them in the central database. The data can be

updated regularly in time intervals of less than five minutes duration. The data service module provides various functions to control and correct input data.

The system is composed of the following main software components:

- 1) DataCentre: The Client-Server-Architecture of the DataCentre supports a multi-user access. Meteorological and hydrological data amount can strongly vary depending on the installation requirements. Data is stored in a secured way (Recovery) therefore, the system can be recovered from hardware or human incidents. The DataCentre user interface is specialised on the central data management for the network of hydrological and meteorological stations which provide their data either automatically via radio-transmission to the DataCentre or manually on ASCII-data file or by direct input by the system operator.
- 2) Forecast System: The Forecast System FLOMATIS integrates the Rainfall-Runoff-Model (RRM) Kalypso for the hydrological processing. This deterministic, detailed, non-linear model permits the complete simulation of the landbound part of the global water balance as a reaction on observed precipitation events. The model concept is based on the successive simulation and mathematical superposition of the individual hydrological processes. Model





results are hydrographs of all vertical and horizontal processes in each subcatchment and at each drainage node. The forecast system assists the operator in situations when only few rain data are available or the user has to make assumptions about the rain distribution for a predicted rain event. For system input, predefined templates of characteristic rain or temperature sequences can be used in this way of forecasting. This functionality enables to specify special climate situations or flood events for the large catchment area. The operator can initiate additional runs, display the data from each

run and analyze the effects on flooding. The forecast system offers special tools to present the simulation results: Hydrological time-series of precipitation, temperature, discharge and derived water stages. For output results, the user defines only nodes and catchments for which mentioned simulation results should be generated. After a successful simulation, a graphic tool appears automatically and presents the results in a predefined format.

These outputs can be customized changed by user and stored to publish them in reports or internet. The water

stages can be used to derive the areas affected by flood and based on this analyze to inform the affected people in time. Due to the special user interface for parameter definition and modification, different scenarios of landuse and flood protection measures can be easily defined. Thus the model is an efficient tool for system analyses and flood management.

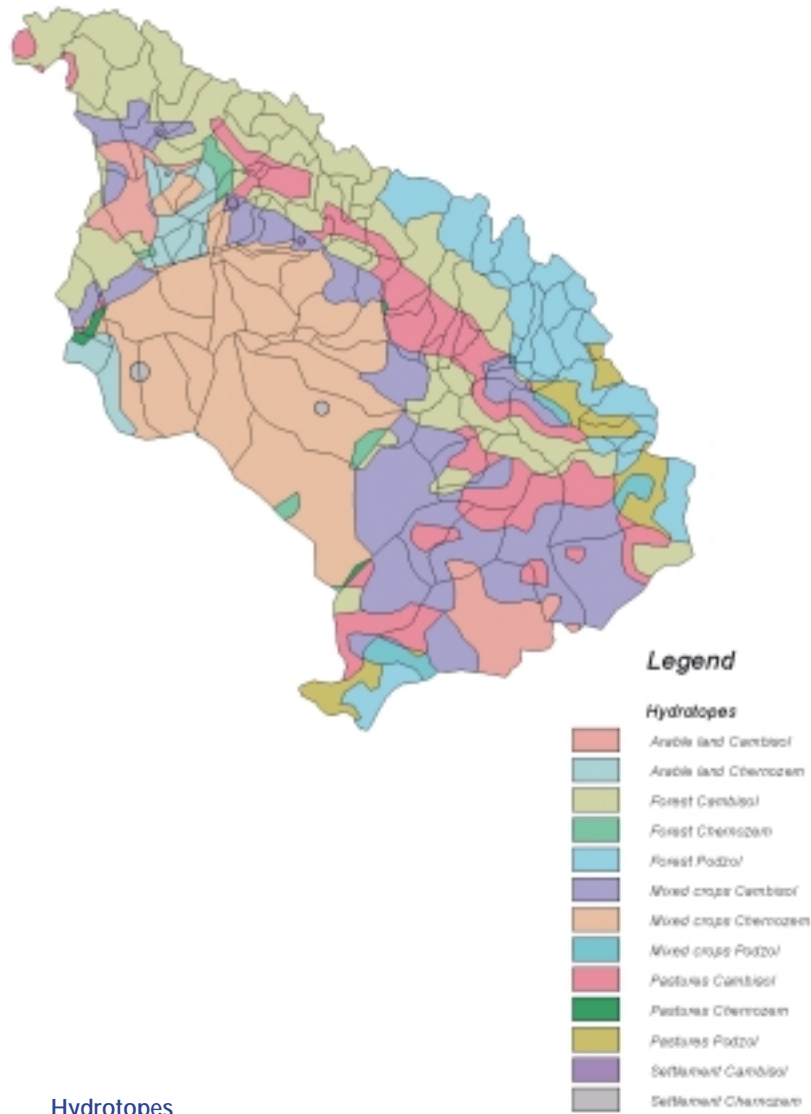
This sophisticated system relies on numerous data of topography, hydrology, landuse, pedology, geology, water usage and drainage of the catchment area. Furthermore, detailed information about climate data of flood events are needed for simulation. It was unclear if these requirements could be successfully fulfilled on the basis of the limited available inventory data. Thus the model efficiency was controlled by a pilot application in the UTRB for the flood events of 1998 and 2001 giving a clear understanding of the attainable forecast quality.

### Pilot Application of FLOMATIS

The investigated project area covers an area of about 50,600 km<sup>2</sup>. Digital cartographic data about the topography, landuse, pedology and net of water courses were incomplete. However they could be supplemented by making use of internet resources.

The variation of landuse and pedology is considered by 122 subcatchments. They were structured in a





Hydrotopes

way that each subcatchment represents one of the three regional zones of lowland, foothill and alpine. Within each subcatchment, landuse and pedology can vary that they are further structured in hydrotopes of equal landuse and pedology. For the whole UTRB about 310 hydrotopes have been formed. For each hydrotope the vertical hydrological processes are successively simulated and finally aggregated for each subcatchment before the horizontal processes are simulated. Each hydrotope is defined by 17 parameters describing soil layer, vegetation cover and percolation capacity into aquifer. Additionally about 33 parameters define the characteristics of the surface and the hydrogeology of each subcatchment. The retention and translation characteristics of the overland flow and interflow are considered by time-area diagrams of isochrones for each subcatchment. All geographical data were stored in a Geographical Information System (GIS). By map overlay the subcatchments and hydrotopes were systematically generated and their data sets of parameters referenced in the database.

The water course in the UTRB is resolved by 106 stream segments. By 107 drainage nodes they are connected with the subcatchments to the hydrological system of the UTRB. For each stream segments the retention and translation parameters of the river and flood plain cascades are derived.

Climate data have only been available for the flood events in November 1998 and March 2001 therefore a

long term hydrological modeling has not been feasible. Thus the initial conditions of the two investigated flood events had to be found by model calibration.

A strong sensitivity of the simulation results has been observed for the estimated spatial distribution of precipitation. The network of meteorological stations is not dense enough for a reliable derivation of the spatial distribution of precipitation by measurements. Due to this limited spatial distribution of rain data, correction factors were introduced by which the rainfall intensity could be adjusted for each subcatchment during the calibration.

The calibration of the high number of empirical parameters need to be done with great expertise and experience. It must lead to physically senseful parameters. Otherwise the general character of the parameters is limited and might lead to wrong forecasts for flood events not covered by the calibration.

In general the results of the pilot application are most promising. However, for a final verification more data of observed discharges at the river gauges in Hungary and Slovakia as well as simulations of further historic flood events are needed. Nevertheless this pilot study proofed the applicability of this refined forecast model in the UTRB.

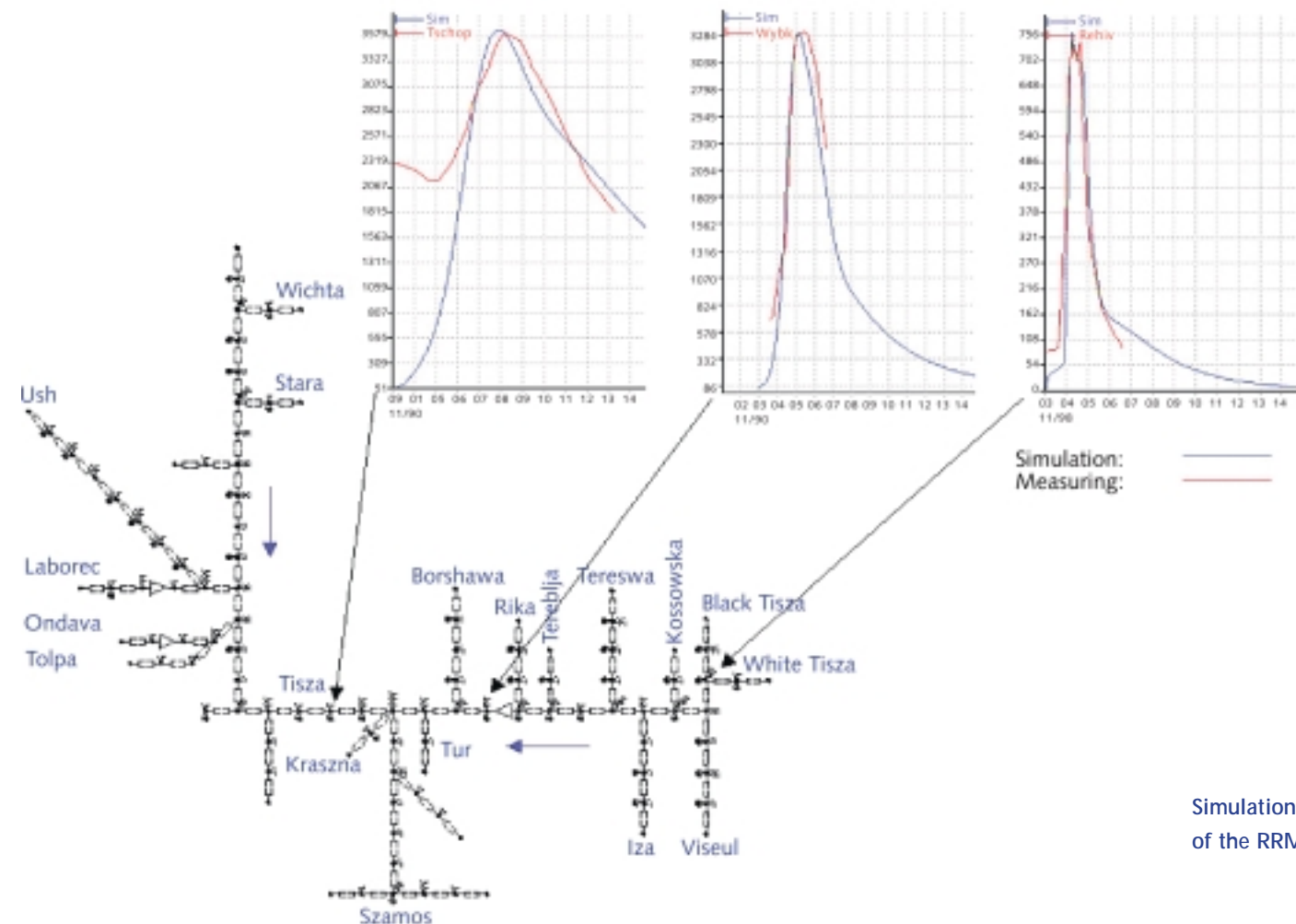
The full Forecast System FLOMATIS is installed at the Transcarpathian Industrial Administration of Melioration and Water Management (TIAMWM) in Ushgorod/Ukraine. The installation and training program

took place from the period January 15<sup>th</sup> to 25<sup>th</sup> 2003. The whole workshop was executed by three members of the consulting partners (Technical University Hamburg-Harburg, River and Coastal Engineering and Bjørnsen Consulting Engineers). They were assisted by staff members of TIAMWM who will operate the system after the installation. After the successful installation of the software components, training of staff members at TIAMWM started. Up to eight persons were educated during this workshop in the operation of the forecast system. The session included both theoretical abstracts about the system usage, functionality and test runs under real conditions.

All functions of the system were proved in the presence of staff members of TIAMWM at the end of the installation and training. The operative use of FLOMATIS could be verified by connecting three automatic stations to the central system database.

The staff members became expert with the FLOMATIS operation of forecasting.

Future activities should especially focus on the filling of data gaps. All efforts to improve forecasting will end up without substantial progress if not improvements in data monitoring and cross border cooperation can be achieved.



Simulation Results  
of the RRM Kalypso

# Polyurethan im Wasserbau

## Einführung

Zur Gewährleistung der Standsicherheit von Böschungen und Sohlsicherungen in Fließgewässern, Schiffahrtsstraßen und Küstenlinien werden im Wasserbau Deckwerke verwendet. Sie müssen vor allem einen ausreichenden Schutz gegenüber Scherkräften, Liftkräften, Porenwasserdrücken und Gleitkräften bieten, die sowohl einzeln oder in Kombination wirken können. Generell müssen Deckwerke dauerhaft hydraulischen, mechanischen und chemisch-physikalischen Einwirkungen standhalten.

Aus ökologischen und ökonomischen Gründen ist man heute bestrebt, möglichst durchlässige Deckwerke aus losen Steinschüttungen herzustellen. Auf diese Weise können einerseits die Deckwerke kostengünstig durch einfaches Schütten der Steine auch unter Wasser hergestellt werden. Je nach Einwirkung werden dabei Steine mit einem Durchmesser zwischen 5 cm und 1,20 m [1] verwendet. Andererseits stellt sich zwischen diesen Steinen ein Lückensystem (Interstitial) ein, das vielen im Wasser befindlichen limnischen Kleinlebewesen einen Lebensraum bieten kann. Gerade an Wasserbauwerken, wie Wehren, Schleusen und Rampen können sehr hohe Fließgeschwindigkeiten auftreten, so dass die Böschungen wirtschaftlich nicht mehr mit einer losen Steinschüttung gesichert werden können. Ebenso forcieren die ständig zunehmenden Wellenbelastungen an Wasserstraßen durch immer größere und

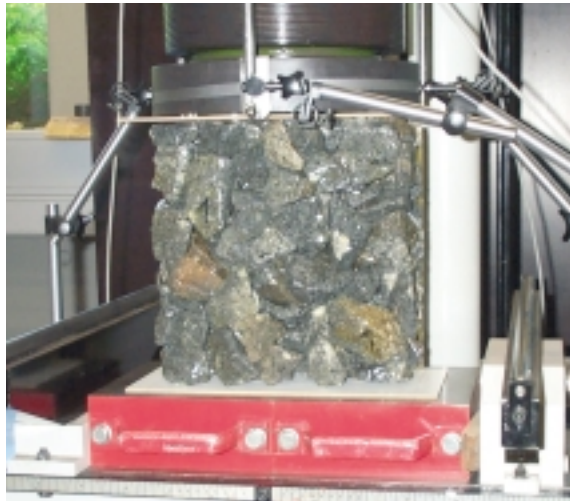
schnellere Schiffseinheiten das Versagen loser Deckwerke. Durch schiffsinduzierte und witterungsbedingte Wellen werden hohe dynamische Belastungsspitzen hervorgerufen. Daneben entstehen durch Eisgang und festgefrorene Eisschollen hohe Belastungen, so dass es zu Beschädigungen an den Deckwerken mit der Gefahr von großflächigen Gesteinsverlagerungen und Hangrutschungen kommt.

Daher sind gerade an Wasserstraßen in erheblichem Maße Unterhaltungsarbeiten zur Instandhaltung oder Wiederherstellung der Deckschicht notwendig.

Den wachsenden Belastungen versucht man mit einer Verfestigung durch Verguss der Steine mit Zementmörtel entgegenzuwirken. Bei diesem Teilverguss ist nur die obere Lage der Steine mit der Vergussmasse verklammert, wobei immer noch ein Restporenraum verbleibt, der die erforderliche Wasserdurchlässigkeit gewährleistet. Das verklammerte Deckwerk stellt aber keinen oder nur einen sehr begrenzten Lebensraum für die limnischen Kleinlebewesen dar, so dass mit dieser Art des technischen Verbaus erhebliche ökologische Nachteile verbunden sind.

## Untersuchungen zur Eignung des Verfahrens

Bereits aus der Anwendung von Polyurethan zur Befestigung von Schottersteinen auf Bahntrassen weiß man um die Festigkeit, die bei einer Verklebung von Steinschüttungen erreicht werden kann. Bei einer Verklammerung von Deckwerken mit Polyurethan werden die Gesteinsoberflächen lediglich mit einem dünnen Film überzogen, wobei die Verklammerung durch das Verkleben der Steine an den Kontaktflächen hervorgerufen wird. So wird einerseits ein Verbund durch Haftung zwischen den Steinen hergestellt, andererseits bleibt das Lückensystem zwischen den Steinen weitestgehend erhalten. In diesem Fall behält die Gesteinschüttung ihr Interstitial, erreicht aber wesentlich höhere Festigkeiten. Aufgrund dieser vorteilhaften Konstruktion ist die Möglichkeit zu einer Verbesserung des am Markt bestehenden Systems durch den Einsatz von Polyurethan zur Verklammerung von Deckwerken gegeben. Vor einer praktischen Anwendung ist die generelle Eignung dieses Verfahrens wissenschaftlich nachzuweisen. Dazu sind eine Reihe verschiedener mechanischer Belastungsprüfungen, aber auch Nachweise der Umweltverträglichkeit und Witterungsbeständigkeit sowie Mikrobenbeständigkeit zu erbringen. Die nachfolgenden Ergebnisse sind während der ersten Projektphase entstanden, die das Ziel hatte, die Frage nach der grundsätzlichen Eignung zu klären.



### Druckversuche

Zunächst sind in einer ersten Versuchsreihe Probekörper aus Granitsteinen der Wasserbausteinklasse 0 in den Abmessungen 30 cm x 30 cm x 12 cm hergestellt worden. Die Verklammerung mit Polyurethan erfolgte durch gleichmäßiges Übergießen des Probekörpers mit 3 l/m<sup>2</sup> Polyurethan. Das Versuchsziel bestand darin, eine Bewertung der verklebten Steine hinsichtlich ihrer Verbundeigenschaften zu ermöglichen und somit eine Einschätzung der Festigkeit Polyurethan-verklammerter Deckwerke zu ermöglichen. Insgesamt wurden acht Druckversuche durchgeführt.



Bei dem Versuchsablauf wird eine Druckkraft zentrisch auf den Probekörper ausgeübt. Die Durchführung der Druckversuche hat bei allen Proben zu einem ähnlichen Bruchverhalten geführt. Mit beginnender Belastung ist ein elastisches Werkstoffverhalten erkennbar. Auch bei Erreichen der Belastungshöchstgrenze verliert der Werkstoff nicht sofort seine Stabilität, da sich andere Lastpfade ersatzweise aufbauen. Die durchgeführten Belastungswechsel lassen nicht auf eine Ermüdung des Materials schließen. Die höchste aufnehmbare Last bei den Probekörpern liegt durchgehend bei 15 kN bis 25 kN. Die Ergebnisse, die aus den Druckversuchen gewonnen wurden, verdeutlichen die guten allgemeinen mechanischen Eigenschaften des Verbundstoffes.

