

Stefan Senitz (Hrsg.)

Verständnis, Vorsorge und Bewältigung
von Naturkatastrophen

Abschluss Symposium 2007

Graduiertenkolleg „Naturkatastrophen“



24./25. Juli 2007

Universität Karlsruhe (TH)



universitätsverlag karlsruhe

Stefan Senitz (Hrsg.)

Verständnis, Vorsorge und Bewältigung von Naturkatastrophen

Abschluss-symposium 2007

Graduiertenkolleg „Naturkatastrophen“

24./25. Juli 2007

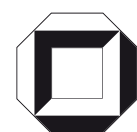
Universität Karlsruhe (TH)

Verständnis, Vorsorge und Bewältigung
von Naturkatastrophen

Abschluss Symposium 2007

Graduiertenkolleg „Naturkatastrophen“
24./25. Juli 2007
Universität Karlsruhe (TH)

Stefan Senitz
(Hrsg.)



universitätsverlag karlsruhe

Impressum

Universitätsverlag Karlsruhe
c/o Universitätsbibliothek
Straße am Forum 2
D-76131 Karlsruhe
www.uvka.de



Dieses Werk ist unter folgender Creative Commons-Lizenz
lizenziert: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.0/de/>

Universitätsverlag Karlsruhe 2007
Print on Demand

ISBN: 978-3-86644-145-3

Vorwort

Naturkatastrophen verursachten in den neunziger Jahren des 20. Jahrhunderts ein Mehrfaches an Schäden (ca. 600 Mrd. US-\$) als beispielsweise noch in den sechziger Jahren (ca. 70 Mrd. US-\$). Ereignisse wie Erdbeben, Vulkaneruptionen, Starkniederschläge, Hochwasser und Massenbewegungen können auch zukünftig nicht verhindert werden. Aufgrund der anhaltenden Zunahme von Bevölkerung und Sachwerten in gefährdeten Gebieten, muss auch weiterhin mit einem Anstieg der Schäden gerechnet werden.

Naturkatastrophen sind Phänomene, die meist nicht durch einfache deterministische oder kausale Modelle beschreibbar sind. Weil Ort und Zeitpunkt ihres Auftretens im Allgemeinen nicht bestimmbar sind, können sie nur selten direkt beobachtet werden. Dadurch ist die für die Forschung nutzbare Datenbasis zumeist unvollständig und ungenau. In der Folge werden das Verständnis, die Vorsorge und die Bewältigung von Naturkatastrophen erschwert.

Aufgabe und Ziel von Naturkatastrophenforschung muss es deshalb sein, die durch Naturkatastrophen verursachten Schäden für den Einzelnen und die Gesellschaft zu minimieren. Aufgrund der Komplexität und vielfältiger Ursachen extremer Naturereignisse kann das Ziel nur durch interdisziplinäre Zusammenarbeit erreicht werden. Beteiligten Wissenschaftlern und Ingenieuren wird hierbei fachübergreifendes Wissen abverlangt. Sie müssen komplexe Zusammenhänge verstehen und Wissen aus dem eigenen Fachgebiet an Fachleute aus anderen Bereichen transferieren.

Ein von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderter Ansatz für die interdisziplinäre Bearbeitung eines Forschungsthemas sind Graduiertenkollegs. Es handelt sich hierbei um befristete Einrichtungen an Hochschulen zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses.

In einem Graduiertenkolleg erhalten graduierte Studenten die Möglichkeit, ein Forschungsprojekt im Rahmen eines koordinierten, von mehreren Hochschullehrern getragenen Forschungsprogramms zu bearbeiten und ein Promotionsverfahren abzuschließen. Ein Studienprogramm ergänzt und verbreitert das Fachwissen der Mitglieder und strukturiert deren Kooperation.

Im September 2007 endet nach der maximalen Förderdauer von neun Jahren das Graduiertenkolleg „Naturkatastrophen“ an der Universität Karlsruhe (TH). Aus diesem Anlass wurde am 24. und 25. Juli ein Abschluss-symposium veranstaltet. Ziel der Veranstaltung war es, nochmals die Notwendigkeit des interdisziplinären Ansatzes für das Verständnis, die Vorsorge und Bewältigung von Naturkatastrophen aufzuzeigen. Hierfür wurden Ergebnisse der dritten Förderphase des Kollegs vorgetragen. Vertreter aus Forschung, Industrie, Behörden, Hilfsorganisationen und Vereinen berichteten zusätzlich über Aufgaben, Erfahrungen und Werkzeuge ihrer täglichen Arbeit im Zusammenhang mit extremen Naturereignissen.

Das vorliegende Werk fasst die auf dem Symposium präsentierten Ergebnisse der dritten Förderphase des Graduiertenkollegs „Naturkatastrophen“ und die Beiträge der externen Referenten zusammen und vermittelt damit einen Eindruck von der Komplexität und Vielfältigkeit des Themas.

Stefan Senitz
Herausgeber

Das Graduiertenkolleg „Naturkatastrophen“

Das Graduiertenkolleg „Naturkatastrophen“ wurde im Oktober 1998 eingerichtet und von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) und der Universität Karlsruhe (TH) bis September 2007 über die maximal mögliche Laufzeit von neun Jahren gefördert. Die letzte von drei Förderphasen begann im Oktober 2004 mit 17 vergebenen Stipendien (15 Doktoranden, 2 Post-Doktoranden).

Schwerpunkte der in diesem Buch vorgestellten Forschungsprojekte der dritten Förderphase waren Untersuchungen zum Verständnis, zur Vorsorge und Bewältigung von Naturkatastrophen. Betrachtet wurde dabei die gesamte, im Zusammenhang mit natürlichen Extremereignissen stehende Wirkungskette.

Ziel des Graduiertenkollegs war die wissenschaftlich fundierte Ausbildung von Doktoranden unterschiedlicher Fachrichtungen im Bereich der Naturkatastrophenforschung mit einem geeigneten, über die übliche Promotionsbetreuung hinausgehenden Programm. Dazu gehörte neben einem Pflichtprogramm mit eigens für das Kolleg konzipierten Lehrveranstaltungen ein auf jeden Graduierten abgestimmtes Vorlesungsprogramm.

Das Forschungsprogramm des Kollegs war so angelegt, dass in einzelnen Projekten entsprechend der Vielfalt der beteiligten Institute mehrere für Naturkatastrophen relevante Fragestellungen bearbeitet wurden.

Das Studienprogramm bot den Kollegiaten eine Grundausbildung auf hohem fachlichem Niveau, und wurde den Anforderungen von Hochschulen, Industrie, Versicherungen, Behörden und anderen relevanten Institutionen gerecht. Neben der Vermittlung von Fachwissen wurde auch die Möglichkeit, sich fachübergreifend mit Grundwissen, Terminologie, Gedankenwelt und Methodik der anderen im Kolleg vertretenen Fachrichtungen vertraut zu machen von den Kollegiaten intensiv genutzt. Das Studienprogramm setzte sich aus der Ringvorlesung der am Kolleg beteiligten Hochschullehrer, aus Wahlvorlesungen, Blockkursen (Rhetorik und Präsentation, Mediengestaltung, Projektmanagement,...), Gastvorträgen und Exkursionen zusammen. Zweimal pro Jahr wurde ein Graduiertenseminar, bei dem die Kollegiaten über den aktuellen Stand Ihrer Forschungsarbeiten berichteten, durchgeführt.

Unter anderem war die Bewilligung der maximal möglichen Förderdauer seitens der DFG Ausdruck des Engagements und der erfolgreichen Arbeit aller an diesem Graduiertenkolleg beteiligten Personen und bestätigte die Richtigkeit des interdisziplinären Forschungsansatzes in der Naturkatastrophenforschung. Insgesamt wurden während der gesamten Laufzeit des Kollegs 57 Forschungsprojekte (46 Doktoranden, 11 Post-Doktoranden) bearbeitet. Darüber hinaus waren 65 Hochschullehrer der Universität Karlsruhe (TH) involviert. Die Doktoranden und Post-Doktoranden repräsentierten 15 verschiedene Fachrichtungen. Im Rahmen des Studienprogramms wurden 55 Lehrveranstaltungen organisiert und durchgeführt. Zusammen mit dem vorliegenden Werk wurden von den Kollegiaten nach derzeitigem Stand 291 Fachbeiträge (Bücher, Fachartikel, Tagungsbeiträge, Dissertationen) veröffentlicht.

Fritz Gehbauer
Sprecher des Graduiertenkollegs

Grußwort

Sehr geehrte Damen und Herren, sehr geehrter Herr Professor Gehbauer, sehr geehrter Herr Professor Henze,

ich freue mich sehr, dass Sie mich eingeladen haben, am Abschlusskolloquium des Graduiertenkollegs „Naturkatastrophen“ teilzunehmen und ein Grußwort zu halten. Dafür möchte mich – auch im Namen der Deutschen Forschungsgemeinschaft – herzlich bedanken.

Für uns von der DFG ist es immer eine besondere Freude, die Früchte der von uns geförderten erfolgreichen Projekte zu sehen und ein solches Abschlusskolloquium ist dafür eine hervorragende Möglichkeit. Und erfolgreich ist dieses Graduiertenkolleg. Dies zeigt erstens die Tatsache, dass es Ihnen, Herr Professor Gehbauer, und Ihren Kolleginnen und Kollegen gelungen ist, über neun Jahre immer wieder junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler zur Mitarbeit im Kolleg zu motivieren. Dies zeigt zweitens, dass Sie zwei Begutachtungen mit Erfolg absolvierten und Sie so die maximale Förderdauer von neun Jahren ausschöpfen konnten.

Dass „Naturkatastrophen und die Minimierung der von ihnen verursachten Schäden für den Einzelnen und die Gesellschaft“ nach wie vor ein wichtiges, aktuelles und zukunftssträchtiges Forschungsgebiet sind, wohl aktueller als je zuvor, ist auch für Laien wie mich offensichtlich. Aber viel wichtiger: Auch die Gutachter, die das Kolleg zweimal zur Weiterförderung empfahlen, vertraten diese Meinung. So fand ich in unseren Akten – ich war zu dieser Zeit nämlich noch nicht bei der DFG tätig – die Aussage „Das Thema ist hochaktuell und der Forschungsbedarf weiterhin außerordentlich weit reichend“. Und zu einem anderen wichtigen Kriterium für Graduiertenkollegs, der Interdisziplinarität, kommentierte ein Gutachter: „Dem Kolleg ist es auf hervorragende Weise gelungen, eine wirklich interdisziplinäre Zusammenarbeit zu etablieren.“

Sehr geehrter Herr Professor Gehbauer, Sie und Ihre Kolleginnen und Kollegen haben in den letzten neun Jahren nicht nur beeindruckende Forschungsleistungen erbracht. Sie haben insbesondere viele Nachwuchswissenschaftlerinnen und Nachwuchswissenschaftler auf ihrem Weg zur Promotion unterstützt und damit deren weitere berufliche Karrierewege mitbereitet. Und dies ist das zentrale Ziel eines Graduiertenkollegs.

Bevor ich schließe, möchte ich mich an die aktuellen und ehemaligen Doktorandinnen und Doktoranden des Kollegs wenden. Sie waren und Sie sind es, die dieses Kolleg getragen haben und es wäre schön, wenn dieses Kolleg einige von Ihnen motiviert hat, sich auch weiterhin der Forschung zu widmen. Die DFG bietet insbesondere auch Förderprogramme für junge Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler: So können Sie zum Beispiel im sogenannten Normalverfahren, Ihre eigene Stelle einwerben, oder mit einem Forschungsstipendium der DFG ins Ausland gehen. Schauen Sie auf unsere Homepage (<http://www.dfg.de>), rufen Sie uns an! Wir beraten Sie gerne.

Dagmar Scholz
Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)

Inhaltsverzeichnis

1. Ergebnisse aus dem Graduiertenkolleg

Schwerpunkt Verständnis

Ekkehart Bethge

Grundwassergefährdung durch Sickerwasser von Überflutungsflächen bei 1
Hochwasser

Stephanie Bleeck-Schmidt

Ein geochemisch-mineralogischer Ansatz zur Rekonstruktion von Hoch- 11
wasserereignissen

Samiro Khodayar

Initiation of precipitating convection based on data analysis 21

Jörg Rings, Christian Hauck, Alexander Scheuermann

Messung und Prognose des Wassergehaltes von Hochwasserschutzdeichen 39

Martin Zäschke, Bodo Ruck

Der Einfluss der Gestaltung von Bestandsrändern auf das Auftreten von 49
Sturmschäden in land- und forstwirtschaftlichen Nutzflächen

Schwerpunkt Vorsorge

Ines Göbel

Katastrophenschutz, Risikoreserven und Konsum – Ein kontrolltheore- 59
tischer Ansatz

Egbert Groß

Vulnerabilitätsmodellierung von Versorgungsinfrastruktur 73

David Kallen, Joachim Rohn, Dominik Ehret

Massenbewegungen am Xiangxi-Fluss im Staubereich des Drei- 85
Schluchten-Staudammes, China

Thorsten Ulbrich, Charlotte Kämpf, Jürgen Ihringer

Online-Informationen zur Mobilisierung der Bevölkerung bei Hochwasser 93

Ferdinand Zahn, Ute Werner

Experimentelle Untersuchung des Versicherungsverhaltens bei Hochwas- 103
serrisiko – über die Notwendigkeit und die Ziele des Computere experi-
ments *SimFlood*

Rainer Zesch, Ulrich Saucke, Theodoros Triantafyllidis, Andreas Bieberstein

Probabilistisches Bemessungskonzept für das Versagen von Flussdeichen 113
unter Berücksichtigung geotechnischer Gegebenheiten

Schwerpunkt Bewältigung

Claas Menny

Finanzierung von Schäden aus Naturkatastrophen unter Einsatz von Mik- 127
rofinanz-Institutionen und -Instrumenten

<i>Stefan Senitz, Gerold Hesse, Georg Büchel</i>	
Notwasserversorgung durch Maar-Vulkane? Abschätzung des Grundwas- serversorgungspotenzials am Beispiel des Geeser Maars (Eifel)	135
<i>Johannes Karl Westermann</i>	
Betonfräsen im Rettungseinsatz	147
<i>Yi Yang</i>	
Ein Rahmenwerk für Entscheidungsunterstützungssysteme bei unscharfem Wissen	155

2. Externe Beiträge

<i>Irmgard Schwaetzer</i>	
Im Spannungsfeld zwischen Wissenschaft und Praxis - Das Deutsche Ko- mittee Katastrophenvorsorge (DKKV)	167
<i>Thorsten Hinz</i>	
Kultur und Humanitäre Hilfe	173
<i>Jürgen Delle</i>	
THW – Helfen mit Technik und Verstand	179
<i>Michael Kunz</i>	
Von Wettersystemen zu Extremereignissen: Gefährdungsanalyse über oro- grafisch strukturiertem Gelände	195
<i>Marc Müller</i>	
Aktivitäten der Infoterra GmbH: Risikomanagement-Anwendungen und TerraSAR-X	205
<i>Clemens Pfürtscheller, Matthias Huttenlau</i>	
Schadenpotenzialanalyse von Naturgefahrenprozessen im alpinen Raum aus geographischer und gesamtgesellschaftlicher Perspektive – ein inter- disziplinärer Ansatz	215
<i>Uwe Osterkamp</i>	
PRO DV Software AG – Unternehmensportrait	225
<i>Friedemann Wenzel, Annegret Thieken, Heidi Kreibich, Petra Köhler, Matthias Müller, Gottfried Grünthal, Patrick Heneka, Thomas Hofherr, Rutger Wahlström, Lorenz Kleist, Bruno Büchele, Andreas Kron, Sergiy Tyagunov, Joachim Wächter, Bruno Merz, Christoph Kottmeier, Bodo Ruck, Franz Nestmann, Lothar Stempniewski, Jochen Zschau</i>	
Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology (CEDIM) – Ergebnisse und Perspektiven	227
<i>Christine Schweier, Hagen Engelmann, Fritz Gehbauer, Michael Markus, Theodorus Zikas</i>	
Forschungsarbeiten zum Risiko- und Katastrophenmanagement	239
Autorenverzeichnis	253

1. Ergebnisse aus dem Graduiertenkolleg

Schwerpunkt „Verständnis“

Grundwassergefährdung durch Sickerwasser von Überflutungsflächen bei Hochwasser

Ekkehart Bethge

Universität Karlsruhe, Institut für Hydromechanik, 76128 Karlsruhe, Deutschland, E-Mail: bethge@ifh.uka.de, Telefon: +49(0)721/6087793

Kurzfassung

Im Zusammenhang mit der Problematik des Schadstoffeintrags von Überflutungsflächen in die Bodenzone wurden Methoden zur Bewertung der Grundwassergefährdung entwickelt. Die Verknüpfung der hochwasser- und bodenbezogenen Informationen erfolgt im Rahmen der Risikoanalyse. Die hochwasserrelevanten Daten des Hochwasserrückhalteraumes (Überstauhöhen, Überflutungsdauern) werden in Überflutungsszenarien festgehalten. Die Risikoberechnung erfolgt über stochastische Simulationen des Schadstofftransportes in der Bodenzone. Hierfür wurde ausgehend von der Beschreibung der Strömung im gefluteten Hochwasserrückhalteraum ein Massenbilanzmodell entwickelt, mit dem die Verlagerung der Schadstoffe im Boden simuliert werden kann. Für einen geplanten Hochwasserrückhalteraum wurden die Informationen zum Bodenaufbau zusammengestellt und für erste Modellanwendungen verwendet.

Stichworte

Hochwasserrückhalteraum, Grundwassergefährdung, Schadstofftransport, ungesättigte Bodenzone, Monte Carlo, Risikoanalyse, Regionalisierung

1. Einleitung

Hochwasserereignisse beeinflussen die Qualität des Grundwassers in den Flussauen durch Infiltration von Oberflächenwasser aus dem Flussbett oder von Überflutungsflächen. Ob hierdurch Grundwasserressourcen bedroht sind, hängt vom Ausmaß der Qualitätsänderung sowie der Grundwassernutzung in den betroffenen Gebieten ab.