### Ausreißversuche

In einer weiteren Versuchsreihe wurden einzelne Steine, die frei (unverkeilt) auf der Oberseite des Versuchskörpers verklebt waren, abgezogen. Ziel dieser Ausreißversuche ist die Ableitung der maximal auftretenden Spannung in den einzelnen Klebekontaktflächen.

Die Abziehkonstruktion des Versuchsaufbaus bestand aus einem Dreibock mit einem Hydraulikzylinder, an dem eine Zugstange mit einer Seilschleife angebracht wurde.



Die Auswahl der geprüften Steine erfolgte zufällig. Unmittelbar nach der Durchführung der Versuche sind die Kontaktflächen, an denen eine durch den Klebstoff erzeugte Verbindung bestanden hat, markiert worden, um eine Vermessung zu ermöglichen. Die Auswertung der Versuchsergebnisse führte zu Grenzspannungen der Stein-Klebe-Kontaktflächen von  $0,2 \text{ kN/cm}^2$  bis  $1,2 \text{ kN/cm}^2$  bei einem Mittel von ca.  $0,4 \text{ kN/cm}^2$ . Eine Einordnung des untersuchten Systems in bestehende, für die Praxis relevante Methoden ist auf der Grundlage von in der Literatur dokumentierten ähnlichen Spannungsermittlungen möglich.

So sind in Labortests der Technischen Universität Braunschweig [2] Steine, die unter Laborbedingungen mit Mörtel vergossen worden sind, einzeln durch eine

mechanische Kraft aus dem Verbundsystem herausgerissen worden. An den herausgerissenen Steinen wurde dann nach der Rekonstruktion der Kontaktflächen aus der gemessenen Ausreißkraft die Verbundspannung ermittelt.

Die Spannungen in den mit Polyurethan verklebten Kontaktstellen, die auf der Grundlage des Ausreißversuches ermittelt wurden, sind etwa sechs mal höher, als vergleichbare Werte für Mörtel. Es ist zu erwarten, dass bei einer Optimierung der Verfahrenstechnik die von der BAW in [3] angegebene Mindestverbundkraft von  $1 \text{ kN}$  je Stein für die freie Strecke eines Schiffsfahrtskanals und  $2 \text{ kN}$  für Hafenbereiche mit erhöhtem Erosionsdruck erreicht wird.

## Stand der Untersuchungen und Ausblick

In den Laborversuchen der ersten Projektphase ist deutlich geworden, dass die mechanischen Eigenschaften eines Gesteinswerkes mit Polyurethan als Verbundmittel aus wasserbaulicher Sicht als durchweg positiv zu beurteilen sind. Die hohen Zugspannungen, die in den Klebeflächen aufgenommen werden können, ermöglichen die Erstellung eines Deckwerks, das eine hohe Stabilität aufweist, die Verwendung kleinerer Steine im Vergleich zu losen Steinschüttungen sowie den Einsatz als Schutzsystem sogar für extrem erosionsgefährdete Ufer- und Sohlzonen. Diesen positiven wasserbaulichen Eigenschaften stehen auch ökologi-



sche Vorteile gegenüber, indem das Interstitial als Lebensraum für im Wasser befindliche Lebewesen erhalten bleibt. Durch dieses Lückensystem wird die ökologische Verträglichkeit eines Uferverbau deutlich erhöht. Durch eine Bepflanzung der Zwischenräume wird eine Einbindung der stark beanspruchten Uferbefestigung in eine naturnahe Flussraumgestaltung möglich.

In der zweiten Phase des Projektes werden zur Zeit die Versuche für eine abschließende Bewertung des Verfahrens durchgeführt. Dabei ist insbesondere eine Überprüfung der Beständigkeit gegenüber abiotischen Umwelteinflüssen anhand eines Labormodells von Bedeutung. Auf dieser Basis können in einem überschaubaren Zeitraum mehrjährige Witterungsbelastungen wie Temperaturschwankungen, Frostwechsel sowie Sonnenbestrahlung modelltechnisch nachvollzogen werden und so Rückschlüsse auf die Langzeitbeständigkeit des Systems gezogen werden.

Zur Klärung von Fragen der praktischen Anwendung und der Verfahrenstechnik sind Untersuchungen in einem Feldversuch in Vorbereitung. Als Versuchsstrecke ist ein Strömungsleitwerk an der Elbe bei Strom - km 635 gewählt worden. Durch die unmittelbare Nähe zum Hamburger Hafen treten sowohl bei Schiffsverkehr, als auch bei Sturm aus nordwestlichen Richtungen extreme Belastungen durch Wellen auf, die in der Vergangenheit wiederholt zu starken Schäden an den Strömungsleitwerken in diesem Bereich des

Elbe - Nordufers geführt haben. Das Bild zeigt die Lage der beschädigten Buhne mit Blick in Richtung Hamburger Hafen.

Daneben werden in weiteren Laboruntersuchungen Zusammenhänge von Steingröße, Vergussmenge und Verklammerungstiefe sowie verfahrenstechnische Fragestellungen untersucht, die die Grundlage für die Dimensionierung des Systems bei verschiedenen Beanspruchungen liefern werden.

#### Literatur

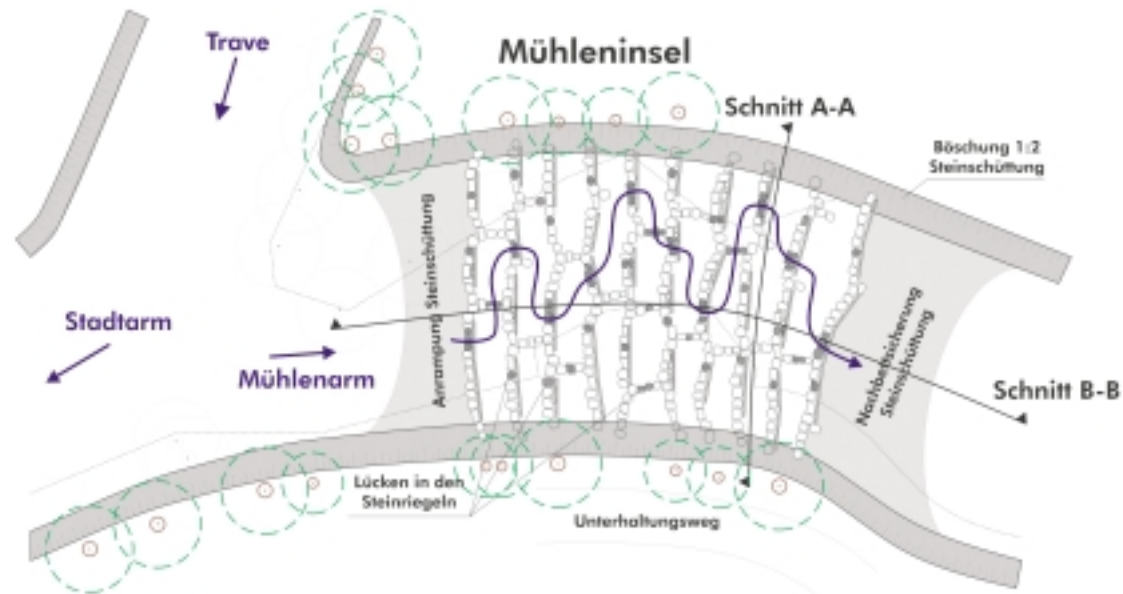
[1] Technische Lieferbedingungen für Wasserbausteine (TLW), Bundesverkehrsministerium, Bonn, Ausgabe 1984

[2] Die Stabilität von verklammerten Steinschüttungen; Abschlußbericht des Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Abteilung Wasserbau und Gewässerschutz, TU Braunschweig, Bericht Nr.833 (1998), unveröffentlicht

[3] Verklammerungswirkung durch Verguß bei einem Schüttstein-Deckwerk Bericht des Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Abteilung Hydromechanik und Küsteningenieurwesen, TU Braunschweig, Bericht Nr. 372 (1978), unveröffentlicht



## Umbau der Sohlgleite Bad Oldesloe



Lageplan

### Einleitung

Im Innenstadtbereich von Bad Oldesloe teilt sich das schleswig-holsteinische Vorranggewässer Trave in den schmalen Stadtarm und den Mühlenarm. Unmittelbar unterhalb der historischen Innenstadt vereinigen sich beide Arme wieder mit einem weiteren Zufluss. Beide Flussarme wurden aufgestaut, um die Kraft des Wassers für den Mühlbetrieb zu nutzen.

Im Jahr 1997 wurde der Mühlbetrieb der Ströh'schen Mühle eingestellt und die Stadt Bad Oldesloe erwarb die Flächen des sogenannten Pferdemarktes

einschließlich der zweifeldrigen Wehranlage. Das Wehr stellte ein für Gewässerorganismen unüberwindbares Hindernis dar. Zwar befand sich neben dem Wehr eine einfache Fischtreppe, die jedoch wegen mangelnder Lockwirkung für den Aufstieg von Fischen weitestgehend wirkungslos blieb und von Kleinlebewesen wie z.B. Wasserkäfern nicht überwunden werden konnte.

1998 entschloss sich die Stadt Bad Oldesloe, die Wehranlage in eine naturnahe Sohlgleite umzugestalten.





## Randbedingungen

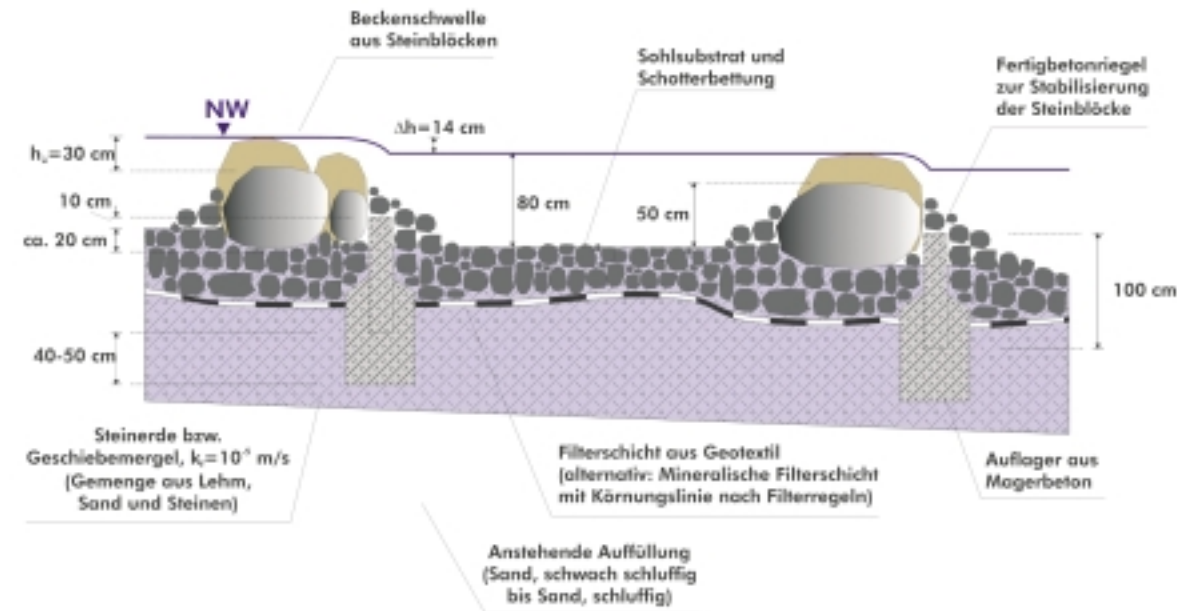
Die bisher an der Wehranlage gefahrenen Wasserstände sollten weitgehend eingehalten werden, um Veränderungen im Wasserhaushalt in den oberhalb gelegenen landwirtschaftlich genutzten Flächen und Naturschutzgebieten (Brenner Moor) zu vermeiden. Zusätzlich durfte sich der Wasserstand bei Hochwasser durch die Umgestaltung nicht erhöhen.

In der Sohlgleite sollten niedrige Fließgeschwindigkeiten erreicht werden. Auch bei Niedrigwasser sollte eine Mindestwassertiefe von 60-80 cm gewährleistet werden.

## Lösung

Über die gesamte Flussbreite des Mühlenarmes von ca. 28 m wurden in Form einer aufgelösten Rampe Riegel und Beckenstrukturen geschaffen.

In den Riegeln wurden planmäßige Lücken freigelassen, die den Niedrigwasserabfluss abführen. Einige Lücken gingen bis zur Sohle, um auch den sohnah lebenden Tieren den Aufstieg zu ermöglichen. Allerdings durften die Lücken auch nicht zu breit sein, damit die Becken der Sohlgleite bei Niedrigwasser nicht leerlaufen. Bei steigendem Abfluss sollten nach und nach auch die Steinoberkanten überströmt werden. Für den Hochwasserabfluss sollte somit die gesamte Flussbreite zur Verfügung stehen. Da die Rie-



gel bei Hochwasser ganz erheblichen Wasserkräften ausgesetzt sind, wurden sie an einigen Stellen durch niedrige Stahlbetonriegel abgestützt. In den Becken selbst wurde ein möglichst naturnahes und abwechslungsreiches Sohlsubstrat eingebracht. Die Stabilität des Untergrund wurde durch ein untergelegtes Geotextil gewährleistet.

## Kontrolle/Ausblick

Im November 2001 wurde die Sohlgleite eröffnet. Während der Öffnung und auch an verschiedenen Terminen danach wurden sowohl die Fließgeschwindigkeiten als auch die Wasserspiegelhöhen in den einzel-

nen Becken genau gemessen. Auch die Lage der Steine wurde aufgenommen, um eventuelle Veränderungen nach Hochwasserereignissen dokumentieren zu können. Die bisherigen Messungen belegen, dass die Sohlgleite ihren wasserwirtschaftlichen Zweck hervorragend erfüllt. Eine volle ökologische Bewertung der Baumaßnahme wird jedoch erst in nächster Zeit und nach umfangreichen biologischen Untersuchungen möglich sein.

Doch schon jetzt ist klar, dass die Sohlgleite auch aufgrund der einzigartigen Geräuschkulisse und der darüber errichteten Fußgängerbrücke eine echte Bereicherung für die Stadt Bad Oldesloe darstellt.



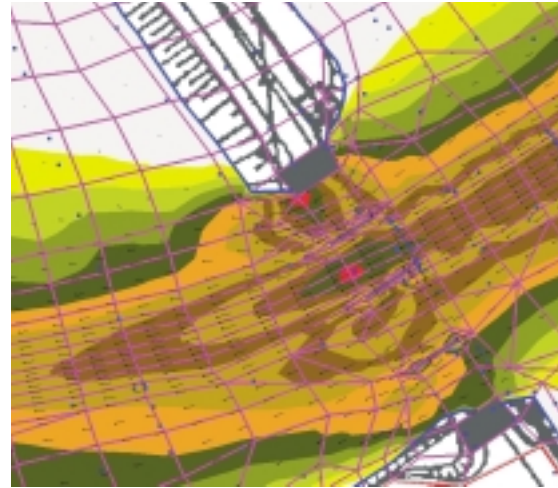
## Automatic Description of Fluvial Topography and Relief for Hydrodynamic Flood Wave Simulations

Advanced high resolution measurement strategies supply more and more densely covered terrain related information, available from satellite, airborne measurement campaigns or acoustic surveys. They provide a basis for many engineering tasks related to the element of water, such as flood hazard modelling, coastal shore protection, river bathymetry analysis, a series of hydrology tasks or glacier monitoring. Further more, they provide data for a series of nature conservancy tasks, for instance avalanche and landslide risk assessment, forest mapping and volcano monitoring. National and private commercial interests provide further incentive to develop and improve technologies providing high resolution terrain information for telecommunication suppliers, route mapping, noise protection, 3D visualisation and city planning.

This research focuses on the description of fluvial topographies, that is the river channel with its floodplains, including relevant topographic barriers towards flow, such as levees, polder areas and resistance structures.

The aim of this research is to contribute to an improved quality in hydrodynamic simulations and risk assessment on the basis of high resolution data. An automated method of terrain description will be developed, guaranteeing a required degree of trustability for the results of hydrodynamic simulation results. Predicting water depth and velocity distributions and its

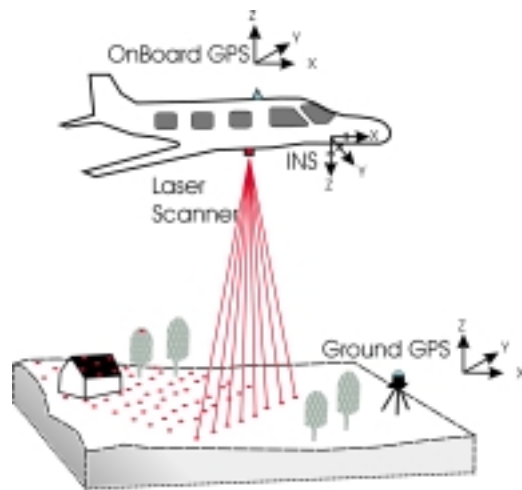
interaction with the terrain in a period of climatic change evokes a wide field of challenging problems, not only for flood situations, but also for dry season irrigation tasks, ocean dynamics and morphology.



High resolution data sources for this research are Laser Induced Direction And Ranging Measurements (LiDAR) as well as Photogrammetry. Focussing on advances for automatization of unclassified mass points, LiDAR data are the main focus within this research, as they generally do not receive manual processing. Advantages of LiDAR data are the costs and the time in which they can be obtained or updated. Experiences showed that laser scanning requires only 25% to 33% budget of photogrammetric data productions

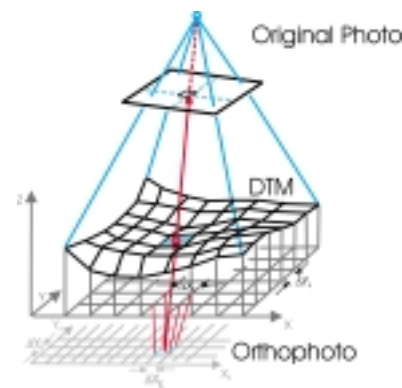
(Petzold, et al., 1999). Surveying rates of 90-100km<sub>2</sub> per hour are currently provided by commercial companies. Typical airborne laser ranging systems operate in the near infrared band at wavelengths from 1040-1060nm. Typically the pulses are short, 10ns (10kHz) in duration and of medium to high power. The beam divergence is approximately 1mrad. LiDAR measurement campaigns apply an active sensor, thus they are not limited to daylight. Illumination shadows do not exist, but occlusion by physical objects restrict ground measurements. Therefore campaigns are usually undertaken in winter or spring time. LiDAR technologies use a pulsed laser beam while scanning a swath of terrain. Usually the instrument is centred on and co-linear with the flight path of the aircraft, while the scan direction is orthogonal to the flight direction. A LiDAR system consists of four major components: transceiver, positioning system, data acquisition module and ground based processing system. The transceiver onboard of the aircraft emits during the flight pulsed laser signals and records the reflected returns. Both sources of information are used to calculate the time differences for emitted laser pulses and to derive range measurements for ground points, using the information from the aircrafts positioning system as well as the velocity of light. The aircrafts position is accomplished using either differential GPS, describing the position of the aircraft in a plane, or kinematic GPS, including a reference plane regardless of the terrain elevation. Rota-

tional positions of the laser pulse direction need to be combined with aircraft pitch, roll and heading values determined with an inertial navigation system (INS) and lead, together with the range measurements to accurate coordinates of points on the surface of the terrain.



Mass data handling start during the LiDAR measurement campaign, when for every emitted single pulse frequency multiple echoes are received from the backscatter: the so-called first and last pulse, being the response of the reflecting ground surface. The recordings of the first pulse are used to obtain the Digital Surface Model (i.e. the DSM, including for instance houses, trees or cars), those of the last pulse to determine point

measurements of the altitude of Digital Terrain Model (i.e. the DTM, being the true ground of the terrain). The time between first and last pulse, or DSM minus DTM, reflects upon the height differences of detected objects on the ground. The LiDAR measurement campaign does only cover the topography of the river floodplains, ship echo soundings cover the bathymetry and need to be merged to one terrain model.



The challenge of this research is to automatically recognize terrain features dominating the flow characteristics in flood simulations. These features need to be represented appropriately for hydrodynamic simulations applying the finite element method (FEM). Representing these features in the finite element model of the terrain is an essential step, and it is an idealisation, being nothing else than a simplification.



High resolution terrain data is one approach to reduce uncertainty for the abstract representation of the terrain with its relevant features, another are the classical field measurement of relevant points, which need to be suitably chosen for FEM mesh generation and the hydrodynamic simulations.

The requirements of 2D FEM hydraulic flood models can be summarized as follows (Cobby et. al., 2003):

- Triangular or quadrilateral finite elements,
- Elongated channel elements reducing computational costs,
- Almost equilateral floodplain elements minimizing mass balance errors,
- Variable element sizes optimising results resolution and costs and
- Smooth transitions between small and large elements promotion model stability.

Fig. above:  
Bathymetry Measurement  
Campaign

Fig. left:  
LiDAR Measurement  
Scheme

Fig. right:  
Orthophoto Production  
Scheme

Research in the field of automatic mesh generations for hydrodynamic simulations indicates, that extra channel form information from high resolution bathymetries does not significantly contribute to increase the accuracy of simulation model. Instead simulation results of the hydrodynamics have been found to be more sensitive to terrain discretisation errors, arising as effect of the mesh production (Taylor, 1998). It is obvious, that the currently developed methods for an automatization of terrain discretisation need to asses reliability and confidence of single measurements, as well as the terrain analysis needs to undergo several stages of logical concatenation and exclusion criteria.

Terrain analysis prior to model discretisation comprises several stages, such as

- terrain feature analysis via edge point detection and their concatenation to breaklines,
- removal of spurious measurements or detected objects structures ignorable for hydrodynamic simulations,
- definition of terrain boundaries for the simulation, reducing required numerical efforts and
- river channel and floodplain discretisation.

Indispensable for the verification of detected terrain features as well as the assessment of local distortions in the DSM or remaining blunders after filtering in the DTM are orthophotos taken during the measurement

flight, photos being rectified to the DTM, giving a vertical view onto the earth's surface.

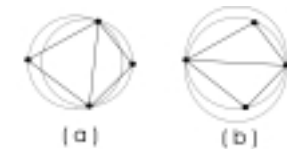
Different approaches for surface representations are commonly available, distinguishable are

- Polygonal Meshes (also called planar facets or faces),
- Trinagular Irregular Networks (TINs),
- Polynomial Surface Patches,
- Tensor Product Surfaces or
- Grid DEMs (points on a regular lattice).

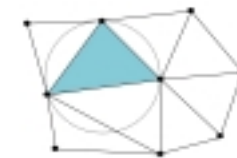
The concept for mesh automatization covers a two step process: First, terrain features are extracted, based on Grid DEM representation and terrain analysis. This choice has been made as consequence of two facts: image analysis tools provide matured methods for feature extraction and are basis for many standard software (e.g. Arcview or Erdas). The commonly discussed inferiority of Grid DEMs compared to TINs with regards to slope accuracy is considered to be not detrimental for feature extraction, as slope is used to classify terrain features, rather than constituting their true slope. The second step comprises the representation of detected features as breaklines during the Finite Element Mesh production. Three popular mesh generation methods for two-dimensional mesh generation can be distinguished (Owen, 1998):

- Quadtree decomposition techniques,
- Advancing Front Techniques and
- Delaunay Triangulations.

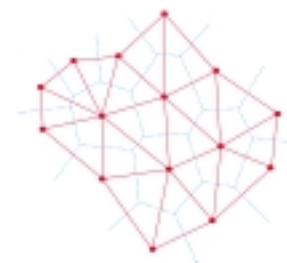
The Delaunay criterion is chosen for mesh generation, being the most popular method for triangular mesh generations. Using the circumcircle of the triangular elements it states, that not one node of another element may be contained within that area. The Delaunay criterion does not govern the node placement but merely the connection of a node set, e.g. the triangulation (a) Delaunay conform, but (b) is not.



Triangulation Choices



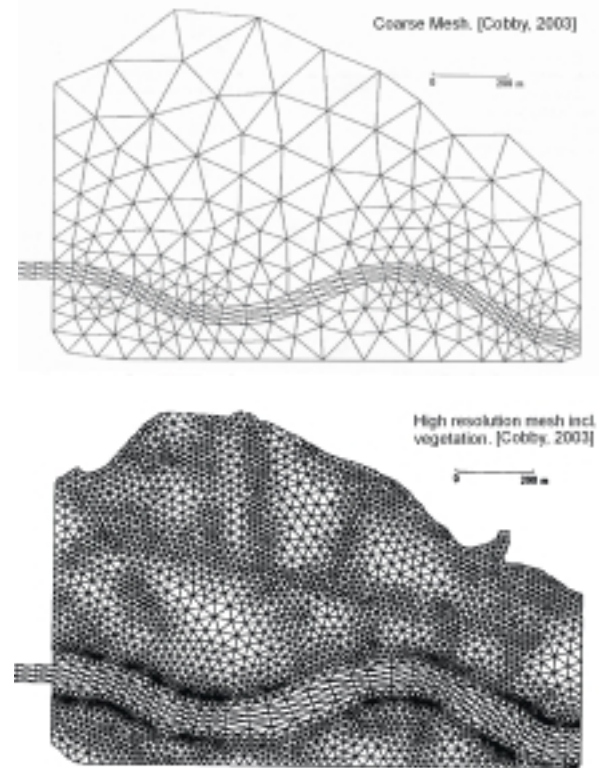
Delaunay Triangles



Voronoi / Delaunay Tesselation

Maximizing the minimum angle in a mesh provides low aspect ratios for the elements, thus it contributes to numerical stability for the equation solution. Further mesh optimisation strategies can comprise mesh refinement, reconnections to maximising the number of nodes surrounded by six elements (the ideal valance giving equilateral triangles) or Laplacian smoothing, iteratively shifting nodes to the centroid of its connected neighbouring nodes. Being a method for two-dimensional mesh generation, the elevation component needs to be interpolated for the resulting finite element mesh after the Delaunay triangulation. This interpolation is based on the measured high resolution DTM.

Automatic roughness representation for vegetation on the floodplains has been excluded from the focus of this research. First publications indicate, that the representation of features such as hedges and trees on the floodplains, occupying a small area (about 5% of the floodplain), influence the water level almost insignificantly (about 0.01%). Their impact on the average floodplain velocity is low (about 3%). Groups of taller vegetation can raise significant local increases of the flow velocity, observed maximum increased reached about 10% (Cobby et.al., 2003). The required increase of required nodes and elements by a factor of 10 seems to be not appropriate for investigation of basic relations for FE mesh generation.



In current applications of hydraulic and hydrological computational fluid dynamics, mesh resolution is the only unbounded parameter value, where specific boundaries and error bands have not been considered up to now (Hardy et. al., 1999). These authors found, that a wide variation of mesh discretisation can fulfil the traditional length-scale based construction of FEM-meshes in hydro-engineering and conclude, that mesh resolution effects were at least as important as the effects of a typical calibration parameter. A model response is highly complex. Even using the best available

knowledge of process length scales in compound channels, one can not define which of these meshes is optimum. These statements raise a series of open questions for the PhD thesis of this research, such as the rules for defining FE meshes, allowing stable hydrodynamic simulations while providing simulation results, being independent from topographic resolution, in conjunction with giving the best approximation of the true terrain.

#### References:

- Cobby, D.M., Mason, D.C., Horritt, M.S., Bates P.D., 2002. Two-dimensional hydraulic flood modelling using finite-element mesh decomposed according to vegetation and topographic features derived from airborne scanning laser altimetry. *Hydrological Processes* (in press).
- Petzold, B., Reiss, P., Stössel, W., 1999. Laser Scanning- surveying and mapping agencies are using a new technique for derivation of digital terrain models. *Elsevir, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, Vol. 54 (1999) p. 95-104.
- Taylor, A., 1998. Does detailed channel form information significantly increase the accuracy of 2D numerical river inundation models? B.Sc.thesis, University of Bristol. [www.hohum. demon. co.uk/diss/textetc]
- Hardy, R.J., Bates, P.D., Anderson, M.G., 1999. The importance of spatial resolution in hydraulic models for floodplain environments. *Journal of Hydrology*, Vol. 216, p. 124-136.

Coarse vs.  
Fine Mesh Resolution:  
vegetation representation



## Internet-basiertes E-Learning an komplexen Simulationsprogrammen

In der Ausbildung des Studienganges Bauingenieurwesen und Umwelttechnik werden die Studierenden in verschiedene Programme zur Simulation statischer und dynamischer Prozesse eingeführt. Bisher ist das Arbeiten mit diesen Simulationsprogrammen nur in speziellen Rechner-Poolräumen während der regulären Übungsveranstaltungen möglich. Da die Simulationsprogramme in ihrer Handhabung sehr unterschiedlich ausfallen, müssen sich die Studierenden mehrfach in Grundfunktionen von Simulationsmodellen einarbeiten. Hierdurch geht viel Zeit für die eigentliche Fachausbildung verloren.

Jetzt soll auf der Basis einer Internet-basierten E-Learning-Umgebung eine einheitliche Grundversion für Simulationsprogramme des Bauingenieurwesens zur Verfügung gestellt werden. Auf diese haben die Studierenden jederzeit Zugriff und in diese lassen sich

die verschiedenen Prozesse aus den unterschiedlichen Fachdisziplinen je nach Problemstellung einbinden. Für die Analyse der von den Studierenden erzeugten Datensätze können verschiedene Programme zur Prüfung der Datenkonsistenz, Parameterplausibilität und Quantifizierung des Lernerfolges benutzt werden.

### Beispiel Szenario einer Anwendung im Fach Simulation im Wasserbau

Der Student startet seinen Web-Browser und navigiert in gewohnter Weise über die Seiten der E-Learningplattform der Universität zu seinem Simulationskurs „Simulation im Wasserbau“. Dort startet er über den Internetbrowser die im Rahmen dieses Projektes entstehende Simulationsapplikation, beispielsweise zur Strömungsberechnung im Fach „Simulation im Wasserbau“.

Über die Programmoberfläche hat der Student Zugriff auf seine Simulationsprojekte, die auf einem zentralen Server im Internet gespeichert werden. Er wählt je nach Aufgabenstellung ein Modell aus und führt die Modellierung mit den ebenfalls bereitgestellten graphischen Werkzeugen durch. Die Erstellung eines Strömungsmodelles für Fließgewässer umfaßt beispielsweise die Netzerzeugung und Einstellung der richtigen Modellparameter, hier der Rauigkeitswerte von Gewässersohle und Vorländern.

Die Berechnung läßt der Student dann auf einem zentralen Simulationsserver durchführen. Mittels Drag&Drop wird das erstellte Strömungsmodell aus der Projektansicht direkt zur Server-basierten Strömungsberechnung in Auftrag gegeben.

Die Simulationsberechnungen werden dann serverseitig - vergleichbar mit einem zentralen Druckerdienst - sequentiell abgearbeitet. Die Ergebnisse, hier Wasserstände und Fließgeschwindigkeiten können mit den Werkzeugen der Programmoberfläche visualisiert und analysiert werden. Im Vergleich verschiedener Ergebnisse und sukzessiver Optimierung des Modelles erlernt so der Student die Sensibilität der Parameter zur Kalibrierung und Erzeugung eines Strömungsmodelles.

### Technischer Hintergrund

Die grundlegende Idee zur Realisierung besteht darin, Technologien aus den Bereichen E-Learning, Simulation und OpenGIS miteinander zu verbinden und in ihrer Gesamtheit im E-Learning-Bereich einzusetzen.

Für die Simulationen werden bestehende Programme eingesetzt. Die Einbindung in die E-Learning-Oberfläche erfolgt so allgemein, daß Simulationen mit geometrisch/geografischen Modelldaten generell – also auch Simulationen außerhalb des Bereiches Wasserbau nach geringen Anpassungen eingesetzt werden können. Die Anpassungen beschränken sich dabei im

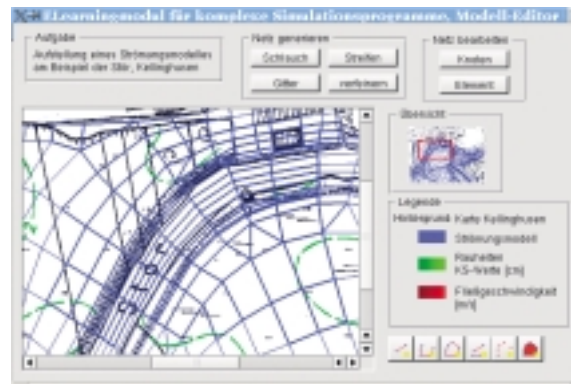
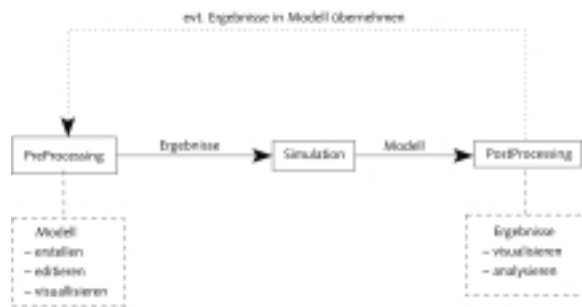


Abb. 1:  
Anwendungsbeispiel  
im Fach Wasserbau



wesentlichen auf die Unterstützung der speziellen Datenformate. Serverseitig wird daher ein Framework zur Einbindung unterschiedlicher Simulationsprogramme zur Verfügung gestellt.

Die im Wasserbau am häufigsten eingesetzten Simulationsarten sind die Niederschlag-Abfluss-Simulation, sowie die ein- und zweidimensionale Strömungssimulation. Zunächst wird zur Unterstützung der Vorlesung „Simulation im Wasserbau“ am Arbeitsbereich Wasserbau ein Modul zur Strömungsberechnung eingebunden. Weitere Simulationen können modular hinzugefügt werden.

Zwischen Datenhaltung, grafischer Oberfläche und dem Simulationsprozess erfolgt eine strikte Trennung. Die einzelnen Komponenten kommunizieren dabei internetbasiert über standardisierte Protokolle (W3C, OGC) und lassen sich so auch räumlich getrennt als Server-Client-Architektur realisieren.

Die Modelldaten werden dazu in einer Datenbank,

im Internet erreichbar über einen Server, gespeichert. Zur Interoperabilität der einzelnen Module wird auf offene Standards gesetzt, u.a. XML und XML-Schema. Zur geographisch/geometrischen Informationsverarbeitung dienen die vom Open-Gis-Consortium (OGC) definierten Standards GML, WMS, WCS, WTS und WFS.

Die internet-basierte Visualisierung von Vektordaten läßt sich mittels OGC Web Map Server (WMS) erreichen. Für die Darstellung von Rasterdaten eignet sich ein OGC Web Coverage Service (WCS), und ein OGC Web Terrain Server (WTS) ermöglicht 3D-Visualisierungen von Landschaften und Objekten. Mit diesen Services lassen sich in einem Standard-Web-Browser bereits ohne die Verwendung von Plugins Modelldaten und Ergebnisdaten darstellen. Die Möglichkeit zur Bearbeitung der Modelldaten wird durch den Einsatz eines OGC Web Feature Service (WFS) und die Implementierung der entsprechenden Clientfunktionalität in der E-Learning-Oberfläche realisiert.

Die Verwendung von standardisierten Zugriffsmethoden ermöglicht optional eine Kopplung mit kommerziellen GIS-Systemen. Dadurch lassen sich bestehende Projektdaten integrieren und beispielsweise als Übungsaufgabe für die Studierenden nutzen.

Die gesamte Oberfläche wird schließlich in eine vorhandene E-Learningplattform eingebettet. Dabei werden insbesondere in der Plattform verfügbare Kommunikations- und Dokumentationsmodule, sowie

Möglichkeiten zur Authentifizierung und Administration in Kombination mit dem Simulationsmodul genutzt.

Die technischen Details bleiben für die Studierenden unsichtbar, sie können alle Funktionen direkt über die Programmoberfläche erreichen,

Dieses Projekt wird von der Behörde für Wissenschaft und Forschung im Rahmen des Hamburger Sonderprogrammes „Projektförderung E-Learning und Multimedia“ gefördert. Die Laufzeit begann im Februar 2003 und endet zum August 2004.