An praktisch allen bedeutenden Flussläufen in Deutschland werden zur Verbesserung des Hochwasserschutzes Retentionsräume geschaffen. Gleichzeitig wird das Grundwasser und Uferfiltrat vieler Flussauen zur Trickwassergewinnung genutzt. Die Lage der Retentionsräume in den Einzugsgebieten von Grundwasserentnahmebrunnen kann zu einer Gefährdung der Trinkwasserressource durch eindringendes Oberflächenwasser führen. Im folgenden wird eine Methodik vorgestellt, mit deren Hilfe das Risiko einer Grundwassergefährdung durch Sickerwasser aus Hochwasserrückhalträumen quantifiziert werden kann.

Im Zuge der Flutung des Rückhalteraumes mit belasteten Oberflächenwassers kommt dem Boden eine Schutzfunktion hinsichtlich der Verlagerung von Schadstoffen ins Grundwasser zu. Die Effektivität dieser Schutzfunktion wird durch die Bodeneigenschaften (z.B. hydraulische Durchlässigkeit, mikrobielle Aktivität und Anzahl an reaktiven Oberflächen) sowie den Bodenaufbau (Anzahl von Bodenhorizonten, und -mächtigkeiten) bestimmt. Da die Bodeneigenschaften ebenso wie die Infiltrationsraten im überfluteten Retentionsraum stark variieren, muss die Risikoberechnung räumlich differenziert erfolgen. Die entwickelte Methodik soll für einen geplanten Retentionsraum am Oberrhein exemplarisch angewendet werden.

2. Risikoanalyse

Im Zuge der Risikoanalyse soll das Risiko einer Grenzwertüberschreitung am Übergang Boden-Grundwasser berechnet werden. Der Begriff des Risikos ist verknüpft mit der Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines Schadensfalls $P(E)$ und der aus dem Eintreten resultierenden Schadenshöhe $S(E)$.

$$R(E) = P(E) \cdot S(E) \quad (1)$$

Die Schadenshöhe ist theoretisch abhängig von der Höhe der Grenzwertüberschreitung und der Art des Schadstoffes für die diese berechnet wurde. Wird eine gleiche Schadenshöhe für alle Ereignisse angenommen ist das Risiko nur abhängig von der Wahrscheinlichkeit des Schadenseintritts.

Um das Risiko für den betroffenen Trinkwasserversorger quantitativ bewerten zu können, sind Aussagen über die Eintrittswahrscheinlichkeiten der Hochwasserereignisse (Jährlichkeiten) mit Wahrscheinlichkeiten bezüglich des Schutzpotentials der Deckschichten zu verknüpfen.

In der Risikoberechnung bilden die hochwasserbezogenen Daten die stofflichen und hydraulischen Randbedingungen für den Schadstofftransport durch die Bodenzone. Für diese Daten werden realistische Szenarien formuliert, in denen Informationen zur Überflutungshöhe und –dauer, Schadstoffkonzentration und der Grundwasserspiegellage abgelegt werden. Die Strömungs- und Transporteigenschaften des Bodens werden hingegen als stochastische Variablen behandelt, für die Wahrscheinlichkeitsverteilungen (Gleichverteilung, Log-Normalverteilung etc.) definiert werden.

Die Berechnung des Risikos erfolgt über stochastische Simulationen des Schadstofftransportes in der Bodenzone mit Hilfe der Monte Carlo Technik. Die Wasserströmung und der Schadstofftransport im Boden während eines Hochwasserereignisses werden mit Hilfe eines Transportmodells simuliert wobei die Parameter der Bodeneigenschaften aus den jeweiligen Wahrscheinlichkeitsverteilungen gezogen werden. Durch wiederholte Ziehungen der Parameter und Simulation des Schadstofftransportes erhält man eine Häufigkeitsverteilung der Schadstoffkonzentration am Übergang Bodenzone Grundwasser aus der das Risiko einer Grenzwertüberschreitung abgeleitet wird (siehe Abb. 1).

Zur Generierung der Wahrscheinlichkeitsverteilungen der relevanten Strömungs- und Transportparameter steht häufig nur eine geringe Anzahl von Felddaten zur Verfügung. Um dennoch verlässliche Verteilungen erstellen zu können, werden mit Hilfe eines Ansatzes aus der Bayes'schen Statistik neben den Felddaten auch Literaturdaten (a priori Daten) verwendet. Hierfür werden die gewichteten Parameter der Wahrscheinlichkeitsverteilungen (z.B. Mittelwert und Standardabweichung) der a priori Daten mit den aus den Felddaten generierten Verteilungsparametern zu neuen Wahrscheinlichkeitsverteilungen kombiniert (Lee, 1997).

Die große Anzahl benötigter Modellläufe unter variierenden Parameterbelegung während der Risikoberechnung erfordert eine effiziente Abbildung der Strömungs- und Transportprozesse in der Bodenzone. In der Prozessanalyse wurde daher das Strömungsgeschehen in Bodenzone schematisiert, und darauf aufbauend die Modellentwicklung mit einfach zu handhabenden analytischen Lösungen umgesetzt.

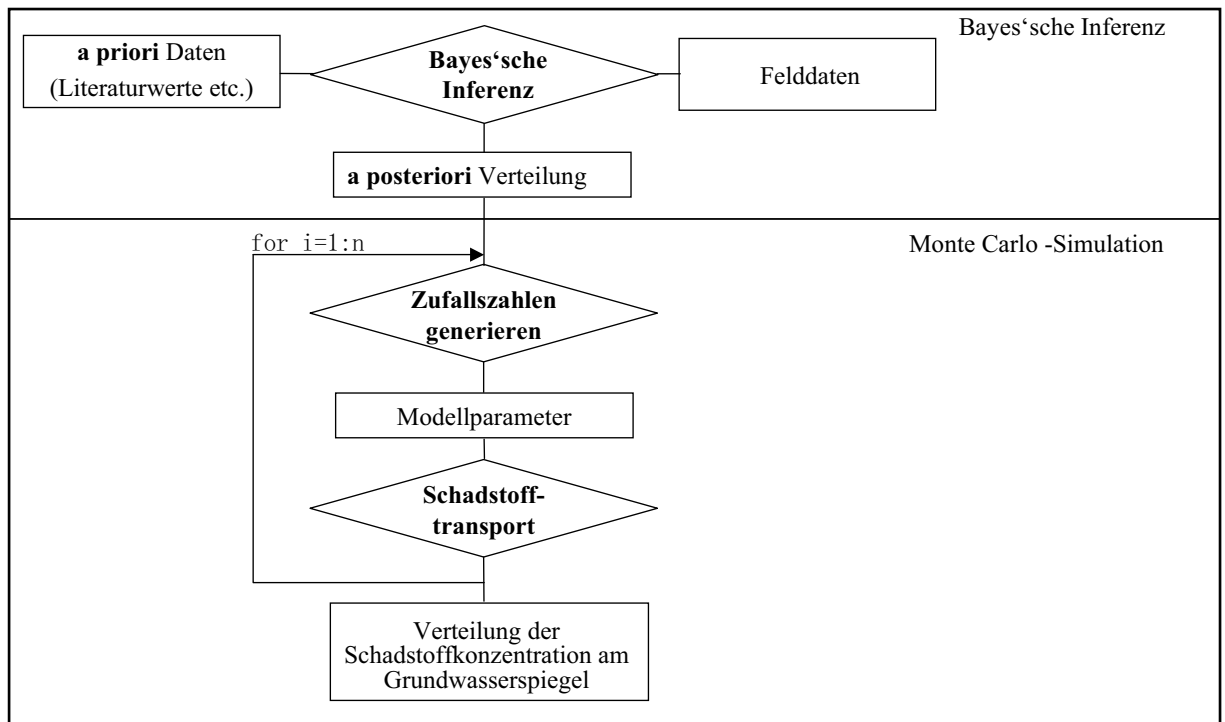


Abbildung 1: Generierung der Wahrscheinlichkeitsverteilung der Bodenparameter (Bayes'sche Inferenz) und Verwendung in der stochastischen Transportmodellierung (Monte Carlo).

3. Prozessanalyse

Der Transport von gelösten Schadstoffen über die Bodezone von Hochwasserrückhalteräumen erfolgt mit der Bodenwasserbewegung. Die maßgeblichen Strömungsprozesse im Untergrund eines Hochwasserrückhalteraumes bilden die flächenhafte Infiltration von Hochwasser in die Bodenzone, sowie die Strömung des Grundwassers zwischen Gewässer und Hinterland. Im Hinblick auf die Strömung in der Bodenzone lassen sich während Überflutung eines Polders drei Phasen ausweisen:

1. Phase 1: Aufsättigung der Bodenzone durch infiltrierendes Hochwasser von den Überflutungsflächen
2. Phase 2: Sickerung von Oberflächenwasser über die wassergesättigte Bodenzone
3. Phase 3: Entwässerung des Bodens nach Entleerung des Hochwasserrückhalteraumes

Um die Bedeutung der Einzelprozesse hinsichtlich der Gesamtschadstoffverlagerung bewerten zu können, müssen die Stoffflüsse während der einzelnen Strömungsphasen bilanziert werden.