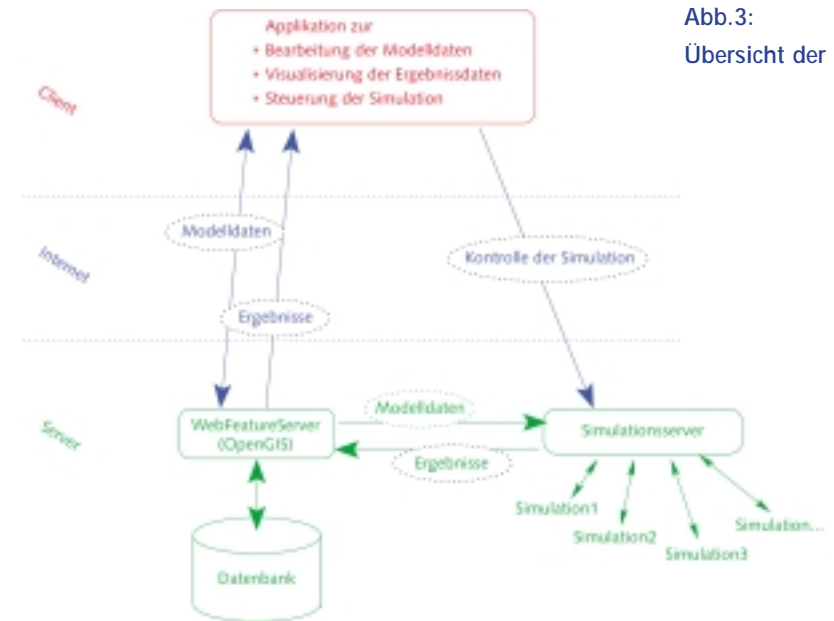


Abb.3: Übersicht der Komponenten

Abb.2: Prinzip der Simulation

## E-Learning im Wasserbau

### 1. Problemanalyse und Lösungsvorschläge

Zu den Lehrinhalten des Wasserbaus zählen die Fachgebiete „Hydraulik“ und „Simulation im Wasserbau“. Sie liefern die Bemessungsgrundlagen für den konstruktiven oder auch den naturnahen Wasserbau. In beiden Fachgebieten sind umfangreiche mathematisch-physikalische Grundlagen zu vermitteln. Diese werden aufgrund des stark theoretischen Charakters nur sehr schwer von den Studenten verstanden. Wird jedoch in der Lehre stärker auf die natürlichen Prozesse und Phänomene (z.B. Wirbelbildung, Grenzschichtströmung) Bezug genommen und der Lehrinhalt zu einer erfahrbaren Disziplin erweitert, so wird den Studenten der theoretische Zusammenhang wesentlich einfacher klar. Im Wasserbau hat man daher in der Vergangenheit häufig auf Labormodelle zur Veranschaulichung hydraulischer Phänomene zurückgegriffen. Jedoch stellt der aufwendige Versuch im Labor nur eine Momentaufnahme dar, die den Studenten später im Eigenstudium nicht mehr zur Verfügung steht. Das Ziel der engen Kopplung von physikalischem Phänomen und daraus abgeleiteten theoretischen Grundlagen lässt sich wesentlich besser mit Hilfe multimedialer Lerneinheiten in die Lehre integrieren. Hier bieten sich z.B. kommentierte Videoaufnahmen von Laborversuchen an.

Weiterhin müssen die Studenten in den Fachgebieten „Hydraulik“ und „Simulation im Wasserbau“ einfache Simulationsprogramme zur Beschreibung von Strömungen selbst entwickeln bzw. den Umgang mit kommerziellen, sehr komplexen Programmen erlernen. Im Rahmen der Übungsveranstaltungen ist dies nur begrenzt realisierbar und verlangt in erheblichem Maße ein Eigenstudium. Die bisherige Lern- und Lehrmethode erlaubt nur in sehr geringem Maße eine Eigenkontrolle. Die Studenten erkennen erst im Rahmen der Prüfungsvorbereitung, dass die notwendigen Fähigkeiten nur begrenzt vorhanden sind. In dieser späten Phase sind derartige Defizite kaum noch zu korrigieren. Auch diese Probleme in der wasserbaulichen Ausbildung lassen sich durch den Einsatz multimedialer Lerneinheiten lösen, indem den Studenten Internetbasierte, sogenannte interaktive Trainer für das Heimstudium angeboten werden.

Zur Bereitstellung der beschriebenen multimedialen Lerneinheiten bietet sich die Nutzung einer im Internet verfügbaren E-Learning-Plattform an. Hauptbestandteile solcher Lernplattformen sind Inhalte in Form von Texten, Bildern, Animationen, Audio- und Videodateien. Als Kommunikationsmittel dienen Email, Bulletin-Board und Chat. Eine E-Learning-Plattform ohne Kommunikationsmittel wird im folgenden als E-Learning-Umgebung bzw. vereinfacht als Lernumgebung bezeichnet.

### 2. Realisierung der Lösungsvorschläge

Im Rahmen des laufenden Förderprogramms des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) „Neue Medien in der Hochschullehre“ sind zahlreiche E-Learning-Projekte ins Leben gerufen worden. Der Arbeitsbereich Wasserbau der TUHH hat sich im Rahmen dieses Förderprogramms an einem Verbundprojekt beteiligt. Weitere zum Verbund gehörende Hochschul-Fachbereiche bzw. -Institute sind:

- Bauhaus-Universität Weimar – Fakultät Bauingenieurwesen
- Universität Hannover – mit den Fachbereichen Bauingenieurwesen, Landschaftsarchitektur und Umweltentwicklung und dem Fachsprachenzentrum
- TU Braunschweig – Fachbereich Bauingenieurwesen
- Ludwig-Maximilians-Universität München – Institut für Allgemeine und Angewandte Geologie

Der gemeinsame Projektname FLUWU steht für FernLernUmgebung im Themenbereich Wasser und Umwelt. Dabei sind durch die einzelnen Projektpartner die verschiedensten Fachgebiete in diesem Themenbereich von „Ökologie der Gewässer“ über „Wasserwirtschaft und Hydrologie“, „Grundwasser und Bodenschutz“, „Küstenschutz“, „Abwasseraufbereitung“, „Wasser-

gewinnung und Wasserversorgung“ bis hin zu „Fach-englisch“ und „Wasser- und Umweltrecht“ als Bestandteile einer großen universitätsübergreifenden E-Learning-Plattform erarbeitet worden.

Am Arbeitsbereich Wasserbau der TUHH erfolgte die Erstellung der E-Learning-Inhalte für die Fachgebiete „Hydraulik“ und „Simulation im Wasserbau“. Dazu ist als erstes der Inhalt der Lehrveranstaltungen unter veränderten didaktischen Gesichtspunkten umstrukturiert und überarbeitet worden. Als zweites mussten sämtliche Abbildungen digital neu gezeichnet bzw. „restauriert“ werden. Inhalte als auch Abbildungen sind dann zu HTML-Seiten zusammengefügt und in die sehr einfache E-Learning-Umgebung To/oL implementiert worden.

To/oL ist eine nichtkommerzielle Lernumgebung, die im Rahmen eines Projektes an der TU Braunschweig entwickelt wurde. Sie ist in JavaScript realisiert worden, muss nicht installiert werden und funktioniert in jedem Browser problemlos. Sie ermöglicht das Einbinden der auf Hunderte HTML-Seiten verteilten Inhalte in eine übersichtliche, strukturierte Navigation. Im Text verlinkte Literatur- und Abbildungsverzeichnisse erleichtern die Suche nach Quellen, Fotos und Definitionsskizzen.

Die E-Learning-Umgebungen „Hydraulik“ und „Simulation im Wasserbau“ sind in jeweils zwei verschiedenen Versionen verfügbar. Zum einen ist eine Version für das selbstständige Bearbeiten durch die

Studenten entwickelt worden (Voll- bzw. Web-Version). Die zweite Version ist ausschließlich für den Einsatz in Lehrveranstaltungen konzipiert (Vorlesungs-Version). Die Inhalte beider Versionen unterscheiden sich wesentlich voneinander:

### 2.1. Web-Version der Lernumgebung

Die Voll- bzw. Web-Version der Lernumgebung enthält HTML-Seiten mit dem Volltext des Skriptes und den dazugehörigen Formeln und Abbildungen. Zahlreiche Begriffe sind zum leichteren Auffinden mit einer dazugehörigen Erläuterung verlinkt. Literatur- und Abbildungsverzeichnisse sind ebenfalls aktiviert. Die enthaltenen Videodateien sind aufgrund der sonst sehr langen Downloadzeiten über das Internet stärker komprimiert, als die der Vorlesungs-Version.

Der große Vorteil der Lernumgebung gegenüber einem herkömmlichen, auf Papier ausgedruckten Skript sind aber nicht diese einfachen Verlinkungen und Funktionen, sondern der enthaltene interaktive Trainer. Er ermöglicht das selbstständige, gegebenenfalls geführte Bearbeiten komplexer Übungsaufgaben. Nähere Erläuterung zum interaktiven Trainer sind in Kapitel 3.1 zu finden.

### 2.2. Vorlesungs-Version der Lernumgebung

Diese Version der Lernumgebung ist für den Einsatz mit Laptop und Beamer in den Lehrveranstaltungen konzipiert. Die HTML-Seiten der Vorlesungs- oder kurz

VL-Version enthalten zwar alle Abbildungen und die wichtigsten Formeln, aber nur stichpunktartige Auszüge aus dem Skript. Die VL-Version führt den Lehrenden und die Studenten wie ein „roter Faden“ durch die Vorlesung, ohne durch umfangreiche Textdarstellung von der Präsentation des Lehrenden abzulenken. Dieser hat wie gewohnt die Möglichkeit Herleitungen an der Tafel vorzurechnen oder ergänzende Ausführungen zu machen. Der Focus auf das Wesentliche bleibt aber durch die dauerhafte Präsenz des aktuellen The-

Lernumgebung To/oL

Hydraulik-Lernumgebung

1.1.2.1 Wirkung von Schubspannungen auf Festkörper

Unmittelbar nach Aufbringen einer Schubspannung verformt sich ein Festkörper um einen bestimmten Betrag  $\epsilon$  (Abb. 1.1 und 1.2). Am Ende der Verformung tritt ein **statisches Gleichgewicht** ein. Wird die einwirkende Schubspannung nicht verändert, verhält der Körper in eingennommenen Verformungszustand.

Die Schubspannung  $\tau_{xy}$  ist proportional der Verformungsgröße  $\epsilon$ . Diese Beziehung kann, ergänzt durch einen stoffabhängigen Proportionalitätsfaktor, als Formel (1.1) angegeben werden und ist allgemein als **Hooke'sches Gesetz** bekannt. Der Proportionalitätsfaktor  $G$  ist das Schubmodul - eine Stoffkonstante.

Abb. 1.1: unverformter Zustand

Abb. 1.2: verformter Zustand

Das Hooke'sche Gesetz:  $\tau_{xy} = G \cdot \epsilon$  (1.1)



### Videoaufnahmen in der Lernumgebung

mas in der Lernumgebung erhalten. Den Studenten wird deutlich klarer in welchem Kontext die gerade gemachten Ausführungen zum Inhalt des Skriptes stehen. Der Vorteil gegenüber sonst weit verbreiteten Powerpoint-Präsentation liegt in der freien und übersichtlichen Navigation zwischen den einzelnen Inhaltsseiten. Ein ungeplanter, schneller Wechsel zu vorherigen Kapiteln stellt den Lehrenden bei Powerpoint-Präsentationen bereits vor Schwierigkeiten. Außerdem muss für die Darstellung der Präsentation ein lizen-

pflichtiges Programm auf dem verwendeten Laptop installiert sein. Die Lernumgebung lässt sich mit jedem kostenlos downloadbaren Browser anzeigen und benutzen.

Die in der VL-Version enthaltenen Videos sind von hoher Qualität. Die Dateigröße spielt hier im Vergleich zur Web-Version eine untergeordnete Rolle, da die gesamte Lernumgebung auf der Festplatte des Präsentations-Laptops gespeichert ist. Die VL-Version der Lernumgebung wurde bereits erfolgreich in der Lehre eingesetzt.



### 2.3. Synergieeffekte

Beide Versionen der Lernumgebung sind ähnlich im Layout, haben identische Inhaltsverzeichnisse und werden über die gleiche Navigation bedient. So können die Studenten in der Lehrveranstaltung behandelte Inhalte oder multimediale Lerneinheiten leicht bei der Nachbereitung zu Hause mit Hilfe der Web-Version wiederfinden

## 3. Multimediale Lerneinheiten

### 3.1. Interaktiver Trainer

Folgendes Szenario soll die Vorteile des interaktiven Trainers gegenüber herkömmlichen Übungsaufgaben darstellen:

Für das Bearbeiten einer komplexen Aufgabenstellung fehlt dem Studenten der erste entscheidende Ansatz oder ein wichtiger Zwischenschritt. Folglich wird die Aufgabe nicht oder nur teilweise bearbeitet oder (so verfügbar) die gesamte Musterlösung eingesehen. Woher der Ansatz bzw. die folgenden Lösungsschritte kommen, bleibt meist unklar. Der Lernerfolg bleibt aus.

Der interaktive Trainer bietet nun, für den Fall, dass die Lösung der Aufgabe nicht selbstständig ermittelt werden konnte, die geführte Lösung in einzelnen Teilschritten an. Dazu wird die komplexe Gesamtaufgabe in kleinen, leichter lösbaren Teilaufgaben bzw. Teilschritten präsentiert. Der darauffolgende Teilschritt kann nur nach erfolgreicher Lösung des vorhergehenden Teilschrittes bearbeitet werden. Bereitet selbst die Lösung der Teilschritte Probleme, kann auf eine direkte Hilfe zugegriffen werden. Es gibt zwei unterschiedliche Hilfeformen in Abhängigkeit von Ursache des Scheiterns. Wenn der Hilfe-Aufruf auf einen Mangel an Grundlagenwissen zurückzuführen ist, wird auf die entsprechenden Skriptseiten in der Lernumgebung verwiesen. Diese sind über einen Link sofort und gezielt aufrufbar. Ist der Hilfe-Aufruf auf die falsche Anwendung eines Verfahrens bzw. einer Formel zurückzuführen, wird die entsprechende Vorgehensweise in der Hilfe ausführlich erläutert.

Die Lösung einer komplexen Übungsaufgabe ist also nahezu unabhängig von den Vorkenntnissen immer möglich. Somit ist ein Erfolgserlebnis beim Bear-

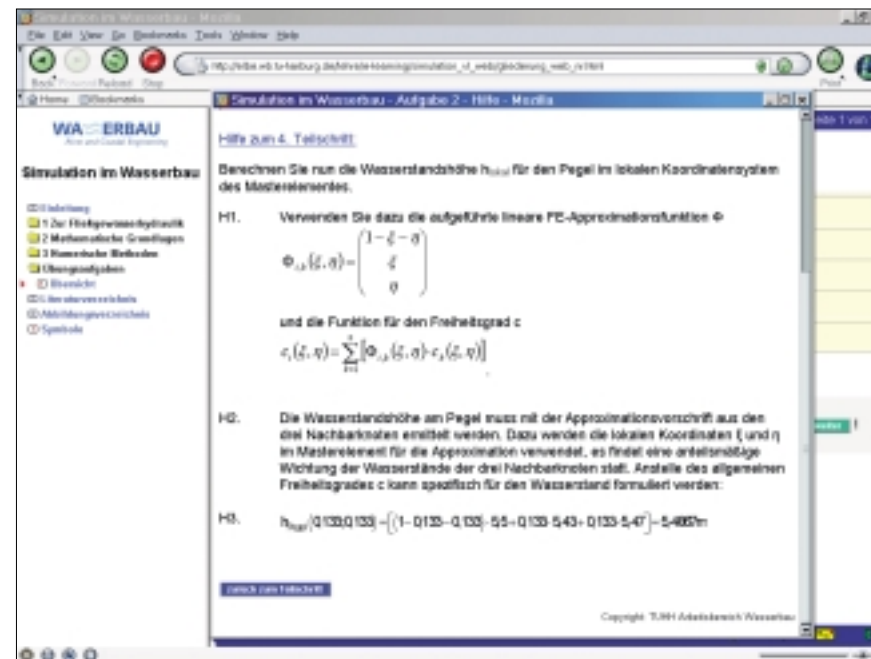
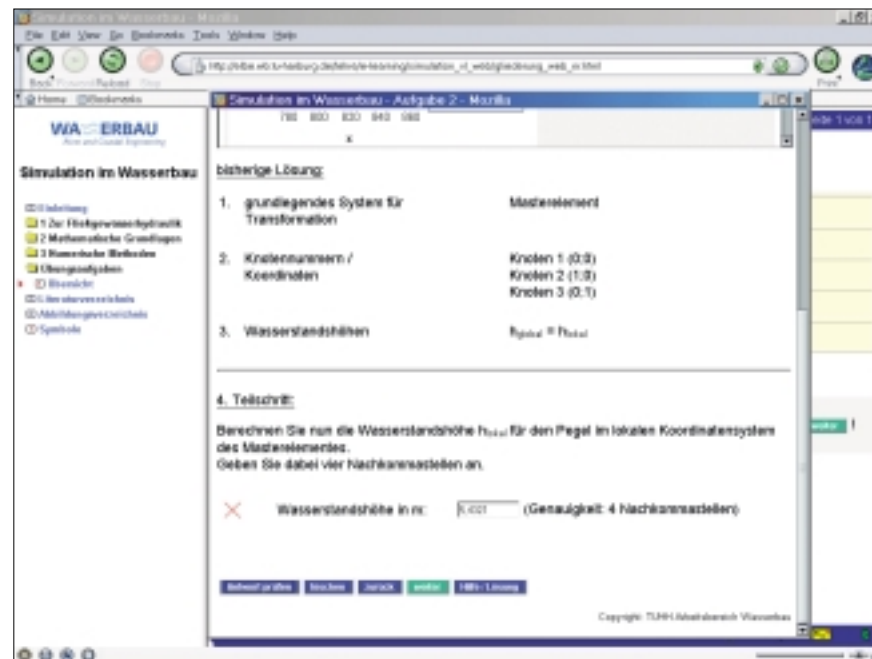
beiten garantiert und das Interesse an weiteren Übungsaufgaben hoffentlich gegeben. Ein häufiger Aufruf der Hilfe offenbart Wissensdefizite und soll den Studenten zum Nacharbeiten im Selbststudium anregen.

### 3.2. Videoaufnahmen von Laborversuchen

Wie bereits in Kapitel 1 angedeutet, lassen sich strömungsphysikalische Phänomene und daraus abgeleitete theoretische Grundlagen besonders gut mit Hilfe

kommentierter Videoaufnahmen vermitteln. Dazu wurden sowohl im eigenen Wasserbaulabor, als auch an Versuchseinrichtungen anderer Arbeitsbereiche und in natürlichen Flussläufen Strömungsphänomene mit Hilfe einer digitalen Videokamera aufgenommen. Das Videomaterial wurde auf einen PC überspielt und dort mit einem Videoschnittprogramm weiterbearbeitet. Zur Bearbeitung gehören die Selektierung der verwendbaren Videosequenzen, die Erstellung eines Drehbuches, der eigentliche Videoschnitt, das Einfü-

gen von Untertiteln und Erklärungen. Als anspruchsvoll aber auch besonders hilfreich in der Lehre hat sich das Einarbeiten von erläuternden Animationen in das Videomaterial herausgestellt. Bisher wurden derartige Videofilme vorrangig für die Lehrveranstaltung „Hydraulik“ erstellt. Videofilme von Hochwasserereignissen, Baumaßnahmen an Gewässern und Wasserkraftanlagen werden aber auch in den Lehrveranstaltungen „Wasserbau“ und „naturnaher Flussbau“ Verwendung finden.