Die Wasserströmung im Boden kann mit Hilfe der Richardsgleichung beschrieben werden. Unter der Annahme, dass die Strömung im Boden unter Überstaubedingungen vorwiegend vertikal verläuft, kann die Formulierung des Strömungsprozesses auf den eindimensionalen Fall reduziert werden:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[k(\theta) \frac{\partial \psi}{\partial z} - 1 \right] \quad (2)$$

Die zeitliche Änderung des Wassergehaltes (θ) ist abhängig von der Änderung der Wasserströmung mit der Tiefe (z), wobei die Strömung außer vom Gravitationspotential vom Gra-

dienten der Saugspannung (ψ) und der hydraulischen Leitfähigkeit im Strömungsfeld bestimmt wird. Zur Beschreibung der bodenartabhängigen Änderung des Wassergehaltes mit der Änderung der Saugspannung werden üblicherweise Wasserspannungskurven verwendet (z.B. Brooks & Corey 1966 oder Van Genuchten 1980).

Die Berechnung des Transports der gelösten Schadstoffe mit der Bodenwasserströmung erfolgt über die advective Ausbreitung. Der Transport vieler Schadstoffe im Boden wird durch Sorption an den Kornoberflächen und durch mikrobiellen Abbau beeinflusst, wobei das Ausmaß dieser Reaktionen durch Schadstoffeigenschaften sowie Transportparameter des Bodens bestimmt wird. Der Stoffabbau während der drei Transportphasen spielt für die überwiegende Anzahl der Schadstoffe nur eine untergeordnete Rolle, da die betrachteten Transportzeiten keinen nennenswerten Abbau erlauben. Betrachtet man hingegen den Stofftransport über mehrere Überflutungszyklen kann die mikrobielle Schadstoffeliminierung ein wichtiger Faktor in der Massenbilanz darstellen.

In welchem Maße im Boden Schadstoffe zurückhalten werden, wird über den Sorptionskoeffizienten (k_d) beschrieben, der aus verfügbaren Bodeninformationen abgeleitet werden kann. Die Sorption von organischen Schadstoffen erfolgt vorwiegend an der organischen Substanz im Boden.

$$k_d = k_{OC} \cdot f_{C_{org}} \quad (3)$$

Der Sorptionskoeffizient für diese Art von Schadstoffen wird daher über den schadstoffspezifischen Verteilungskoeffizienten gegenüber organischem Material (k_{oc}) und dem Gehalt an organischem Kohlenstoff im Boden ($f_{C_{org}}$) abgeschätzt.

4. Prozessbeschreibung

Für die Berechnung des Schadstofftransports bei gegebenen Bodeneigenschaften und Randbedingungen wurden Programme entwickelt, die die Richardsgleichung mit Hilfe numerischer Verfahren lösen (z.B. Hydrus1D, Šimůnek 2005). Diese Verfahren sind für die Anwendung in Monte Carlo Simulationen auf Grund des hohen Rechenzeitbedarfes nur bedingt einsetzbar. Die oben beschriebene Schematisierung des Strömungsgeschehens in der Bodenzone ermöglicht den Einsatz von analytischen Lösungen zur Berechnung der Schadstoffverlagerung. Auf der Grundlage dieser Beschreibungen wurde das Massenbilanzmodell FWinf entwickelt. Im Folgenden werden die analytischen Ansätze vorgestellt, die für die Strömungs- und Transportmodellierung in FWinf verwendet wurden.

4.1 Wasserströmung

Phase 1: Die Aufsättigung der Bodenzone kann als Infiltrationsvorgang bei konstantem hydraulischem Potential an der Bodenoberfläche beschrieben werden. In der Literatur findet sich eine Reihe von mathematischen Beschreibungen des Infiltrationsvorgangs bei Überstau, die sich hinsichtlich ihrer Vereinfachungen gegenüber einer vollständigen Lösung der Richardsgleichung unterscheiden. Als Ergebnis dieser Verfahren erhält man die zeitliche Entwicklung der Infiltrationsraten in den Boden während eines Überstauereignisses. Für die Untersuchung der Strömung im Hochwasserretentionsraum während der Aufsättigungsphase wurde eine Verfahren nach Braud et al. (2004) verwendet, das auf der Beschreibung des Infiltrationsgeschehens nach Haverkamp (1990) und Parlange (1985) basiert.

Bei diesen Verfahren wird der Bodenaufbau als homogen angenommen. Im Untersuchungsgebiet ist der Bodenaufbau überwiegend zweigliedrig, mit einem sandigen Unterboden und einem darüber liegenden Auenlehmauflage. Daher wurde die Infiltrationsgleichung auf Böden erweitert, deren Oberboden eine geringere hydraulische Durchlässigkeit aufweist als der Unterboden. Der in Abbildung 2 dargestellte Vergleich zeigt eine gute Übereinstimmung zwischen der numerischen Lösung und dem Modell FWinf.

Die Wasserbewegung über Makroporen (z.B. Wurzel- und Wurmritzen) wird bei dem Verfahren nach Braud et al. (2004) nicht berücksichtigt. In Anlehnung an ein Verfahren nach Chen & Wagenet (1992) wird die Makroporenströmung in FWinf über senkrecht verlaufende Kapillarbündel beschrieben, für die eine Radienverteilung (Lognormalverteilung) vorgegeben wird. Die Strömung selber wird über Gleichungen aus der Rohrhydraulik berechnet.

Während eines Hochwasserereignisses wird der Grundwasserspiegel im Vorland eines Flusses durch infiltrierendes Flusswasser angehoben. Durch den steigenden Grundwasserspiegel verringert sich die Mächtigkeit der ungesättigten Zone im Hochwasserrückhalteraum mit der Zeit in Abhängigkeit von der Entfernung zum Gewässer. Für die Modellierung der Bodenauf-sättigung bedeutet dies, dass der Grundwasserflurabstand je nach Flutungszeitpunkt des Hochwasserrückhalterumes berechnet werden muss. Boufadel (2002) entwickelte eine analytische Gleichung zur Beschreibung der zeitlichen Änderung der Grundwasserdruckhöhe im Flussvorland während eines Hochwasserereignisses. Im Modell FWinf wird dieses Verfahren verwendet, um für jeden Flutungszeitpunkt die aktuelle Lage des Grundwasserspiegels abzuschätzen.

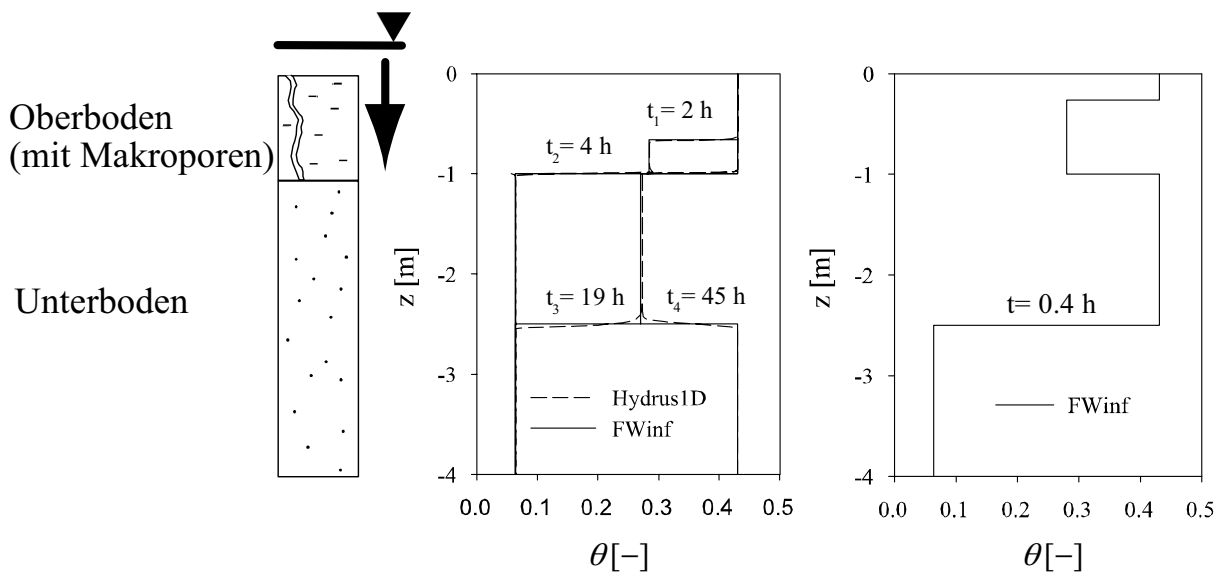


Abbildung 2: Gegenüberstellung der Wassergehaltsverteilung (θ) über die Tiefe (z) während verschiedener Ausättigungsphasen ohne (links) und mit Makroporen (rechts).

Phase 2: Nach der Aufsättigung der Bodenzone findet durch die landeinwärts gerichtete Abnahme der Grundwasserdruckhöhe weiterhin Sickerung von Oberflächenwasser durch die Bodenzone statt. Das sich einstellende Grundwassersystem kann vereinfacht durch das „leaky-aquifer“ Prinzip beschrieben werden indem für das Gewässerbett und die Überflutungsflächen ein identisches höheres hydraulische Potential und landseitig des Polderdeiches ein niedrigeres Potential verwendet wird. Die Durchlässigkeit der gesättigten Bodenzone wird hierfür durch einen einheitlichen Leakage-Parameter wiedergegeben. Das sich einstellende Profil der Grundwasserdruckhöhe kann durch eine analytische Lösung beschrieben werden. In Ab-

bildung 3 ist die Lösung einer solchen Gleichung für einen Flussauenquerschnitt dargestellt worden.