Interaktiver Trainer in der Lernumgebung (rechts die aufgerufene Hilfefunktion)

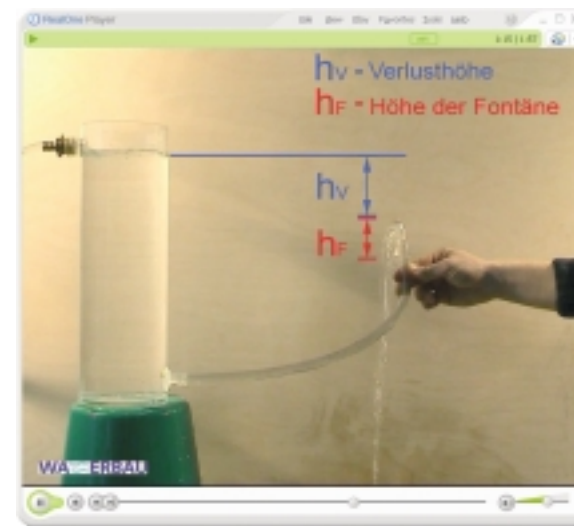
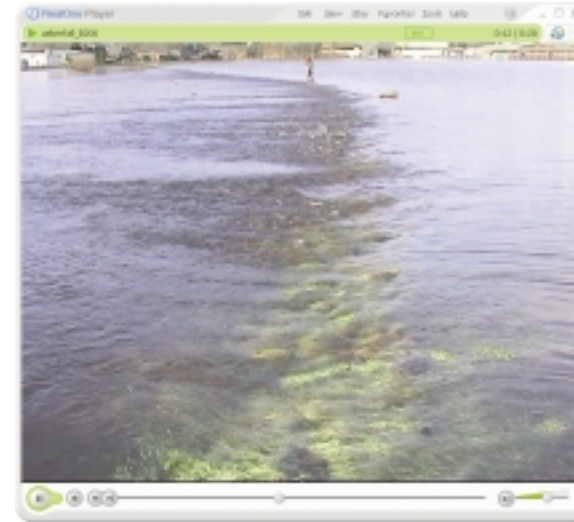
Abb. v.l.o.n.r.u.:

Laborversuch:  
Reibungsverluste  
verschiedener Rohre

Hochwasser:  
Überströmung  
eines Deiches

Naturnaher Flussbau:  
Renaturierungs-  
maßnahmen an  
der Stellau

Laborversuch:  
hydraulische  
Phänomene



#### 4. Ausblick

Das Projekt FLUWU wird bis zum Ende des Jahres 2003 abgeschlossen sein. Bis dahin werden alle von den Projektpartnern erarbeiteten Inhaltsseiten, Animationen, Videofilme, Simulationsprogramme, Übungsaufgaben und Glossare in einer großen Lernplattform zum Thema „Wasser und Umwelt“ zusammengefügt. Diese soll dann für das professionelle Fernstudium, welches von den Universitäten in Hannover und Weimar angeboten wird, genutzt werden.

Der Arbeitsbereich Wasserbau an der TU Hamburg-Harburg wird die Lernumgebungen für die Fachgebiete „Hydraulik“ und „Simulation im Wasserbau“ pflegen und um weitere Übungsaufgaben für den interaktiven Trainer und zahlreiche Videofilme erweitern. Darüber hinaus ist auch die Bereitstellung von Lernumgebungen für andere Fachgebiete des Arbeitsbereichs vorgesehen. Ein besonders sinnvoller Einsatz ist in den Fachgebieten „Wasserbau“, „naturnaher Flussbau“ und „Morphodynamik der Küstengewässer“ zu erwarten, da auch hier mit Hilfe von Videofilmen die z.T. sehr theoretischen Inhalte des Studiums erfahrbar gemacht werden können.



*lehre*





## Lehr- und Forschungsprofil des Arbeitsbereichs Wasserbau



An der TUHH ist die Lehre in Studiendekanaten, die Forschung in Forschungsschwerpunkten organisiert, die sich interdisziplinär aus Arbeitsbereichen zusammensetzen. Innerhalb dieser Organisationsstruktur ist der Arbeitsbereich Wasserbau dem Studiendekanat Bauwesen und dem Forschungsschwerpunkt „Bautechnik und Meerestechnik“ zugeordnet. Zu seinen originären Aufgabenfeldern gehören die Lehre und Forschung in den Bereichen des Schutz- und Nutzwasserbaus:

Flussbau für Hochwasser- und Erosionsschutz an Fließgewässern

Küstenschutz für Hochwasser- und Erosionsschutz an Küstengewässern

Wasserkraftnutzung in Fließgewässern

Verkehrswasserbau in See- und Binnenwasserstraßen

Dabei werden sowohl die wasserbaulichen/wasserwirtschaftlichen Grundlagen als auch die konstruktiven Maßnahmen des Wasserbaus abgedeckt. Zu dem ersten zählen Hydrometrie und Hydromonitoring, Ingenieurhydrologie, Hydraulik, Ökologie der Binnen- und Küstengewässer sowie die Hydroinformatik. Zu den konstruktiven Maßnahmen des Wasserbaus zählen Hochwasserschutzanlagen an Fließgewässern, Gewässerrenaturierungen, Wehr- und Retentionsraumbau, Laufkraftwerksbau, Küstenschutzanlagen, See- und Binnenwasserstraßenausbau sowie See- und Binnenhafenbau.

Einen besonderen Schwerpunkt aus dem Bereich Grundlagen stellt die mathematische Simulation der Strömungen und des Stofftransportes in Gewässern dar. Hierzu verfügt der Arbeitsbereich über verschiedene mathematische Modelle, die von einfachen eindimensionalen Spiegellinienmodellen bis hin zu mehrdimensionalen hydrodynamischen Modellen reichen. Sie unterliegen der ständigen Weiterentwicklung, stehen aber auch für ingenieurpraktische Anwendungen zur Verfügung.

Ein noch sehr junges Aufgabenfeld mit großem Nutzungspotenzial für die Planung und Überwachung wasserbaulicher Anlagen stellen Gewässer-Informationssysteme dar. Unter Anwendung der Datenbanktechnologie und Geographischen Informationsverarbeitung unterstützen derartige Systeme die Grundlagenerhebung und -analyse, das Gewässermonitoring,

die raumbezogene und fachübergreifende Darstellung wasserbaulicher Anlagen und Einrichtungen sowie die Visualisierung wasserbaulicher und wasserwirtschaftlicher Grundlagendaten.

## Diplomstudiengang

### Bauingenieurwesen und Umwelttechnik

7.-8.  
Semester

**Vertiefenstudium**  
obligatorisch

Simulation im Wasserbau  
Wasserbauliches Entwerfen  
Morphodynamik der Küstengewässer

**Vertiefenstudium**  
Wahlpflicht

Geographische Informationssysteme (GIS) in der Wasserwirtschaft  
Simulation in der Gewässerkunde  
Wasserbauliches Versuchswesen  
Projekte des Wasserbaus

5.-6.  
Semester

**Fachstudium**  
obligatorisch

Wasserbau und Küsteningenieurw.  
Gewässerkunde

**Fachstudium**  
Wahlpflicht

Tragwerke des Küstenwasserbaus  
Tiden und Sturmfluten

3.-4.  
Semester

**Grundstudium**

Hydromechanik  
Hydraulik

## Master's Program

### Environmental Engineering

**Environmental Quality Management**  
Surface Hydrology

**Treatment Process and Control**  
Environmental Hydraulic Engineering

**Fundamentals**  
Geographical Information Systems in Water Resources  
Fundamentals of Fluid Mechanics

## Internationale Kooperationen

### Ausländische Hochschulen

Seit 1999	University of Belgrade Faculty of Civil Engineering Department of Geodesy Serbien, Jugoslawien	Von Hochschulrektorenkonferenz und DAAD geförderte Kooperation in Lehre und Forschung, Summerschool
Seit 1999	University of Montenegro Department of Civil Engineering Podgorica	Von Hochschulrektorenkonferenz und DAAD geförderte Kooperation in Lehre und Forschung, Summerschool
Seit 2003	University of Trento/Italy Faculty of Engineering	Sokrates-Erasmus Agreement
Seit 2001	Queen's University of Kingston Canada; M. Selim Yalin	Gastprofessur, Diplomarbeiten
Seit 2003	Spid'O, European Network on Spatial Development and Watermanagement Delft/Holland	Forschungskooperation
Seit 2002	National University of Singapore Department of Water Resources and Hydroinformatics	Bilateraler Wissenschaftler- austausch des DAAD
Seit 2001	Helsinki University of Technology Laboratory of Water Resources	Forschungskooperation
Seit 2001	University of Maryland Sea Grant College Maryland/USA	Diplomarbeiten, Forschungskooperation
Seit 2002	Technische Universität Delft	Master-Thesis, Studienarbeiten, Forschungskooperation
Seit 1999	Korea Nat. University of Education, Cheongwon Chungbuk, South Korea	Gastaufenthalt Forschungsförderung
Seit 1999	University of California, Davis/USA	

## Nationale Kooperationen

### Forschungs- und Entwicklungsvorhaben

Seit 1999	Freie und Hansestadt Hamburg Strom- und Hafenausbau	Morphodynamik der Tidengewässer, Deckwerksstabilität
Seit 1999	Freie und Hansestadt Hamburg, Behörde für Bau und Verkehr, Amt für Bau und Betrieb	Flussgebietsmodellierung Hochwasserschutz, Gewässerrenaturierung
2000-2002	Ministerium für Umwelt, Natur und Forsten des Landes Schleswig-Holstein	Regeneration von Fließgewässern
Seit 2003	Staatliches Umweltamt Itzehoe	Ausweisung von Hochwasserrisiko
2000-2002	Landesamt für Naturschutz und Umwelt, Kiel	Sohlrampen und Fischtreppen
2000-2002	Internationale Kommission zum Schutze des Rheins	Wirksamkeit von vorsorgendem Hochwasserschutz
Seit 2000	Stadt Kellinghusen, Schleswig-Holstein	Hochwasserschutz
Seit 2000	Elastogran GmbH, Olchingen	Deckwerksverklammerung
Seit 1999	Björnßen Beratende Ingenieure GmbH, Koblenz	Strömungsmessungen, Gewässervermessung Strömungsmodellierung
Seit 2002	MAN Technologie, Hamburg	Wasserversorgungssysteme in Flugzeugen
Seit 2002	Bund für Wasserwirtschaft, Abfalltechnik und Kulturbau (BWK), Düsseldorf	Mobiler Hochwasserschutz Forschungsförderung

### Forschungsförderung

Seit 2003	SUN Microsystems	Web-Server Bereitstellung
Seit 2003	HC Hagemann, Hamburg	Diplomarbeiten, Forschungsförderung
Seit 2000	Struktur- und Genehmigungsdirektion Nord, Regionalstelle Wasserwirtschaft, Abfallwirtschaft, Bodenschutz, Trier	Vorhersagemodellierung

### Forschungskooperation

Seit 2002	Alfred-Wegener-Institut, Wattenmeerstation Sylt	Forschungskooperation zur Wattenmeerstabi- lilität durch benthische Lebensgemeinschaften
Seit 2001	Weiterbildendes Studium Wasser und Umwelt, Universität Hannover	E-Learning in der wissenschaftlichen Ausbildung



*partner*





# Die Lizenzgruppe UNI-International

Ein weltweit geschätzter Partner für innovative Betonpflasterstein-Systeme



**UNI-INTERNATIONAL**  
Bausysteme GmbH + Co. KG  
in 76473 Iffezheim

Tel. +49 (0) 72 29-38 41 Fax  
+49 (0) 72 29-38 43  
[www.uni-international.de](http://www.uni-international.de)

Der Betonpflasterstein ist mit Abstand der jüngste – aber auch der kreativste Straßenbelag. Seine Entwicklung begann in Deutschland etwa um die vorletzte Jahrhundertwende. Schon damals erkannte man die Vorteile: Höhere Maßgenauigkeit und bessere Verarbeitbarkeit durch die glatten Seitenflächen. Trotzdem diente der Betonpflasterstein in rechteckiger oder quadratischer Form lange Zeit nur als Ersatz für Natursteinpflaster. Erst in den 1960er Jahren brachten die Hersteller zusätzliche Steinformen auf den Markt. Daraus entwickelten sich die bekannten Verbundformen sowie spezielle Steinsysteme.

Maßgeblich beteiligt am ungebrochenen Siegeszug von Gestaltungspflaster und funktionellen Steinsystemen war und ist die Lizenzgeberin UNI-International Bausysteme GmbH + Co. KG mit Sitz in Iffezheim. Sie zählt zu den Pionieren bei ökologischen sowie bei Schwerlastpflastersystemen. Mit der Vermarktung des UNI-Verbundsteins sicherte sich das Unternehmen vom Start weg zahlreiche Lizenzpartnerschaften. Heute repräsentieren die Lizenznehmer mit über 200 Werken weltweit die größte Herstellergruppe für

Betonwaren.

## Im Vordergrund aller Überlegungen: Umweltschutz, Optik und Funktion

Steinsysteme wie UNI-Ökoloc®, UNI-Ökosteine® oder UNI-Priora® stellen ideale Lösungen dar, um einer weiteren Versiegelung des urbanen Umfeldes entgegenzuwirken. Niederschlagswasser versickert bei diesen ökologischen Pflastersystemen – soweit die vorhandenen Böden dies zulassen – weitgehend am Ort des Geschehens oder wird zumindest auf der Fläche zurückgehalten. Dadurch werden Kläranlagen und Flüsse wirksam entlastet. Dass sich bei diesen Systemen eine hohe Belastungsfähigkeit und ökologische Aspekte nicht widersprechen müssen, bestätigen zahlreiche, in den letzten Jahren realisierte Projekte. Die anlässlich der Expo in Hannover neu gebauten Messenparkplätze (über 140.000 m<sup>2</sup>) oder Großparkplätze, wie sie in Wolfsburg mit dem neuen Allerpark entstanden (über 37.000 m<sup>2</sup>), sind nur zwei aus einer Vielzahl weiterer Referenzen.

Gilt es andererseits große Containerbahnhöfe oder Speditionsareale für höchste Beanspruchungen auszuliegen, ermöglichen verschiedene Ankerverbundpflaster eine funktionelle und zugleich auch optisch ansprechende Flächengestaltung.

Für die ökologische Anwendung gibt es in diesem Produktsegment den UNI-Ökoloc®. Der als L-Winkel gestaltete Stein ist mit einem Drittel seiner Flankenflä-

che unverrückbar mit einer Nachbarreihe verankert. Durch diesen Verbund werden Bewegungen um alle drei Raumachsen wirksam verhindert. Aus dem Verband heraus generierte Sickeröffnungen sichern die ökologischen Eigenschaften.

## Beratung und Wissenstransfer inklusive

Von den Partnern der UNI-International gelieferte Betonprodukte entstehen auf einer Plattform jahrzehntelanger Erfahrung. Im Internet gibt es unter [www.uni-international.de](http://www.uni-international.de) für die verschiedensten Belange praxisgerechtes Planungs- und Informationsmaterial sowie PowerPoint-Vorträge. Durch den stetigen Erfahrungsaustausch mit den Lizenzpartnern in aller Welt werden rechtzeitig Strömungen und Trends erkannt sowie neue Ideen entwickelt und daraus Impulse für die Zukunft abgeleitet.

Der Name UNI steht für eine verlässliche und vertrauensvolle Partnerschaft. UNI-International unterstützt die Forschung und bildet das Forum für alle Belange des Marktes. Lizenznehmer, Hersteller, die akademische Forschung sowie Zulieferbetriebe nutzen diese Plattform ebenso wie in zunehmendem Maße Architekten und Planer. Bei allen Aktivitäten fließen das Wissen und die Praxiserfahrung von 35 Jahren Marktpräsenz ein.

Björnsen Beratende Ingenieure (BCE) ist eine der führenden Gruppen von Ingenieurgesellschaften in Deutschland bei der interdisziplinären Lösung von Aufgaben der Wasserwirtschaft, der Abfallwirtschaft, der Ökologie und der Stadtentwicklung. Seit rund 30 Jahren arbeiten Bauingenieure, Architekten, Hydrologen, Geologen, Verfahreningenieure, Biologen, Ökologen, Physiker, Mathematiker und Volkswirtschaftler Hand in Hand, um den Anforderungen einer immer umweltbewusster und kritischer eingestellten Gesellschaft gerecht zu werden. Wir bieten unseren Kunden aus einer Hand wirtschaftliche und umweltverträgliche Lösungen für ihre Probleme, von der ersten Studie über den Bau der Objekte bis zur langfristigen Objektbetreuung.

Schwerpunkte der Beratung, Planung, Bauüberwachung und Projektsteuerung im komplexen Themenkreis der Gestaltung von Flusslandschaften sind baulicher Hochwasserschutz, Geotechnik, weitergehende Hochwasservorsorge, Hydroinformatik, Hydromechanik, Hydrologie, Landschaftsarchitektur, Stadtentwicklung, Tragwerksplanung sowie Verfahrens- und EMSR-Technik. In vielen verschiedenen Projekten sind wir bereits erfolgreiche Berater und Planer:

- Hochwassermonitoring und -vorhersage (Niederschlags-Abflussmodelle),
- Ausweisung von Überschwemmungsgebieten (1-D und 2-D-Wasserspiegellagenberechnungen),

- Ermittlung von Hochwasserschadenspotenzialen,
- Kosten-Nutzen- und Nutzwert-Analysen,
- Renaturierung von Flüssen und ihren Auen,
- Konzeptionen für eine nachhaltige Entwicklung von Flusslandschaften,
- Erstellen von Flussgebietsmanagementplänen,
- Machbarkeitsstudien zum örtlichen Hochwasserschutz,
- Erstellen von Hochwasseraktionsplänen,
- Planung von Hochwasserrückhaltebecken, Talsperren,
- Planung von Hochwasserrückhaltenräumen, Poldern,
- Planung von Flussdeichen, Hochwasserschutzmauern, mobilen Hochwasserschutzelementen,
- Konzeptionen für Einzelobjektschutz, Bau- und Verhaltensvorsorge.

Informationen zum Unternehmen im Internet:

[www.bjoernsen.de](http://www.bjoernsen.de)

und in unserem Hauptsitz in Koblenz:

**Maria Trost 3**

**D-56070 Koblenz**

**Telefon: ++49 (0)261 / 88 51 – 0**

**Telefax: ++49 (0)261 / 80 57 25**

Wir sind vertreten in Aachen – Arolsen – Augsburg – Darmstadt – Dresden – Erfurt – Köln – Trier



# MAN Technologie

Technology for Aerospace



MAN Technologie is part of the MAN Group, one of Europe's leading producers of commercial vehicles, industrial equipment and facilities, and other capital goods. Worldwide, MAN Group has 75,000 employees generating sales of approx. 16 billion EUR (75 % abroad).

MAN Technologie has more than 800 employees and a turnover of 190 million EUR in 2002. Its products and services are

- Space technology (structures and tanks for Ariane 5, erection and maintenance of the launching facilities, space transport development),
- Lightweight systems (structures and tanks for aviation and defense),
- Potable, grey and waste water systems for aviation,
- Mobile bridge systems.

In the field of aviation water systems MAN Technologie offers system design, hardware and software development of components, system supply service as well as complete customer support.

MAN Technologie is a specialist for the design and cost-effective manufacture of tanks of all sizes for use in highly diverse areas, including civil aviation. The European Airbus consortium has selected MAN Technologie as the supplier of potable water and waste tanks for the A320 and A340 aircraft types. Depend-

ing on the customers application tanks are produced by filament winding, made of thin stainless steel sheeting or are delivered as conformal CFC sandwich tanks.

Since 1999 MAN Technologie has been supplying potable water systems for the A319, A320, A321, A330 and A340 Airbus aircraft. It also produces the newly developed potable water systems for the Airbus A340-500/-600 and the Embraer aircraft ERJ 170 and ERJ 190. MAN Technologie develops main components for VIP water systems. A Compact Vacuum Toilet System for commuter aircrafts is produced by MAN Technologie for the Ukrainian aircraft manufacturer ANTONOV.

In the frame of the "Hamburger Aviation Research and Technology Program" (Hamburger Luftfahrtforschungs- und Technologieprogramm" funded by the "Amt Wirtschaft und Landwirtschaft" of the City of Hamburg two R&D projects were started since 2002 in cooperation with the Technical University of Hamburg TUHH:

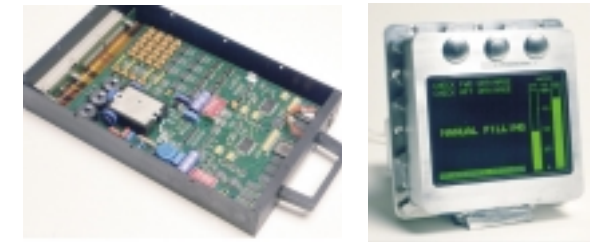
- "Smart Interface Module" with the Department of Communication Networks and
- "Development of Water Systems with Innovative Pressurisation and Disinfection" with the Department of River and Coastal Engineering.



Airbus fleet with potable water systems by MAN Technologie



Water tank modules for the Airbus, made of filament-wound CFRP composite



A 340 Potable Water Control Unit and Indication Panel developed by MAN Technologie

#### Contacts:

MAN Technologie AG  
Dept. AL, Dr. Thomas Petzold  
Franz-Josef-Stauß-Str. 5  
86153 Augsburg, Germany  
Phone: +49 (821) 505-2562

MAN Technologie AG  
Dept. ALW,  
Mr. Fernando Puntigliano  
Fangdieckstr. 64  
22547 Hamburg, Germany  
Phone: +49 (40) 38 026-0

E-mail: [info.alw@mt.man.de](mailto:info.alw@mt.man.de)  
[www.man-technologie.de](http://www.man-technologie.de)  
[www.man.de](http://www.man.de)

# Sun @ Forschung und Lehre

We make the education net work



Partner

105

Der akademische Bereich stellt für Sun seit Gründung des Unternehmens einen strategischen Zielmarkt dar.

Das Engagement von Sun beginnt bereits in der Grundschule. Mit dem Programm Sun@School wird der Aufbau von nachhaltig lernorientierten Arbeitsumgebungen gefördert. Vorrangiges Ziel von Sun ist es, Schüler bereits in der Grundschule an das Internet heranzuführen. Dieses Engagement erstreckt sich auch auf weiterführende Schulen und natürlich auch auf den Hochschul- und Forschungsbereich.

Das Sun-Modell des Service-orientierten Netzwerks schafft in Bildungseinrichtungen aller Art die Voraussetzungen dafür, dass Dozenten, wissenschaftliche Mitarbeiter, Lehrer, Schüler und Studierende sowie Systemadministratoren und Verwaltungsangestellte sicher und zuverlässig auf die benötigten Dienste und Informationen zugreifen können.

Strategische Bildungsprogramme und ein weltweites Netzwerk von Kompetenz- bzw. Experten-Zentren ermöglicht den Schulen und Universitäten einen noch besseren Zugang zu den Technologien und zum Know-how von Sun:

- Kooperationen mit Bildungseinrichtungen tragen dazu bei, die Zukunft des Computereinsatzes zu definieren und zu gestalten. Im Rahmen von gemeinsamen Forschungsprojekten pflegt Sun enge Kontakte zu akademischen Institutionen und anderen gemeinnützigen Forschungseinrichtungen.
- Durch Ausbildungsprogramme werden Schüler und Studierende heute besser auf die Arbeitswelt von morgen vorbereitet:
  - StarOffice: kostenlose Nutzung der Bürokommunikationssoftware StarOffice in Forschung und Lehre
  - Sun EduSoft Portfolio: kostenloser Einsatz von Sun-Software im Ausbildungsbereich
  - SAI: Kostenfreie webbasierte Trainings (Sun Academic Initiative)
  - Cisco Networking Academy: im Rahmen einer Kooperation beteiligt sich Sun an dem Curriculum in den Grundlagenseminaren „Fundamentals of UNIX“ und „Fundamentals of Java Programming“
- Durch vergünstigte Hardware- und Software-Angebote können Bildungseinrichtungen offene, skalierbare Sun-Systeme für Lehre und Forschung bereitstellen und somit bei budgetgerechten Anschaffungskosten vom aktuellen Stand der Technik profitieren.



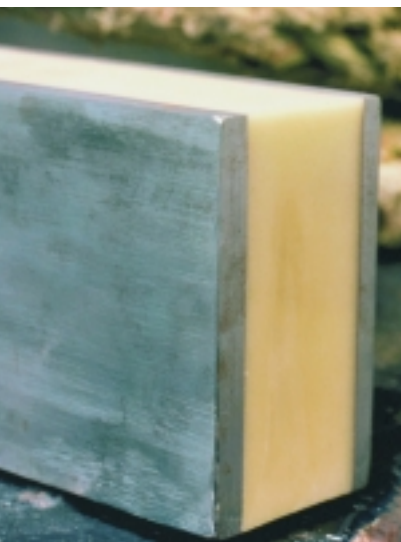
Weitere Informationen zu Forschung und Lehre bei Sun unter: <http://www.sun.de/ful>

Kontakt: [ful-interesse@sun.com](mailto:ful-interesse@sun.com)



## PUR – der Werkstoff für alle Fälle

Elastogran liefert Polyurethan-Produkte für nahezu alle Industriebereiche



Kaum ein moderner Werkstoff ist so flexibel und vielseitig einsetzbar wie der Hochleistungskunststoff Polyurethan (PUR). Vom Automobilbau bis zur Schuhbranche, von der Kühltechnik bis zum Bauwesen, dem Elektro- und Elektronikbereich bis hin zum Schiffsbau – PUR ist überall zu finden. Der besondere Vorteil der Polyurethane: Durch das Vermischen verschiedener flüssiger, reaktionsfähiger Ausgangskomponenten lassen sich exakt definierte Werkstoffe mit unterschiedlichen Eigenschaften herstellen. Von hart bis weich, integral, zellig oder kompakt ist alles möglich. Die Ausgangsrezeptur entscheidet darüber, ob man aus PUR eine Verpackungsfolie, ein Sofa oder eine Rohrdämmung macht.

### PUR-Ideen made by Elastogran

Um aus den Rohstoffen ein intelligentes, marktfähiges Produkt zu erzeugen, braucht es kluge Köpfe. Und die findet man bei der Elastogran GmbH, Lemförde. Das Unternehmen, ein Teil der BASF-Gruppe, zählt zu den weltweit führenden Anbietern von Polyurethan-Systemen und Spezialelastomeren. Neben dem Hauptsitz im niedersächsischen Lemförde gibt es den Standort Olching bei München sowie acht weitere Standorte in Europa mit insgesamt rund 1800 Mitarbeitern. Seit drei Jahren befindet sich das neu gegründete Forschungs- und Technologiezentrum am Stammsitz Lemförde. Von hier aus entwickeln hoch qualifizierte Spezialisten aus

Chemie und Physik die Polyurethan-Anwendungen der Zukunft. Kurze Wege zwischen Forschung und Entwicklung und eine intensive Kommunikation mit den am Markt tätigen Abteilungen sind Schlüssel der Erfolgsstrategie. Die Suche nach neuen Anwendungsgebieten und die kontinuierliche Verbesserung bestehender Produktreihen kennzeichnen die Arbeit der Forscher. Mehr als 3500 Rezepturen kann die Elastogran ihren Kunden anbieten und wenn immer noch nicht das richtige dabei ist, wird ein neues PUR-System maßgeschneidert.

### Rezepte für die Anwendungen von morgen

Aus den meisten Bereichen des täglichen Lebens ist PUR gar nicht mehr wegzudenken. Der Sport- und Freizeitbereich setzt immer mehr auf Produkte aus dem belastbaren Werkstoff: Sohlen und Applikationen für Sportschuhe, Folien für Skispitzen, Rollen für trendige Inlineskates oder Federelemente an Mountainbikes und vielleicht ist der Ball für die nächste Fußball-WM auch wieder aus Polyurethan.

Rekordverdächtig sind die Anwendungen im Automobilbereich. Neuartige PUR-Lösungen werden zu weiteren Gewichtseinsparungen, mehr Komfort und der Erhöhung der Fahrzeugsicherheit führen. Ob Autositz, Türseitenverkleidung, I-Tafel-Hinterschäumung oder Dachmodul – PUR bietet die Möglichkeit zu inno-

vativen Verfahrensentwicklungen und verbindet funktionale Anforderungen mit besten Designqualitäten. Von den guten Dämmeigenschaften des Werkstoffes profitiert die Baubranche. Sandwichelemente mit PUR-Kern für Industriebauten, Isolationspaneele für Kühlschränke oder Rohrisolierungen sind langlebig auch bei härteren Einsätzen.

Neues Terrain betritt Elastogran mit Projekten im Schiffs- und Wasserbau. SPS – Sandwich-Plate-System – heißt die Formel für eine neue Schiffsbauweise. Das Sandwich aus Stahl gefüllt mit Polyurethan erhöht die Sicherheit von Schiffen und macht sie weniger anfällig für Rost und Reparaturen. Mit dem kompakten PUR-System sind jetzt auch erste Versuche im Wasserbau gestartet. In einem gemeinsamen Projekt mit der TU Hamburg Harburg wurde das Gießelastomer Elastocoat® C zur Gesteinsverfestigung einer Buhne in der Elbe eingesetzt. Der Startschuss für eine erfolgreiche Kooperation, die eine neuartige Verklammerung der Steine an Deichen und Flussufern erprobt.

[www.elastogran.de](http://www.elastogran.de)  
**Dr. S. Kaufmann**  
**Telefon: 05443/ 12 2238**  
**Fax: 05443/ 12 2100**  
**e-mail: [sylvia.kaufmann@elastogran.de](mailto:sylvia.kaufmann@elastogran.de)**



# Das Schwergewicht mit Potenzial!

Eisensilikat-Gestein ist ein Produkt der Norddeutschen Affinerie AG, Hamburg (NA). Die NA ist die größte Kupferhütte Europas mit einem Durchsatz von ca. 1.000.000 t/a Kupfererzkonzentraten aus aller Welt.

Beim Schmelzen der kupferhaltigen Vorstoffe in den Produktionsanlagen der NA wird unter Zugabe von Sand (SiO<sub>2</sub>) eine Eisensilikat-Schmelze erzeugt, die bei einer Temperatur von ca. 1.250°C schmelzflüssig über eine Gießrinne in gusseiserne Spitztöpfe abgegossen wird. In diesen etwa 1,2 m<sup>3</sup> fassenden Behältern mit ca. 4,0 t Inhalt bildet sich nach einer Abkühlzeit von 3 Tagen ein kristallines, überwiegend silikatisches Gestein gemäß DIN 4301.

Nach der Erstarrungs- und Abkühlphase des so hergestellten Eisensilikat-Gesteins werden die Töpfe entleert und es entstehen dabei Gesteinsstücke mit Kantenlängen bis zu 1.000 mm.

Die Weiterverarbeitung zu Baustoffprodukten verschiedener Korngrößen erfolgt in einer nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) genehmigten und überwachten Brech- und Siebanlage bei der Firma Peute Baustoff GmbH, Hamburg (PBG).

Die PBG hat sich als 100%ige Tochtergesellschaft der NA auf die Produktion und Vermarktung dieses Baustoffs konzentriert, der im Wasser- und Straßenbau Anwendung findet. Seit Jahrzehnten beweisen unsere Baustoffe an den unterschiedlichsten Einsatzorten ihre hohe gleichbleibende Qualität, die durch ständige und umfangreiche Eigen- sowie Fremdüberwachung gesi-

chert wird. Eine Hauptrolle spielen unsere Produkte im modernen Wasserbau. Sie sichern Böschungen und Sohlen von Flüssen, Kanälen und Hafenbecken, schützen Hafentore und brechen an der Küste die Gewalt des Meeres.

Das Eisensilikat-Gestein ist ein äußerst dichtes Gestein mit hoher Festigkeit und Verwitterungsbeständigkeit sowie einer idealen Oberflächenrauigkeit. Die ausgezeichneten baustoffrelevanten Eigenschaften sind auf den Mineralbestand und das kristalline Gefüge zurückzuführen.

Folgende Vorteile sind zu nennen:

- Sicherheit und Stabilität durch hohes Flächengewicht unter Auftrieb
- raumsparende und kostengünstige Bauweise
- hohe Lagestabilität auch bei großen Strömungsgeschwindigkeiten
- erfüllt alle Anforderungen maßgeblicher Regelwerke

Nebenher findet unser Material Verwendung im Bereich des Tief- und Hochbaus, bei der Herstellung von Schwerlastsohlen zur Auftriebssicherung, sowie im Garten- und Landschaftsbau. Aufgrund der hohen Trockenrohdichte von ~ 3,7 kg/dm<sup>3</sup> wird unser Material auch als kostengünstiger Zuschlagsstoff für die Herstellung von Schwerbeton eingesetzt.

Eisensilikat-Gestein – Ein Multitalent.



## Peute Baustoff

Partner

107



Weitere Informationen finden Sie unter:

[www.peute.de](http://www.peute.de)

Peute Baustoff GmbH

Peutestraße 79

20539 Hamburg

Tel.: 040/789160-0

Fax: 040/789160-19



Sandtorkai, Hamburg



Landungsboot HC HAGEMANN I

HC Hagemann  
channel hamburg  
Harburger Schloßstraße 18  
21079 Hamburg  
info@hchagemann.de  
www.hchagemann.de

In der Hafenstadt Hamburg bilden Bauaufgaben aus den Bereichen Wasser- und Hafenanbau sowie Hochwasser- und Küstenschutz seit vielen Jahrzehnten eine feste Größe für die hier tätigen Bauunternehmen.

So ist auch die seit 1869 tätige HC Hagemann construction group neben den Bereichen Hochbau, Ingenieurbau und Stahlbau dementsprechend stark im Wasserbau vertreten. Zu den in jüngster Zeit durchge-

fürten Baumaßnahmen gehören die Sanierung der Kaimauer Sandtorkai in der Hafencity Hamburg sowie Hochwasserschutzanlagen in Harburg und Wilhelmsburg. Neben diesen Hamburger Projekten ist HC Hagemann an weiteren wasserbaulichen Maßnahmen von Rügen bis Helgoland beteiligt. Beispiele sind der Fährhafen Amrum, Kaimauern und Dockgruben für die Flenderwerft Lübeck oder der Neubau der Peenebrücke in Wolgast.

In der inzwischen mehr als 100jährigen Bautätigkeit auf Deutschlands einziger Hochseeinsel Helgoland wurden neben zahlreichen anderen Bauwerken die Grundinstandsetzungen der Landungsbrücke, des Süddamms und der Südkaje sowie die Grundinstandsetzung des Südwest- und Westufers im Helgoländer Binnenhafen von HC Hagemann ausgeführt.

In Zusammenarbeit mit der TU Hamburg-Harburg wurde zur Sanierung der „Langen Anna“ auf Helgoland ein besonders anspruchsvolles Projekt konzipiert. Der rund 150 Jahre alte und 47 m hohe Felsmonolith war durch seine exponierte Lage an der Nordwestspitze der Insel bis zu 2 m tief unterspült worden. Zur Sanierung und dauerhaften Sicherung gegen weitere Unterspülungen wurde mit dem Arbeitsbereich Bauphysik und Werkstoffe im Bauwesen der TU Hamburg-Harburg und dem Landesamt für Natur und Umwelt Schleswig-Holstein eine Fußkonstruktion mit Betonsockel und Steinschüttung entworfen. Besonders schwierige Randbedingungen waren dabei die schlechte

Zugänglichkeit, die permanente Gefährdung durch Steinschlag und die hohen Anforderungen an Natur- und Umweltschutz in diesem hochsensiblen Bereich. Die Ausführung dieses von der Allianz Umweltstiftung geförderten Projektes ist schließlich an der Tatsache gescheitert, dass die Lange Anna im oberen Drittel bereits derart zerklüftet und verwittert ist, dass mit großer Wahrscheinlichkeit ein weitgehendes Abbrechen von oben nach unten vor einer Standsicherheitsgefährdung durch die Fußunterspülungen einsetzt.

Mit der im Rahmen dieses Projektes durchgeführten Zusammenarbeit mit der TU Hamburg-Harburg wurde die Serie erfolgreicher Kooperationen wie bei den vorherigen Projekten zur Betonsanierung, zur Ferrocementbauweise oder zur Tragfähigkeit dünnwandiger zementgebundener Schalenträgerwerke fortgesetzt. Neben dem Arbeitsbereich Bauphysik und Werkstoffe im Bauwesen besteht dabei eine enge Zusammenarbeit mit den Arbeitsbereichen Geotechnik und Baubetrieb sowie Wasserbau, aus der Gutachten, gemeinsame Forschungsanträge sowie Studien- und Diplomarbeiten hervorgegangen sind. Die enge räumliche Nähe zwischen der im channel hamburg ansässigen HC Hagemann construction group und der TUHH spielt hierbei eine große Rolle. Getragen wird die Zusammenarbeit jedoch auch von dem festen Willen, den Grundgedanken der TUHH, nämlich die enge Verzahnung von Forschung und Wirtschaft, auch praktisch für den Bereich des Bauens umzusetzen.