Unter der Annahme, dass die Strömung in der Bodenzone vorwiegend senkrecht erfolgt, berechnen sich die Strömungsgeschwindigkeiten (v) aus der effektiven Leitfähigkeit der Bodenzone (k_{eff}), der Bodenporosität (θ_s) und dem hydraulischen Gradienten zwischen dem Oberflächenwasser (OW) und dem Grundwasser (GW).

$$v = \frac{k_{eff}}{\theta_s} \cdot \frac{(h_{OW} - h_{GW})}{dz} \quad (4)$$

Die Annahme einer vertikalen Strömungsrichtung ist dann gerechtfertigt, wenn die hydraulische Leitfähigkeit in der Bodenzone in Größenordnungen unter der Leitfähigkeit des Grundwasserleiters liegt, was bei der Existenz von tonigen Deckschichten im Flussvorland zumeist gerechtfertigt ist. Die Druckhöheunterschiede zwischen Überstauwasserspiegel und Grundwasser sind in der Nähe des Polderdeiches am größten, wodurch sich dort die größten Sickeraten durch die Bodenzone einstellen werden.

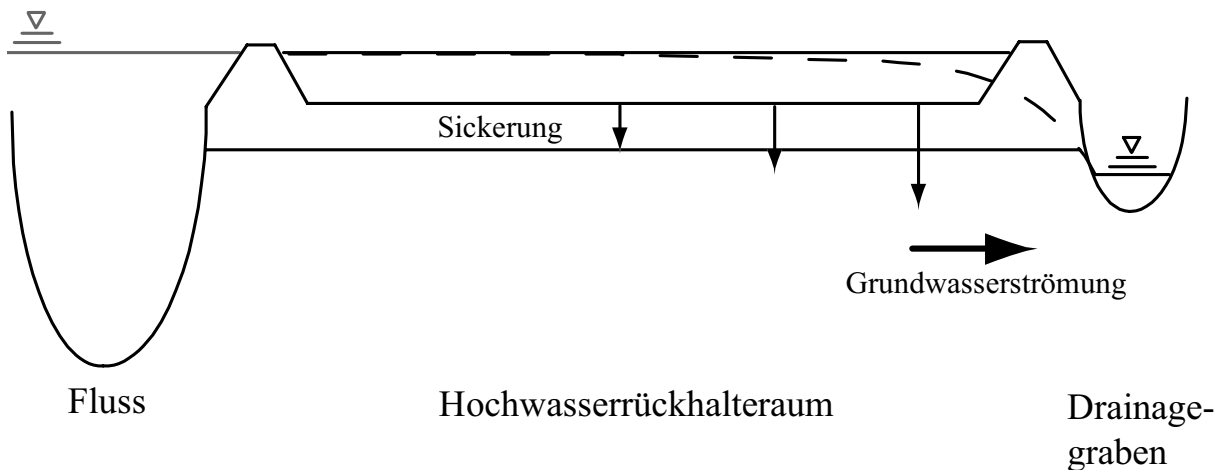


Abbildung 3: Profil der Grundwasserdruckhöhe nach Aufsättigung der Bodenzone.

Phase 3: Nach der Entleerung des Rückhalteraaumes tritt mit sinkendem Grundwasserstand eine Entwässerung des Bodens ein. Ohne Sickerung aus den Überflutungsflächen wird das Absinken des Grundwasserstands in Flussnähe vorwiegend durch den Verlauf des Pegelstands im Gewässer beeinflusst. Die Obergrenze für die Fließgeschwindigkeit des Bodenwassers bei gravitativer Entwässerung liegt in der Größenordnung der gesättigten Leitfähigkeit des Bodens (0,1-10 m/d). Im Allgemeinen sinkt der Wasserspiegel im Gewässer während des Ablaufs einer Hochwasserwelle mit Geschwindigkeiten die unter diesen Werten liegen, so dass die mittlere Porenwassergeschwindigkeit in der Bodenzone mit der Sinkgeschwindigkeit des Grundwasserspiegels gleichgesetzt werden kann.

4.2 Schadstofftransport

Im Modell FWinf wurde die Schadstoffverlagerung im Boden durch einen Massenbilanzansatz umgesetzt. Bei konstanter Konzentration eines Schadstoffes im Oberflächenwasser (C_{in}) kann die eingetragene Schadstoffmasse pro Fläche (M_t) über das infiltrierte Wasservolumen pro Fläche (V_{inf}) berechnet werden:

$$M_t = V_{\text{inf}} \cdot C_{\text{in}} \quad (5)$$

Wird die Sorption des Schadstoffes an die Matrix über eine lineare Sorptionsisotherme beschrieben, berechnet sich die Tiefe der Konzentrationsfront (z) bei Kenntnis der Bodenporosität (θ) und -lagerungsdichte (ρ) sowie des linearen Sorptionskoeffizienten (k_d) folgendermaßen:

$$z = \frac{M_t}{C_{\text{in}} \cdot (\theta + \rho \cdot k_d)} \quad (6)$$

Auf Grund der ausschließlichen Berücksichtigung der Schadstoffverlagerung mit der Bodenströmung (Advektion) werden mit der dargestellten Methode scharfe Konzentrationsfronten berechnet. In Abbildung 4 sind berechnete Schadstofffronten nach Aufsättigung der Bodenzone ohne und mit Berücksichtigung von Makroporenströmung dargestellt. Die Validierung der Schadstofffronten für den Transport ohne Makroporen mit Hydrus1D zeigt eine gute Übereinstimmung der Ergebnisse. Oberhalb der Konzentrationsfront weist die numerische Lösung für rein advektiven Transport Oszillationen im Konzentrationsverlauf auf. Der hierdurch eingeführte Fehler bei der Berechnung der Schadstofffront mit Hydrus1D ist jedoch vernachlässigbar klein. Die Berechnung der Schadstoffverlagerung unter Berücksichtigung der Makroporen wurde bisher nicht mit anderen Makroporenmodellen validiert. Als vorläufiges Ergebnis kann jedoch beobachtet werden, dass die Makroporen zu einem „by-pass“ der Schadstoffe vorbei am Oberboden in den Unterboden führen.

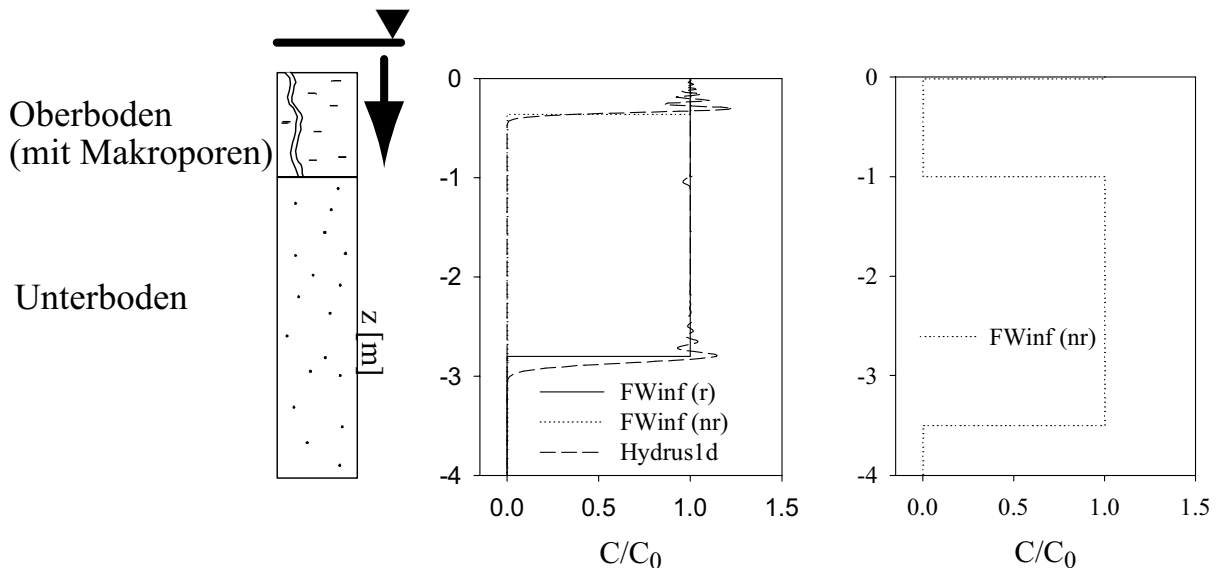


Abbildung 4: Berechnete Position der Schadstofffront nach Aufsättigung der Bodenzone ohne (links) und mit Makroporen (rechts), r: mit linearer Sorption, nr: ohne Sorption.

5. Fallbeispiel

Der geplante Rheinpolder „Bellenkopf/Rappenwört“ befindet sich ca. 4 km südwestlich der Stadtmitte von Karlsruhe. Das Gebiet umfasst eine Fläche von 510 ha und bietet nach Fertigstellung des Rückhalteraums ein Speichervolumen von 14 Mill. m³. Der Hochwasserrückhalteraum soll als Teil des „Integrierten Rheinprogramms“ errichtet werden, das durch Ausweisung von weiteren Rückhalteflächen und Planung von Steuerungsmaßnahmen schrittweise den Hochwasserschutz am Oberrhein an das Auftreten eines 200jährigen Hochwassers an-

passen soll. Das Gebiet „Bellenkopf/Rappenwört“ setzt sich hauptsächlich aus Waldflächen (ca. 60%), landwirtschaftlich genutzte Flächen (22%) und offen Wasserflächen (17%) zusammen. Durch Flussdeiche wurde das Gebiet seit Beginn des 20. Jahrhunderts vor Rheinhochwässern geschützt, so dass heute nur noch einen schmalen Streifen entlang des Rheins regelmäßig überflutet wird.