# PTC

der perfekte Sanierer von Böden für Industrie und Gewerbe

Bodenbeschichtungen für Industrie und Gewerbe müssen oft jahrelang extremen Bodenbelastungen standhalten. So ist in der Regel nach jahrelangem Staplerverkehr der Boden einer Hochregalhalle rau, ausgefahren und von Rissen durchfurcht. Ein einwandfreier betrieblicher Ablauf kann so gefährdet werden.

**PTC bietet für diese Art Schaden besondere Polyurethan (PUTEC®) Bodenbeschichtungen an und garantiert dabei Dauerhaftigkeit und sicheren betrieblichen Ablauf für:**

- Industriehallen
- Lagern
- Großgaragen
- Parkhäusern
- Messehallen
- Kellerräumen

**Die Bodenbeschichtungen (PUTEC®) von PTC sind:**

- hochabriebfest
- schlag- und rutschfest
- chemikalienbeständig
- auf nahezu allen Untergründen einsetzbar
- fugenlos
- in vielen Varianten erhältlich
- dekorativ und pflegeleicht
- elektrisch leitfähig (Sondereinstellung)
- im Lebensmittelbereich einsetzbar

**Durch die kurzen Aushärtezeiten der (PUTEC®) Beschichtungsmaterialien arbeitet PTC zeit- und kostensparend.** Die geringe Nutzungsunterbrechung des Betriebes ist das Ziel. So kann ein z.B. zirka 1.500 m<sup>2</sup> Hallenboden mit einem hochwertigen Bodenbeschichtungs-System innerhalb von 72 Stunden (z.B. von Freitag auf Sonntag) beschichtet werden.

**Das Einsetzungsspektrum ist vielfältig.** Sie geht von der einfachen Versiegelung eines Hallenbodens bis hin zur hochwertigen elektrisch ableitfähigen, dauerhaft rissüberbrückenden, öl- und chemikalienbeständigen Beschichtung von Industrieböden. Dabei kommen nur hochwertige Produktsysteme mit bauaufsichtlicher Zulassung u.a. nach VAWS und WGH, z.B. für die Beschichtung von Auffangwannen zum Einsatz.

**Die Techniker von PTC stimmen die Bodenbeschichtungen ab** auf die entsprechende Belastung und die verschiedenen Untergründe aus z.B. Beton, Asphalt, den wasserbelastungsanfälligen und somit chloridausscheidenden Magnesitböden bis zu Knochensteinböden aus Beton.

**PTC berücksichtigt bei den Ausführungen von Sanierungsarbeiten alle behördlichen Vorschriften,** z.B. bei der Sanierung sowie umfangreiche technische Vorschriften und Richtlinien berücksichtigt. Seit 18 Jahren findet eine ständige Produktüberwachung mit Werks-

prüfung und WGH/VAWS Prüfz. Bauaufsichtl. Zulass.Z-59.12-54 (gültig bis 2006) statt.

**Belegt durch 30 Prüfgutachten sind:**

- 8 Jahre Magnesitboden-Sanierung in Konzernen
- 18 Jahre Beschichtung von elastischen Blechen
- 18 Jahre rissüberbrückende Beschichtungs-Erfolge
- 18 Jahre Beschichtung auf Asphalt und Latexfalt

**Aussergewöhnliche Sanierungen sind:**

- ableitfähige Beschichtungen in allen Farben (ohne Metalle)
- rissüberbrückend geprüfte Betonabdichtungen, Verpressungen, Flüssigkeiten für den frequenzabhängigen Boden im Brückenbau (Bundesministerium Verkehr)
- Parkhäuser, Parkdecks etc. Auffangwannen für wassergefährdende Stoffe nach § 19 WHG (TüV überwacht)
- wärmedämmende Dachdichtungen aus Polyurethan Hartschaum ca. 700 000 m<sup>2</sup>

**PTC GmbH**

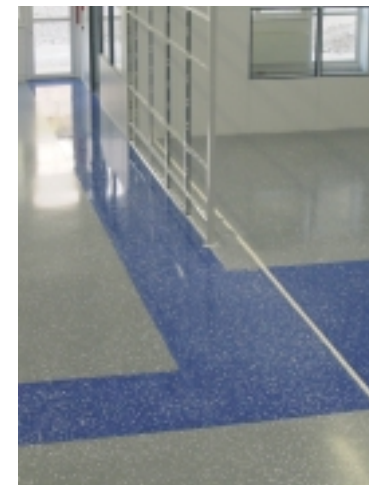
**70772 Filderstadt**

**Telefon (0711) 709 55-0**

**Telefax (0711) 709 55-55**

**e-mail [PTCPUR@t-online.de](mailto:PTCPUR@t-online.de)**

**website: [www.PTCPUR.de](http://www.PTCPUR.de)**





# HDI Versicherungen

Sicherheit als Auftrag



VERSICHERUNGEN



Die Zentrale der  
HDI Versicherungen  
in Hannover

HDI  
Industrie Versicherung AG  
Riethorst 2  
30659 Hannover

Tel.: 0511 / 645 - 0  
Fax: 0511 / 645 - 4545

[www.hdi.de](http://www.hdi.de)  
E-Mail: [zentrale@hdi.de](mailto:zentrale@hdi.de)

Sicherheit für die eigene Person, für die Familie und für die geschaffenen Werte gehört zu den fundamentalen Dingen, um die sich unser Leben dreht. Finanzielle Sicherheit und Vorsorge sind ein gewichtiger Teil davon. Dieses grundlegende Bedürfnis mit sinnvollen Versicherungsprodukten und Modellen zur Altersvorsorge zu erfüllen, haben sich die HDI Versicherungen zur Aufgabe gemacht.

## 100 Jahre Kompetenz in der Unternehmens-Versicherung

Auf 100 erfolgreiche Jahre können die HDI Versicherungen in diesem Jahr zurückblicken. 1903 als Selbsthilfeorganisation der deutschen Industrie gegründet, sind sie heute Teil des Talanx-Konzerns, der aus dem ehemaligen HDI-Konzern hervorgegangen ist. Ausschließlich die Absicherung von industriellen und

gewerblichen Risiken betreibt die HDI Industrie Versicherung AG. Sie hat in diesem Jahr das operative Versicherungsgeschäft der Gründungsgesellschaft HDI V.a.G. übernommen und führt es mit demselben, in 100 Jahren aufgebauten Know-how weiter. In Deutschland und weltweit stellt sie – in über 120 Ländern über das Netz der Royal & SunAlliance – Versicherungsschutz von der Sachversicherung über Unfall- oder Betriebshaftpflichtversicherungen bis hin zu Spezial-Deckungen zur Verfügung. Das gilt in gleichem Maße für den weltweit agierenden Konzern, für den die HDI Industrie Versicherung globale Versicherungsprogramme umsetzen kann, wie für das Kleinunternehmen mit zwei Angestellten und für den Selbstständigen.

Mehr als 90 % der deutschen Großunternehmen und knapp 80.000 kleine und mittlere Unternehmen zählt die HDI Industrie Versicherung zu ihren Kunden. Anerkannte Professionalität, Kompetenz und Solidität, ausgedrückt zum Beispiel durch das überdurchschnittliche Rating AA- der Rating-Agentur Standard & Poors, sind dafür die ausschlaggebenden Kriterien.

## Spezialisten für Sicherheit und Risk-Management

Die HDI Industrie Versicherung arbeitet, wie die anderen Gesellschaften der HDI-Gruppe auch, mit einer überdurchschnittlich günstigen Kostenquote und kann über unabhängige Rückversicherungen auch große

Deckungs-Kapazitäten zur Verfügung stellen. In Zusammenarbeit mit der Talanx-Tochter HANNOVER Sicherheitstechnik HST bietet sie auf Wunsch professionelle sicherheitstechnische Beratung zur Schadenverhütung.

Schadenverhütung hat bei den HDI Versicherungen Tradition. Bereits in den 20er Jahren des vergangenen Jahrhunderts gehörte sie zu den satzungsgemäßen Aufgaben des Unternehmens. Denn Versicherungsschutz bewahrt nicht vor sämtlichen Folgekosten von Schäden. Auch wenn der Schaden selbst und der Produktionsausfall finanziell abgesichert sind, lassen sich damit zusammenhängende Folgen wie der Verlust von Image, Kunden oder Marktpositionen nicht ersetzen.

## Aktuell im Fokus: betriebliche Altersversorgung

Zurzeit hochaktuell ist das Thema der betrieblichen Altersversorgung. Entsprechende Modelle erhöhen die Attraktivität von Arbeitsplätzen und helfen, qualifizierte Arbeitnehmer im Unternehmen zu halten. Immer mehr Unternehmen entscheiden sich deshalb, ihren Mitarbeitern die Möglichkeit zur eigenständigen Altersvorsorge zu eröffnen. Auch auf diesem Gebiet können die HDI Versicherungen maßgeschneiderte Lösungen anbieten. Spezielles Know-how dazu ist in einer eigenen Tochtergesellschaft, der HDI Pension Strategy and Management GmbH zusammengefasst.

## Unsere Firmenpolitik

Wir versuchen die meisten Funktionen durch eigene IBS - Mitarbeiter abzudecken. Das heißt: Entwicklung, Vertrieb, Fertigung und Montage werden überwiegend durch

firmeninterne Abteilungen gewährleistet. Dadurch sind wir in der Lage, zuverlässig, schnell und flexibel auf Wünsche der Kunden einzugehen. In unserer Zentrale planen und entwickeln Ingenieure mit modernsten Methoden Konzepte und Lösungen für die Anforderungen unserer Kunden. In unserer neubauten Fertigung setzen erfahrene Mitarbeiter die Vorgaben in die Tat um.

## Unsere Arbeitsgebiete

- Hochwasserschutz
- Löschwasserrückhaltung
- Auslaufsicherung wasser-gefährdender Stoffe
- Dammbalkenverschlüsse
- Tauchwände
- Kanaleinlaufabdeckungen

## Unsere Stärken

- Erfahrung aus mehreren hundert Projekten
- praxisbewährte, ausgereifte Produkte
- statisch geprüfte Produkte
- kundennah, schnell, sicher

Die Hochwasserschutzsysteme der Firma IBS haben sich international bestens bewährt. In allen hochwassergefährdeten Regionen Deutschlands, ob an Rhein, Main, Mosel oder Donau, sind Großprojekte von der Firma IBS realisiert worden.

Die jahrelange Erfahrung aus Großprojekten und Objektschutz ermöglichte die Entwicklung voll ausgereifter Produkte zum mobilen Hochwasserschutz für kommunale und private Objekte.

Die Abbildungen zeigen IBS Hochwasserschutzsysteme wie sie in realen Hochwassersituationen erfolgreich eingesetzt wurden.



## Der Arbeitsbereich Wasserbau dankt seinen Partnern





*controlling*





# Der Arbeitsbereich Wasserbau in Zahlen

## Anzahl der Mitarbeiterstellen

	1999	2000	2001	2002	2003
Professoren	1	1	1	1	1
Juniorprofessoren	0	0	0	0	1
Postdoktoranden	0	0	0	0	1
Oberingenieur	0	0	0	0	1
Doktoranden	3	5	8	10	12
Technisches Personal (Labor)	2	3	3	4	4
Sekretariat	1	1	1	1	1

## Drittmittelaufkommen T Euro

	1999	2000	2001	2002
	122,6	179	296,5	330

## Ausstattung EDV

### Hardware

3 Server; 34 PC's, davon zwei mit Docking Station; 5 Notebooks

### Fachbezogene Fremdsoftware

#### Anwendungssoftware:

- WSPWIN
- AutoCad<sup>®</sup>
- BCE-2D in MicroStation<sup>®</sup>
- ARCVIEW/ARCGIS<sup>®</sup>
- ARCINFO<sup>®</sup>
- ARCIMS<sup>®</sup>
- ARCSDE<sup>®</sup>
- LabView<sup>®</sup>

#### Datenbanken

- Oracle<sup>®</sup>
- INGRIS<sup>®</sup>

Zur Realisierung der Lehr- und Forschungsvorhaben verfügt der Arbeitsbereich zusätzlich über folgende Personal und Geräteausstattung:

- Sekretariat, 3 EDV- und Meßtechniker, Studentische Hilfskräfte.
- 2 Laborräume für wasserbauliches Versuchswesen zu Vorlesungs- und Übungszwecken.
- Messboot, GPS, ADCP, ADV Sonde und 2-komponentige Fiber-Optic Laser-Doppler-Velocimetry-Anlage für Labor- und Feldeinsatz, Nautilus-Sonde, Laptops als Prozessrechner mit Analog/Digital-Wandler.
- Hochleistungs-EDV-Netz mit Parallelprozessor-Unix-Server und Windows NT-Clients.
- EDV-Peripherie des Hochschulrechenzentrums wie DIN A0 Farbplotter, Scanner, Hochgeschwindigkeitsdrucker.
- Fachbezogene Software wie Modellfamilie zur ein- und mehrdimensionalen Strömungssimulation, Wasserhaushaltsmodell, Hochwasserschadensmodell, 2-dimensionales Stofftransportmodell, Gewässerinformationssystem, Geographische Informationssysteme.

## Versuchsanlagen

### Strömungskanal

Strömungskanal, große Ausführung HM163, Fa. Gunt  
 Messlänge: 5 m  
 Strömungsquerschnitt BxH: 409 x 500 mm  
 Hochleistungskreiselpumpe Typ 100/200  
 Förderhöhe: 7,5 m  
 Fördermenge: 150 m<sup>3</sup>/h  
 Leistung: 5.5 kW  
 Drehzahl: 1450 min-1  
 Magnetisch-induktive Durchflussmessung  
 Genauigkeitsklasse: 0,3  
 Messbereich: 0..150 m<sup>3</sup>/h  
 LxBxH: 8750 x 1000 x 1900 mm

### Regenmessstationen

Bauhofgelände Wehmerweg;  
 DB-Gelände Eidelstedt  
 Wasserwerk Schnelsen  
 Desy-Gelände

### Modellfischtrappe

Aquarium, das wie eine Fischtrappe angelegt ist. Durch drei Pumpen kann die Durchflussmenge variiert werden. Zur Zeit ist das Aquarium mit drei Regenbogenforellen besetzt, die mit der Fisch-Cam beobachtet werden können.

### Sedimentrinne

Messlänge: 4 m; Querschnitt BxH: 1,5 x 0,5 m

Durch Kooperation mit der Bundesanstalt für Wasserbau, Außenstelle Küste in Hamburg-Wedel stehen zudem Laboranlagen und Wasserbauhallen für groß- und kleinflächige physikalische Modellversuche zur Verfügung.

## Messtechnik

### Forschungsboot „Groppe“

Baujahr: 1999; Bootstyp: TG-6300 mit geschlossener Mittelkabine; Außenhaut: Glasfaserkunststoff; Länge: 6,17 m; Breite: 2,36 m; Höhe: ca. 2,40 m (über Wasser); Gewicht: 720 kg (leer)/1500 kg (beladen)  
Besatzung: max. 6 Personen; Tank: 90 l (min. 20 Betriebsstd.); Motor: 90 PS 4-Takt-Motor, Außenborder, (Fa. Honda)

### Acoustic Doppler Velocimeter (ADV)

Gerätespezifikationen, Modell Vector Current Meter, Fa. Nortek AS:  
Geschwindigkeitsmessungen Messbereiche  $\pm 0,03$ ,  $\pm 0,3$ ,  $\pm 1,0$ ,  $\pm 3,0$ ,  $\pm 7,0$  m/s, Genauigkeit 0,5 % des gemessenen Wertes  $\pm 0,1$  cm/s; Messrate langsamer Modus  $f < 1$  Hz, schneller Modus  $1 \text{ Hz} < f < 25 \text{ Hz}$ ; Meßvolumen Diameter 1,5 cm Höhe 2,0 cm Abstand vom Sensor zum Meßvolumen 15 cm; Datenübertragung I/O RS232 und RS422; Baud Rate 9.600 standard, 36.400 download; Datenspeicher Kapazität 2 MB, aufrüstbar bis 22 MB; Material Titanium und Plastik Umgebung max. Druck 400 m; Gewicht in Luft 5 kg in Wasser 1.5 kg; Standard-Sensoren Temperatur, Neigung, Kompass und Druck

### Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP)

Gerätespezifikationen, Modell Workhorse Rio Grande (600 kHz):

Geschwindigkeitsprofile:  
Größe der Tiefenzellen 0,1 - 8,0 m  
Anzahl der Tiefenzellen 1 - 128  
Meßbereich  $< 5$  m/s (default),  $< 20$  m/s (max.)  
Programm-Modi Zellen Größe  
min. Tiefe max. Tiefe:  
General Profiling 1,0 m 4,0 m 53,0 m  
Shallow Water 0,1 m 0,5 m 7,0 m  
Shallow+Slow 0,1 m 0,9 m 7,0 m  
Datenübertragung I/O RS232 und RS422  
Baud Rate 9.600 (standard), 115.200 (download)

Umgebung:  
Gewicht in Luft 7,6 kg  
Gewicht in Wasser 2,2 kg  
max. Betriebstiefe 200 m  
Betriebstemperatur  $-5$  bis  $45$  °C  
Schiffsgeschwindigkeit Standard-Sensoren:  
Bottomtrack oder DGPS Temperatur, Neigung und Kompass

### Global Positioning System (GPS)

System 500 - SR530  
Zweifrequenz-Echtzeit-Empfänger, Fa. Leica.  
Messmodi und Applikationen: Statisch, Rapid Static, Kinematisch, On-the-fly, Echtzeit RTK, DGPS/RTCM, Postprocessing; 12 L1 Kanäle: Volle Phase, C/A Narrow Code, P-Code; 12 L2 Kanäle: Volle Phase, P-Code, P-Code-unterstützter-Code unter AS.  
Basisliniengenauigkeit mit RTK: Stationär 5 mm + 2 ppm (rms); Bewegt 10 mm + 2 ppm (rms).  
Basisliniengenauigkeit mit DGPS/Code:



typischerweise 30 cm (rms).  
Reichweite: ca. 10 km; Updaterate der Position: 10 Hz (0.1 s), Verzögerung  $< 0.05$  s.  
TR500 Terminal:  
Menügesteuertes Betriebssystem in zwei Niveaustufen; Anzeige: 12 Zeilen mit 32 Zeichen, Gew. 0.4 kg.  
Datenaufzeichnung:  
Aufnahmerate 0.1 - 60 s; PCMCIA Flash Karten: 4 MB, 10 MB, 85 MB.  
Koordinatenanzeige:  
Geograph., Kartesisch, Gitter.  
Koordinatensysteme:  
Ellipsoide, Projektionen, Transformationen, Geoidmodelle.  
Betriebstemperatur:  
Empfänger, Terminal:  $-20$  °C bis  $+55$  °C;  
Antenne:  $-40$  °C bis  $+75$  °C

### 3D-Laserscanner

CYRAX 2500, Fa. Leica Geosystems  
High Speed, high-accuracy



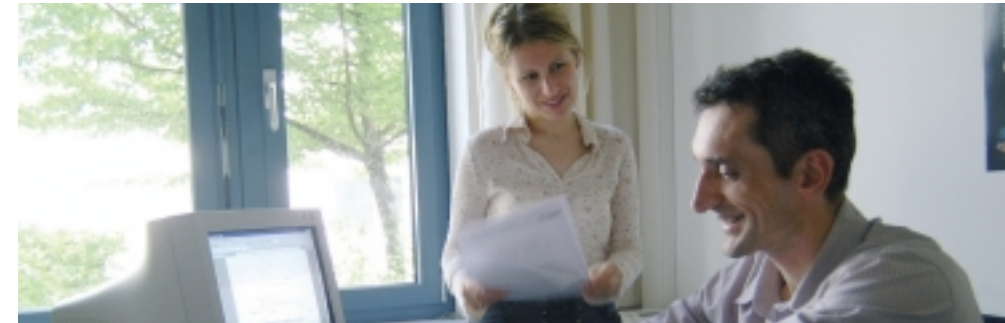
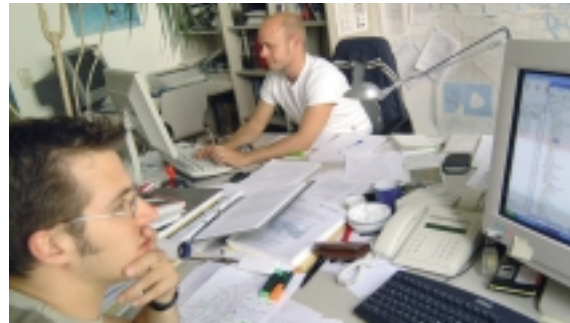
Laser-Radar Scanner  
Öffnungswinkel:  $40 \times 40$  °  
Reichweite: 1,5 bis 100 m  
Genauigkeit: 6 mm Punktgröße bei 50 m  
Auflösung: min. 1,2 mm Punktabstand b. 50 m  
Schnelligkeit: 20.000 m<sup>2</sup>/Scan (Genauigkeit  $< 6$  mm), 160.000 m<sup>2</sup>/Scan (max. Reichweite 100 m)  
Cyclone Software  
Tragbar (20,5 kg)

### Tachymeter

TCR 705, Fa. Leica Geosystems  
Winkelmessung 5", 1.5 mgon  
Distanzmessung\* 3000 m (mit Reflektor); 2 mm + 2 ppm; 80 m (ohne Reflektor); 3 mm + 2 ppm  
Messzeit 3 s (ohne Reflektor bis zu 30 m)  $< 1$  s (mit Reflektor) Integrierte Programme  
Abstecken / Vermessen / Freie Stationierung / Flächenberechnung / Spannmaß Registrierung  
4500 Messungen und 7000 Fixpunkte  
RS232 Schnittstelle für externen Anschluss Vergrößerung 30 x Lot Laser: in Alhidade, dreht mit Instrument, Genauigkeit  $\pm 0.8$  mm bei 1.5 m

## Studienarbeiten

- Dez 99 **Bomas, Nils; Pape, Oliver**  
Retentionsraumplanung an der Unstrut. Hydraulische Wirksamkeit und Ökologisch-Wasserbauliche Optimierung
- Feb 00 **Plöger, Wolf**  
Umbau des Trave-Mühlenwehres in Bad Oldesloe: Beurteilung und Verbesserung der Planung einer Fischeufstiegsanlage
- März 00 **Lawrenz, Stephanie; Niemietz, Christian; Rohweder, Eike**  
„HafenCity“ - Die amphibische Stadt
- Juli 00 **Ferrarini, Dario**  
Kosten-Nutzen-Analyse von Hochwasserschutzanlagen - Am Beispiel des Hamburger Hafens
- Aug 00 **Nohme, Frank**  
Hafen City - Wassernahe Umgestaltung eines Hafenbeckens
- Aug 00 **Marusić, Nikša; Noffke, Birte**  
Untersuchung der hydraulischen und sedimentologischen Verhältnisse der Este im Stadtbereich von Buxtehude
- Nov 00 **Müller, Wibke**  
Grundlagen der Verdunstung von freien Wasserflächen
- Nov 00 **Kiekbusch, Jana**  
Berücksichtigung von Mäandrierungseffekten und extremer Rauheit bei der eindimensionalen Spiegellinienberechnung. Erweiterung und Dokumentation des Programmes WSPWIN 5.0
- Dez 00 **Petersen, Nils**  
Analysis of Flow over a Broad-crested Weir - Application of Analytical, Physical Model
- Dez 00 **Buck, Alexander**  
Erosion of the Shores of Lake Vättern: Influence of the Water Level Regulation on the Shore Retreat
- Dez 00 **Gutbrod, Jörn; Martens, Sonja**  
Untersuchung zur Ermittlung von Wechselwirkungen zwischen Hydrodynamik, Sedimentation und Bewuchs in einer Seegraswiese im Sylt-Römö Wattenmeer
- Dez 00 **Blesch, Petra; Last, Harald**  
Entwurf eines Fischtreppen-Modells
- Dez 00 **Dietze, Tanja**  
Bilanzierung der pflanzlichen Verdunstung - Theoretische Überlegungen zur Vorbereitung eines Experiments
- März 01 **Bussche, Matthias v.d.**  
Erstellung einer arbeitsbereichsinternen Richtlinie zur Erhebung von Flussprofilaten mit ADCP und GPS
- Mai 01 **Rath, Sebastian**  
River morphological changes induced by variations in flood plain dimensions
- Mai 01 **Kräßig, Stephan**  
Entwurf eines Entity-Relationship-Diagramms für das Datenmodell einer NA-Modellierung
- Mai 01 **Bröker, Henning**  
Renaturierung eines Fließgewässers und Nachweis der ausgeglichenen Wasserführung mit Hilfe eines zweidimensionalen Strömungsmodells
- Juni 01 **Akcakaya, Aysegül**  
Grasbrookhafen im Wandel
- Juli 01 **Töppel, Markus**  
Quantifizierung der Versickerung bei der Flutung von Vorländern
- Aug 01 **Briem, Christine; Klauder, Wiebke**  
Modellierung einer komplexen zweidimensionalen Fluss-Vorland-Strömung mit einem eindimensionalen Strömungsmodell
- Aug 01 **Huber, Caroline**  
Hydraulische Untersuchungen an einem rechteckigen Versuchsgerinne
- Aug 01 **Sagan, Johanna**  
Die von gezielter Hinterlandflutung und Speicherbewirtschaftung bei Hochwasser ausgehende Hochwasserentlastungswirkung am Beispiel der Glatzer Neisse im Gebiet Nysa/Otmuchów
- Sep 01 **Behrbohm, Jens; Mykoniatis, Timotheos**  
Hochwasserschutz in Hamburg
- Dez 01 **Holm, Ole; Wichers, Marco**  
Eindimensionale Spiegellinienberechnung unter besonderer Berücksichtigung von Wehren
- Jan 02 **Halbe, Dana; Westermann, Myriam**  
Herstellung der Morphodynamik eines Tieflandbaches – am Beispiel des Seevekanals
- März 02 **Bielenberg, Jan**  
Entwicklung eines Leitbildes für Fließgewässer in Hamburg und Empfehlung für die Umsetzung im naturnahen Gewässerausbau
- April 02 **Abdelqader, Abdelqader Omar**  
Rainfall-runoff modelling by BCENA program for Brockstedt area
- April 02 **Reichelt, Jan-Morten**  
Wasserbauliche Anlagen im naturnahen Gewässerbau
- April 02 **Manojlovic, Natasa**  
Development of Java based tool for the rainfall runoff modell
- Mai 02 **Goetze, Alexander**  
Erhebung der Datengrundlage von Regenwasserkanalisation und Aufbau eines N/A-Modells in überwiegend urbanem Gebiet



- Juli 02 **Küpferle, Christoph**  
Entwicklung eines Objektmodells und Routinalgorithmus für das BCENA Niederschlags/Abflussmodell
- Juli 02 **Christe, Bernd**  
Pre- und Postprozessoren für Strömungsberechnungen tidebeeinflusster Gebiete mit dem dreidimensionalen Finite-Differenzen-Verfahren SI3D
- Aug 02 **Kilic, Arzu**  
Machbarkeitsstudie zur Bebauung des Dalmannkai/Kaiserkai
- Aug 02 **Bensen, Claudia**  
Aufstellung und Verifikation eines eindimensionalen stationären Strömungsmodells am Beispiel der Kollau
- Okt 02 **Buchholz, Axel; Lühr, Helmut**  
Untersuchung und Beschreibung der Einflussfaktoren auf die Hochwassersituation an der Stör bei Kellinghusen
- Okt 02 **Spötter, Thorsten**  
Erstellung eines Niederschlag-Abfluss-Modells für das Einzugsgebiet der Hörner Au
- Okt 02 **Goschke, Janet**  
Erstellung eines instationären Programmmoduls auf Basis des Preissmannschemas

- Nov 02 **Dylewski, Frank**  
Vergleich zwischen vorsorgendem und technischen Hochwasserschutz am Beispiel der Stadt Kellinghusen
- Dez 02 **Behzadnia, Niloufar; Pischke, Bianca**  
Berechnung des Einflusses von Renaturierungsmaßnahmen auf den Hochwasserabfluss der Stör oberhalb von Willenscharen mit Hilfe eines zweidimensionalen Strömungsmodells und Planung und Bemessung eines Polders
- Dez 02 **Daul, Sigrid**  
Sielentwässerung
- Jan 03 **Ullrich, Niels; Wüster, Oliver**  
Hafenbau auf Helgoland
- Jan 03 **Cai, Lei; Werner, Nadine**  
Konfliktbewältigung bei Staudammprojekten
- März 03 **Kettler, Stefanie**  
Vergleichende Analyse zweier Methoden zur Lösung der zweidimensionalen tiefengemittelten Flachgewässergleichungen: Galerkin FEM und Control Volume FEM

- Mai 03 **Kellow, Manuel**  
Ermittlung turbulenter Schubspannungen mit der ADV-Sonde zur Beurteilung der Sohlstabilität der Sohlgleite in Bad Oldesloe
- Mai 03 **Fendrich, Silke**  
Erarbeitung eines ganzheitlichen Hochwasserschutzkonzeptes für die Düpenau - Aufstellung eines Regenwassernutzungskonzeptes



# Diplomarbeiten

- Aug 99 **Deußfeld, Nicolle**  
Ein Lagrange-Verfahren 2.Ordnung zur Large-Eddy-Simulation
- Jan 00 **Motte, Joanna de la**  
Tiefenintegrierte Simulation der Wirkung von Sekundärströmungen in morphodynamischen Modellen
- April 00 **Geissler, Timm Ruben**  
Untersuchungen der Wirksamkeit vorsorgender Hochwasserschutzmaßnahmen
- Mai 00 **Baron, Sandra Freyer**  
Überprüfung der vorhandenen Meßstellen für Niederschläge und Abflüsse im Einzugsgebiet der Kollau in Hamburg in Hinblick auf ihre Eignung für ein Niederschlag-Abfluß-Modell
- Mai 01 **Evertz, Thorsten**  
Prüfung eines deterministischen Niederschlags-Abflußmodells auf seine Eignung zur Simulation des landgebundenen Wasserkreislaufs im Flachland
- Juni 01 **Plöger, Wolf**  
Untersuchungen zum Hochwasserabfluss der Stör bei Kellinghusen mittels zweidimensionaler Strömungssimulation
- Juli 01 **Blesch, Petra**  
Erhebung der Datengrundlage von Regenwasserkanalisationen und Zusammenstellung zu einem Niederschlags-Abfluss-Modell
- Sep 01 **Nohme, Frank**  
Entstehung von Hochwasserschäden und Abschätzung der Schadensminderung durch verbesserte Bauvorsorge
- Sep 01 **Baresel, Christian**  
1D-Channel Flow – Implementation of the St. Venant Equations into the One-Dimensional Finite Element Method
- Dez 01 **Brüning, Claudia**  
Niederschlag - Abflussmodellierung in Flachländern mit stark urbaner Überprägung und stauwasserbeeinflusstem Gewässerzufluss
- Jan 02 **Rath, Sebastian**  
Entwicklung eines hybriden CVFEM-Ansatzes zur Lösung der zweidimensionalen tiefengemittelten Flachwassergleichungen
- Feb 02 **Bussche-Lohe, Matthias v.d.**  
Entwicklung eines Modells zur Simulation der oberflächennahen Abflusskonzentration in durch Dränung entwässerten Gebieten
- März 02 **Noffke, Birte**  
Gegenüberstellung einer ein- und zweidimensionalen Wasserspiegellinienberchnung am Beispiel der Stör
- Juni 02 **Bröker, Henning**  
FEM-Wasserspiegelberechnung gegliederter Querschnitte unter Berücksichtigung eines Polynomansatzes für Impuls- und Energiestrombeiwert
- Aug 02 **Kräßig, Stephan**  
Aufbau eines länderübergreifenden NA-Modells für das Einzugsgebiet der Theiß bis zur Staustufe Tiszalok
- Sep 02 **Töppel, Markus**  
Erstellung eines instationären eindimensionalen Programmmoduls zur Wasserspiegellinienberechnung
- Sep 02 **Goetze, Alexander**  
Erstellung einer Wirksamkeitsanalyse von Retentionsmaßnahmen an der Schwale im Gebiet der Stadt Neumünster unter Berücksichtigung der Hochwassersituation in der Stör
- Sep 02 **Breske, Sabina**  
Planung und Berechnung von Renaturierungs- und Hochwasserrückhaltemöglichkeiten an der Stör oberhalb von Kellinghusen mittels zweidimensionaler Strömungssimulation
- Nov 02 **Dömming, Andreas v.**  
Entwicklung und Programmierung eines Objektmodells für Internet-basierte Niederschlags-Abflussmodellierung
- Jan 03 **Huber, Caroline**  
Wave damping effects caused by seagrasses
- Feb 03 **Petersen, Nils**  
Entwicklung eines ganzheitlichen Hochwasserschutzkonzeptes für das Einzugsgebiet der Kollau mit besonderer Betrachtung der Retentionsmöglichkeiten im Mündungsbereich der Mühlenau
- Feb 03 **Butt, Kashif**  
Application of Rainfall-runoff model on a short time simulation of the catchment area of the river Bramau
- März 03 **Lengler, Ursula**  
Awendung eines eindimensionalen instationären Strömungsmodells auf die tidebeeinflusste Stör unter Erweiterung des FEM-Rechenmoduls
- März 03 **Manojlovic, Natasa**  
Programming and Implementation of Graphically Based User Interface for Forecast Models in Water Resources
- März 03 **Wölber, Anne**  
Renaturierung der Kollau nach Regime-Theorie und die Auswirkung auf das Abflußverhalten des Gewässers
- April 03 **Dylewski, Frank**  
Entwicklung eines Internet-Portals für hochwassergefährdete Anlieger an Fließgewässern
- Mai 03 **Spötter, Thorsten**  
Entwicklung eines Verfahrens zur Verklammerung von Wasserbausteinen mit Polyurethan auf Basis des typischen Hamburger Deckwerkes und Planung eines Sarnierungskonzeptes für beschädigte lose Steinschüttungen unter Verwendung dieses Verfahrens
- Sep 03 **Kilic, Arzu**  
Quantitative prediction of meandering and braiding of a stream in cohesionless alluvium

## Leitung

**Prof. Dr.-Ing. Erik Pasche**

Telefon: (040) 428 78 -3463  
pasche@tu-harburg.de

## Sekretariat

**Renate Schmidt**

Telefon: (040) 428 78 -3761  
renate.schmidt@tu-harburg.de

**Birgit Grabi**

Telefon: (040) 428 78 -3761  
grabi@tu-harburg.de

## Wissenschaftliche Mitarbeiter

**Claudia Brüning**

Telefon: (040) 428 78 -4304  
c.brueuning@tu-harburg.de

**Nicolle Deussfeld**

Telefon: (040) 428 78 -3961  
deussfeld@tu-harburg.de

**Andreas von Dömning**

Telefon: (040) 428 78 -3900  
v.doemming@tu-harburg.de

**Thorsten Evertz**

Telefon: (040) 428 78 -3968  
evertz@tu-harburg.de

**Timm R. Geissler**

Telefon: (040) 428 78 -4218  
t.geissler@tu-harburg.de

**Stephan Kräßig**

Telefon: (040) 428 78 -3571  
kraessig@tu-harburg.de

**Frank Nohme**

Telefon: (040) 428 78 -3090  
nohme@tu-harburg.de

**Wolf Plöger**

Telefon: (040) 428 78 -4305  
ploeger@tu-harburg.de

**Martin Rada**

Telefon: (040) 428 78 -3067  
m.rada@tu-harburg.de

**Sebastian Rath**

Telefon: (040) 428 78 -4180  
s.rath@tu-harburg.de

**Ulf Teschke**

Telefon: (040) 428 78 -3895  
teschke@tu-harburg.de

**Markus Töppel**

Telefon: (040) 428 78 -4274  
m.toeppel@tu-harburg.de

## DV-Beauftragte

**Anneliese Fey**

Telefon: (040) 428 78 -3952  
fey@tu-harburg.de

## Labor

**Katrin Coelius**

Telefon: (040) 428 78 -4234  
coelius@tu-harburg.de

**Jens Winkelbauer**

Telefon: (040) 428 78 -2828  
winkelbauer@tu-harburg.de

## Technik

**Josef Hoika**

040 42878 -3932  
hoika@tu-harburg.de



**TUHH**

**Arbeitsbereich Wasserbau**

Denickestraße 22

21073 Hamburg

Tel. (040) 42878-3761

Fax: (040) 42878-2802

[www.tuhh/wb.de](http://www.tuhh/wb.de)

Herausgeber  
Prof. Dr.-Ing. Erik Pasche  
Arbeitsbereich Wasserbau der  
Technischen Universität Hamburg-Harburg  
Denickestraße 22, 21073 Hamburg

Gestaltung  
Kerstin Schürmann, [www.formlabor.de](http://www.formlabor.de)

Idee, Realisierung und Redaktion  
Katharina Jeorgakopulos

Fotos  
Roman Jupitz, TUHH (DGPh);  
Arbeitsbereich Wasserbau: Nicole Deussfeld,  
Timm Ruben Geissler, Stephan Kräbig, Frank Nohme,  
Erik Pasche, Wolf Plöger, Martin Rada;  
Hamburger Behörden: Strom- und Hafengebäudeamt, Stackmeisterei;  
Greenpeace;  
Kellinghusen: Kreisfeuerwehrverband Steinburg;  
Neustadt a. d. Donau: Herr Ferstl

Druck  
Schüthedruck GmbH, Kanzlerstraße 6, 21079 Hamburg  
10/2003