Durch die Lage des Gebietes in der Flussaue des Rheins wurde das Relief in den letzten Jahrhunderten durch die Verlagerung des Rheinbettes geprägt. Heute stellen ehemalige Flusschlingen und Kiesbänke die markantesten Landschaftsformen dar.

5.1 Datenerhebung

Aus vorhandenen Bodenprofilaten ($n=280$) und Informationen zur flussgeschichtlichen Entwicklung des Gebietes wurde eine Karte des Bodenaufbaus erstellt (siehe Abbildung 5). Die Ausweisung der Bodeneinheiten erfolgte über ein digitales Höhenmodell und Karten des ehemaligen Rheinverlaufes in diesem Flussabschnitt. Für die Teilflächen wurden mittlere Mächtigkeiten und Substratarten des Ober- und Unterbodens aus den Profilinformatoren berechnet und zudem Streuungen für diese Daten angegeben. Die bodenhydraulischen Eigenschaften der auftretenden Substrate wurden durch Laboruntersuchungen an ungestörten Bodenproben ermittelt. Hierbei wurden Wasserspannungskurven und gesättigte hydraulische Leitfähigkeiten experimentell bestimmt.

Der Gehalt an organischen Kohlenstoff (C_{org}) im Boden wurde an mehreren Standorten im Untersuchungsgebiet über die Tiefe bestimmt. Mit Hilfe der erstellten Bodenkarte und unter Berücksichtigung der Flächennutzung im Gebiet (landwirtschaftliche Flächen: niedrigere Gehalte als unter Wald) wurden den Bodeneinheiten die ermittelten C_{org} -Verläufe zugewiesen.

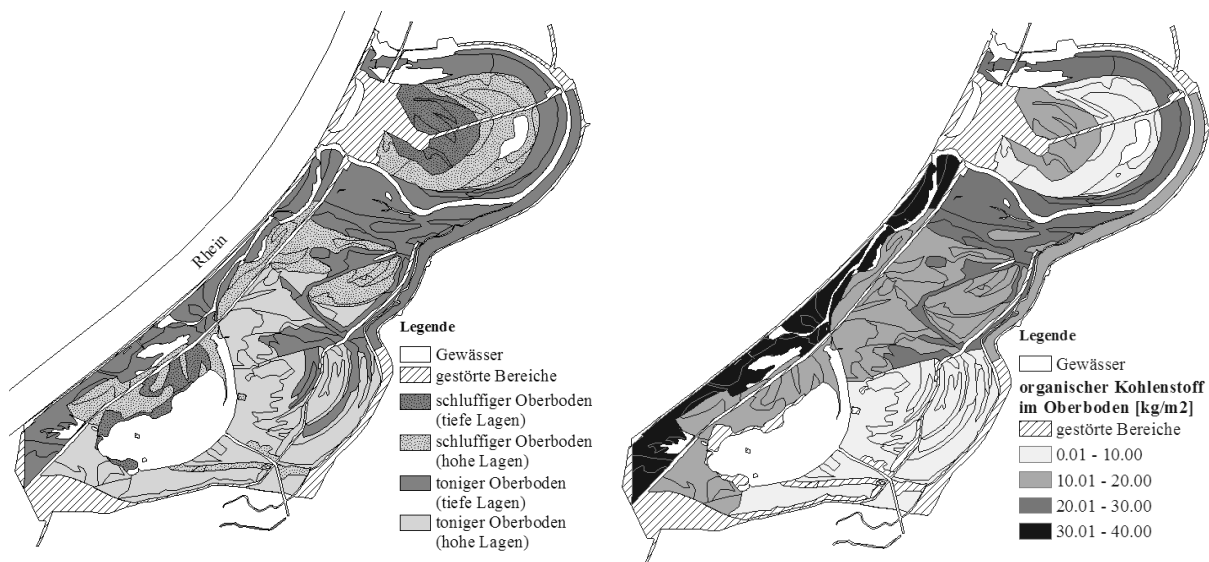


Abbildung 5: Verteilung der Eigenschaften des Oberbodens im Untersuchungsgebiet, links: Textur und Höhenlage, rechts: Gehalt an organischem Kohlenstoff.

An drei Standorten im Untersuchungsgebiet wurden für eine detaillierte Beschreibung der Bodeneigenschaften Schürfgruben bis 2 m Tiefe angelegt. Zur Visualisierung der Fließwege während eines Überflutungsereignisses wurden Tracerversuche und Infiltrationsexperimente mit Hilfe eines Doppelringinfiltrimeters durchgeführt. Auf Grund von Makroporenfluss wurden am tonigeren Standort (G3) inhomogenere Infiltrationsfronten sowie höhere Infiltrations-

raten als am schluffigeren Standort (G1) festgestellt (siehe Abbildung 6). Aus den eigenen Versuchsergebnisse sowie Aufzeichnungen von früheren Infiltrationsexperimenten konnten über einen Vergleich mit einer 2D-numerischen Simulation des Infiltrationsvorganges Makroporenporositäten abgeschätzt werden. Die berechneten Makroporenanteile wurden klassifiziert und den Bodeneinheiten des Gebietes mit Hilfe von Vegetationskartierungen zugewiesen.

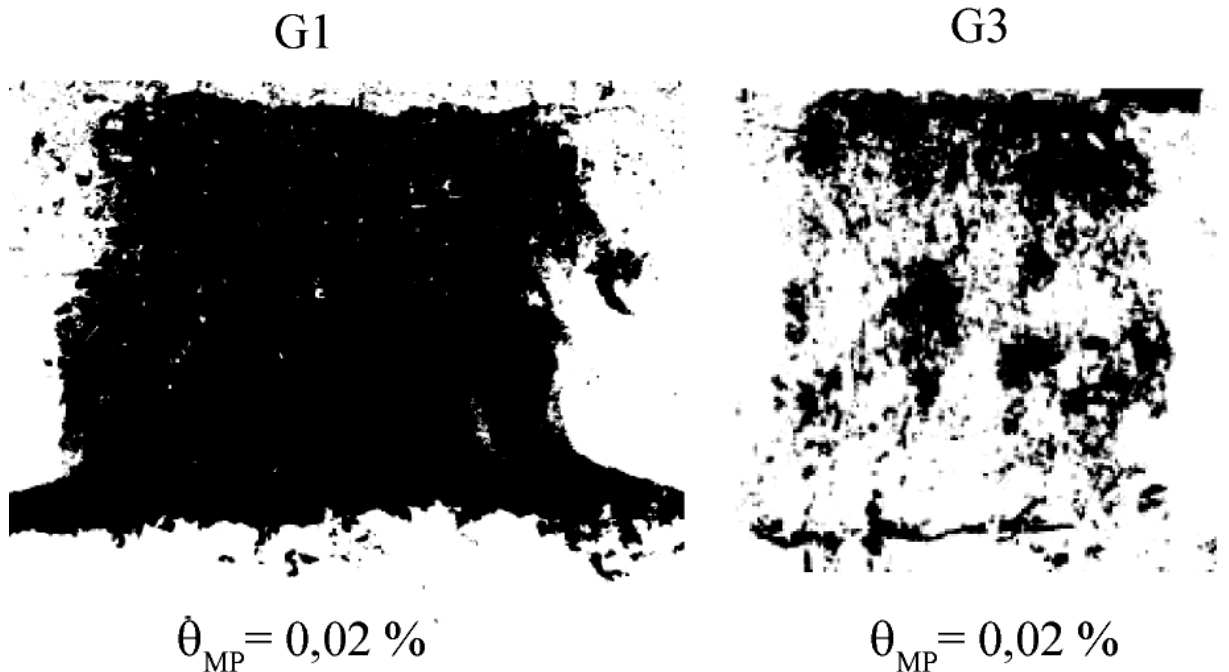


Abbildung 6: Tracerversuche (Brilliant Blue) an zwei Standorten im Untersuchungsgebiet (θ_{MP} : Makroporenporosität [%]).

5.2 Erste Ergebnisse

Das entwickelte Modell FWinF wurde zur Simulation der Sickerwasserströmung im Untersuchungsgebiet verwendet. Als Überflutungsszenario wurde der gemessene Pegelstand eines realen Hochwassers am Rhein im Jahr 1999 gewählt.

Für die Phase 1 wurden die Zeiten bis zur Aufsättigung der Bodenzone berechnet. In Tabelle 1 sind die mittleren Zeiten getrennt nach flussnahen und –fernen Standorten dargestellt. Durch die Berücksichtigung einer landeinwärts gerichteten Grundwasserströmung während eines Hochwasserereignisses ergaben sich an flussnahen Standorten höhere Grundwasserstände und damit eine schnellere Aufsättigung der Bodenzone.

In Abbildung 7 wurden die Flächenanteile der berechneten Sickerwasservolumen getrennt nach den drei Strömungsphasen dargestellt. Zur Berechnung der Sickerwassermenge aus der Strömungsphase wurde eine Flutungsdauer von 7 Tagen angenommen. Die drei Phasen der Bodenwasserbewegung

Tabelle 1: Zeiten bis zur Aufsättigung der Bodenzone und infiltriertes Wasservolumen pro m^2 .

	rheinnah	rheinfeld
schluffiger Oberboden		
tiefe Lagen	0.2 h / 20 l	3.5 h / 200 l
hohe Lagen	1.5 h / 80 l	2.5 h / 160 l
toniger Oberboden		
tiefe Lagen	0.04 h / 4 l	1.1 h / 40 l
hohe Lagen	1.1 h / 30 l	4.7 h / 130 l

sind für das gewählte Überflutungsszenario hinsichtlich des infiltrierenden Wasservolumens in etwa gleichbedeutend. Die hohen Infiltrationsraten in der 2. Phase werden an den Flächen entlang des Polderdeiches erreicht. Das Sickerwasservolumen aus Phase 1 und 3 ist identisch, da angenommen wurde, dass sich durch die Drainage des Bodens wieder die Selben Bedingungen wie zu Beginn der Flutung einstellen.

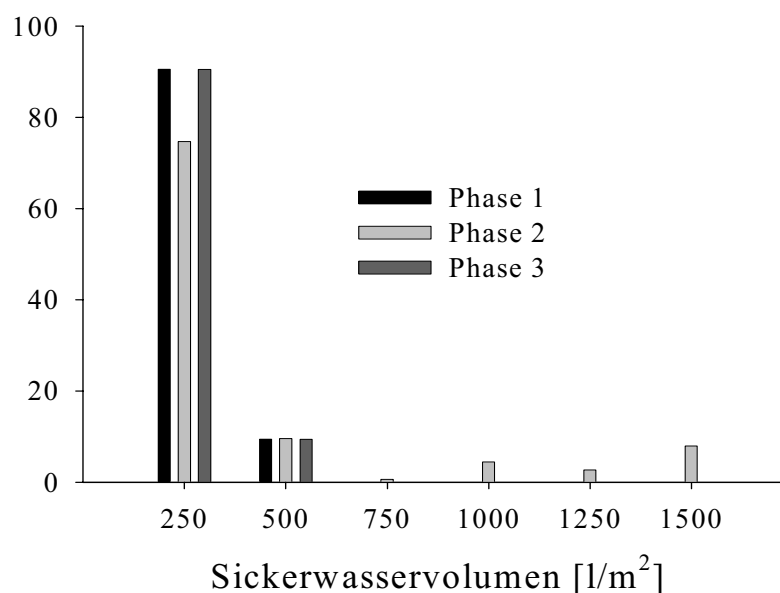


Abbildung 7: Sickerwasservolumen in den drei Phasen der Bodenwasserströmung.

Danksagung

Diese Forschungsarbeit wurde am Institut für Hydromechanik der Universität Karlsruhe (TH) durchgeführt. Die finanzielle Unterstützung erfolgte durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen des Graduiertenkollegs „Naturkatastrophen“.

Literaturverzeichnis

- Boufadel M.C., Peridier V. (2002) Exact analytical expressions for the piezometric profile and water exchange between stream and groundwater during and after a uniform rise of the stream level – *Water Resources Research* (<http://www.agu.org/pubs/crossref/2002.../2001WR000780.shtml>) DOI: 10.1029/2001WR000780, zitiert am 14. Mai 2007
- Braud I., De Condappa D., Soria J.M., Haverkamp R., Angulo-Jaramillo R., Galle S., Vauclin M. (2005) Use of scaled forms of the infiltration equation for the estimation of unsaturated soil hydraulic properties - *European Journal of Soil Science* 56: 361-374.
- Brooks R.H., Corey A.T. (1966) Properties of porous media affecting fluid flow - *J. Irrigation and Drainage Div., Proc. Am. Soc. Civil Eng.* 92: 61-88.
- Chen C., Wagenet R.J. (1992) Simulation of water and chemicals in macropore soils, Part1 Representation of the equivalent macropore influence and its effect on soilwater flow – *Journal of Hydrology* 130: 105-126
- Haverkamp R., Parlange J.-Y., Starr J.L., Schmitz G., Fuentes C. (1990) Infiltration under ponded conditions: 3. A predictive equation based on physical parameters – *Soil Science* 149: 292-300
- Lee, P. (1997), *Bayesian Statistics*, Oxford University Press.
- Parlange J.Y., Haverkamp R., Touma J. (1985) Infiltration under ponded conditions: 1. Optimal analytical solution and comparison with experimental observations – *Soil Science* 139: 305-311
- Šimůnek J., Van Genuchten M.Th., Seyna M. (2005) The HYDRUS-1D software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat and multiple solutes in variably-saturated media, Version 3.0, University of California, Riverside
- Van Genuchten M.Th. (1980) A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils – *Journal of the American Soil Science Society* 44: 893-898

Ein geochemisch-mineralogischer Ansatz zur Rekonstruktion von Hochwasserereignissen

Stephanie Bleeck-Schmidt

Universität Karlsruhe (TH), Institut für Mineralogie und Geochemie, 76131 Karlsruhe, Deutschland, E-mail: stephanie.bleeck@img.uni-karlsruhe.de, Telefon: +(49)721/6083327

Kurzfassung

Um eine Aussage über die Auffälligkeit heutiger Hochwasserereignisse machen zu können, ist es notwendig Häufigkeit und Ausmaß vergangener Hochwasserereignisse zu kennen.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit dem Versuch unbekannte Hochwasserereignisse außerhalb historischer Aufzeichnungen anhand geochemisch-mineralogischer Signale in den Auensedimenten von Flüssen zu identifizieren. An Schwebstoffproben vom Rhein konnte dargelegt werden, dass bei einem Hochwasserereignis der Anteil der transportierten grobkörnigen Carbonatfraktion im Vergleich zur feinkörnigen Eisenoxidfraktion deutlich höher ist. Mit Hilfe von geochemischen und mineralogischen Untersuchungen an Sedimentkernen, die in den Rheinauen gezogen wurden, konnte gezeigt werden, dass analog die Carbonatfraktion an eine relativ grobkörnige Korngrößenfraktion (20-100 μm), die Eisenoxidfraktion hingegen an eine relativ feinkörnige Korngrößenfraktion (< 5-20 μm) gebunden ist. Es bleibt noch zu klären inwieweit eventuell höhere Gehalte an Ca bzw. an Carbonaten in Auensedimenten mit vergangenen Hochwasserereignissen zusammenhängen.

Stichworte

Hochwasser, Geochemie, Rekonstruktion, Rhein, Donau

1. Einleitung

Die zunehmende Häufigkeit von extremen Hochwasserereignissen ist seit vielen Jahren Gegenstand der Debatte (Berner 2000) und es wird darüber spekuliert ob dies eine mögliche Konsequenz von Klimaänderungen und/oder Flussregulierungsmaßnahmen ist. Doch die Klimageschichte Mitteleuropas zeigt (Glaser 2001), dass im letzten Jahrtausend durchaus Hochwasserereignisse vorgekommen sind, die in ihrem Ausmaß vergleichbar sind mit der Flut an der Elbe 2002 (Mudelsee et al. 2003, Ockenfeld & Böhme 2003). Eine auf Fakten basierende Diskussion über die Ursachen von extremen Hochwasserereignissen bedarf allerdings einer genaueren Kenntnis über deren Häufigkeit und Intensität bis in eine weiter entfernte Vergangenheit.

Das Ziel dieses Projekts ist es, zu verifizieren inwieweit es möglich ist anhand der geochemischen und mineralogischen Zusammensetzung von Auensedimenten, sowie mit Hilfe der Datierung mittels Thermolumineszenz (Fuchs 2001) auf Paläohochwasserereignisse schließen zu können.

Bei der Suche nach einem entsprechenden Ansatz wurde davon ausgegangen, dass die besonderen hydrologischen Bedingungen während eines Hochwasserstandes eine Veränderung in der Korngröße des transportierten Schwebstoffmaterials mit sich bringen (Heidel 1956) und in der Folge eine Veränderung dessen mineralogischer und geochemischer Zusammensetzung (Brown et al. 2000). Daher sollten sowohl die mineralogische als auch die geochemische Zu-

sammensetzung der abgelagerten Sedimente vergangene Hochwasserereignisse unmittelbar widerspiegeln (Medioli 2003).

In dem vorliegenden Beitrag wird dieser theoretische Ansatz verifizierend auf die Arbeitsgebiete angewendet. Dabei steht der Zusammenhang zwischen der Wasserführung und der geochemisch-mineralogischen Zusammensetzung des abgelagerten Hochwassersediments im Vordergrund.

2. Hydrologie und Geologie der Untersuchungsgebiete

Als Untersuchungsgebiete wurden die Flüsse Rhein und Donau ausgewählt (Abb. 1): Der Rhein aufgrund der bereits durch die LUBW (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg) beprobten Hochwasserereignisse in den Jahren 1999 (Februar) und 2002 (August) sowie aufgrund sehr ausführlich vorhandenen Datenmaterials zu Geologie (Trunkó 1984, Rutte 1987), Flussmorphologie (Schröder & Rey 1991), Auenbiologie (Gallusser & Schenker 1992) und Hydrologie (Kalweit 1993).



Abbildung 1: Probenahmestandorte an Rhein und Donau.

Die Donau wurde ebenfalls wegen der bereits vorhandenen Literatur zu Geologie (Rutte 1987), Klimageschichte (Hantke 1993) und Hydrologie (UNESCO 1993) ausgewählt, sowie infolge des Hochwassers im August 2005, welches die Entnahme von Proben während eines Hochwasserereignisses ermöglichte.

2.1 Rhein

Der Rhein ist ein Strom im Übergangsbereich von Zentral- und Westeuropa. Von der Quelle des Vorderrheins bis zur Mündung des Lek hat er eine Gesamtlänge von 1.320 km. Die mittlere Abflussmenge kurz vor dem Delta beträgt $2.330 \text{ m}^3/\text{s}$. Die höchste dort gemessene Abflussmenge beträgt $12.000 \text{ m}^3/\text{s}$ (Hochwasser 1926), die niedrigste $600 \text{ m}^3/\text{s}$ (Sommer 1947).

Das Einzugsgebiet des Rheins umfasst 198.735 km^2 und er

durchfließt auf seinem Weg in die Nordsee das nördliche Alpenvorland, den Oberrheingraben, die Mittelgebirgsschwelle und das Niederrheinische Tiefland (IKSR 2007).

Das Oberrheingebiet ist eine ca. 300 km lange und durchschnittlich 40 km breite geotektonische Grabenstruktur, deren Entwicklung vor ca. 50 Mio Jahren infolge großräumiger Bewegungen mit einer flachen Aufwölbung der Erdkruste begann. Zum Gebirge hin werden die Schotter der Talzone von den Sedimenten der Randsenke (Kinzig-Murg-Rinne), einem stellenweise noch heute aktiven Abflussbereich, abgelöst. Kleinere Talauen mit meist sandig-lehmigen Sedimenten (z.B. Elz, Kinzig) durchqueren den Niederterrassenbereich auf ihrem Weg zum Rhein. Die Vorbergzone wird aus mesozoischem und tertiärem Gesteinsmaterial aufgebaut und ist häufig von einem Lössmantel überzogen (LfU 2005). Die Oberrheinebene über dem Trog- und Grabenrandbereich wird von quartären Kiesen, Sanden und Tonen gebildet. Sie überlagern das mächtige Tertiär des Grabens (Geyer & Gwinner 1991).

Im Holozän (seit ca. 10.000 Jahren) hat sich der Rhein in sein Niederterrassensystem eingeschnitten und dabei eine bis zu 15 m hohe Erosionskante (Hochgestade) gebildet. Aufgrund des unterschiedlichen Gefälles entwickelten sich zwei Flusslaufstypen: Im südlichen Oberrhein die Furkationszone (Zone der Flussgabelungen), ab dem Raum Karlsruhe die Mäanderzone (LfU 2005).

Der Standort für die Entnahme der Kerne liegt im Auenbereich bei der Ortschaft Elchesheim-Illingen (Abb. 1), südwestlich von Karlsruhe, ca. 330 km vom Quellgebiet bzw. dem Bodensee entfernt. Die Entnahme der 1 m langen Kerne erfolgte im Oktober 2005, ein weiterer 3 m langer Kern wurde im März 2006 gezogen.

Die Schwebstoffproben stammen von Hochwasserereignissen in den Jahren 1999 (Februar) und 2002 (August) von der Staustufe Iffezheim und wurden freundlicherweise von der LUBW für Untersuchungen zur Verfügung gestellt.

2.2 Donau

Die Donau ist der einzige große europäische Fluss, der von Westen nach Osten fließt. Sie erreicht nach 2.888 km in Rumänien und der Ukraine das Donaudelta und ist damit nach der Wolga der zweitlängste Strom in Europa. Die mittlere Abflussmenge beträgt $6.700 \text{ m}^3/\text{s}$, die Höchststände des Abflusses wurden in den Jahren 1954, 1988, 2002 und 2005 gemessen.

Die Donau hat ein Einzugsgebiet von 795.686 km^2 und durchfließt auf ihrem Weg zum Schwarzen Meer zehn europäische Staaten (RiverNet 2007).

Das obere Donauebiet ist eine stark atlantisch beeinflusste Region, in der sich auch noch mediterrane Klimateinflüsse auswirken. Die Hydrologie hat daher eine positive Wasserbilanz und das Abflussregime reicht von glazial-nival bis pluvial. Der durchschnittliche Abfluss des oberen Donauebietes, gemessen an der Station Achleiten unterhalb von Passau, beträgt $1.420 \text{ m}^3/\text{s}$.

Die heutige Donau, deren Quellflüsse Brigach und Breg sich bei Donaueschingen vereinigen, ist nur ein beschnittener Rest des ursprünglich viel größeren Flusssystemes. Im Jungtertiär (Pliozän) begann sie bereits in den Schweizer Alpen (Aare-Donau), musste dann durch Hebung des Schwarzwalds und durch die rheinische Erosion nach und nach Teile ihres Einzugsgebietes abtreten (LfU 2005). Bis heute fließen Teile des Donauwassers durch den porösen Kalkstein der Schwäbischen Alb in den tiefer liegenden Rhein. Da diese große Menge unterirdischen Wassers sich zeitgleich mehr und mehr in den umgebenden Kalkstein einschneidet, wird angenommen, dass die obere Donau eines Tages völlig zugunsten des Rheins verschwinden wird (RiverNet 2007).

Aufgrund des Wechsels von harten, widerstandsfähigen mit weicheren, leicht erodierbaren Gesteinen führt die Abtragung zu einem stufenartig gegliederten Relief. Harte Gesteine wie verkieselte Sandsteine oder reine Kalke bilden meist den Steilanstieg sowie die Kante der Hochflächen, während weichere Gesteine wie Mergel und Tonsteine eher Mulden oder flache Anstiege verursachen (Geyer & Gwinner 1991).

Ein 3 m langer Sedimentkern wurde im Mai 2006 im Auengebiet der Donau nahe der Ortschaft Pfatter (Abb. 1) gezogen. Dieser Standort befindet sich östlich von Regensburg, ca. 360 km entfernt vom Quellgebiet bei Donaueschingen.

Die Wasserproben wurden an sieben verschiedenen Stellen entlang der Donau entnommen: der westlichste Standort ist Berg an der Donau, der östlichste Standort Neuburg an der Donau. Die Entnahme der Hochwasserproben erfolgte während der Überflutung im August 2005, die der Proben bei Normalwasserstand im September 2005 und die Proben bei Niedrigwasser wurden schließlich Ende Januar 2006 entnommen.

3. Untersuchungsmethodik

3.1 Probenahme

Die Schwebstoffproben des Rheins von Hochwasserereignissen in den Jahren 1999 (Februar) und 2002 (August) wurden von der LUBW zur Verfügung gestellt, die Schwebstoffproben der Donau wurden im August (Hochwasser) und September (Mittelwasser) 2005 und im Januar 2006 (Niedrigwasser) aus filtrierten Wasserproben gewonnen.

Während eines Hochwasserereignisses wird die Schwebstofffracht in der Aue akkumuliert und bildet auf diese Weise bis zu mehrere Zentimeter mächtige Ablagerungen. Dieses Material wurde in den Auebereichen des Rheins bei Elchesheim-Illingen im Oktober 2005 und März 2006 und in denen der Donau bei Pfatter im Mai 2006 beprobt, indem sechs kurze (bis zu 3 m tiefe) Bohrungen durchgeführt wurden. In Zentimeterabständen wurden Proben genommen und hinsichtlich ihrer Korngröße sowie ihrer geochemisch-mineralogischen Zusammensetzung charakterisiert. Die Beziehung zwischen den einzelnen Parametern wurde mittels Faktorenanalyse (Statistica 5.5, StatSoft Inc., USA, 1999) untersucht.

3.2 Chemische Zusammensetzung

Die Gehalte an Haupt- (K, Ca, Fe) und Spurenelementen (Ti, Mn, Ni, Cu, Zn, As, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Ba, La, Ce, Pb) der Proben von Rhein und Donau (Schwebstoffe und Sedimentkerne) wurden mit Hilfe eines energiedispersiven Röntgenfluoreszenzspektrometers (Spectrace 5000, Tracor) ermittelt. Dazu wird das homogenisierte Probenmaterial Röntgenstrahlung ausgesetzt. Die verschiedenen Elemente einer Probe entsenden charakteristische sekundäre Röntgenstrahlung, die in einem mit flüssigem Stickstoff gekühlten Si(Li)-Detektor registriert wird. Zur Anregung bestimmter, gewünschter Elemente oder zur Unterdrückung von Hintergrundsrauschen wurden die Proben jeweils mit einem Aluminium-, einem Kupfer- und einem Palladium-Filter gemessen (Kramar 1997). Die Reproduzierbarkeit der Werte (+/- 4,78 %) wurde mit dem international zertifizierten Standard GXR-2 (Boden, Park City, Utah, USA) ermittelt.

3.3 Mineralogische Zusammensetzung

Die Hauptmineralzusammensetzung der homogenisierten Sedimentproben von Rhein und Donau wurde an einem Kristalloflex D 500 Röntgendiffraktometer (Siemens) mit $\text{CuK}\alpha$ -Strahlung in einem Winkelbereich zwischen 3° und 63° mit einer Schrittgeschwindigkeit von $0,02^\circ/\text{s}$ gemessen. Die gewählte Betriebsspannung lag bei 45 kV und die Betriebsstromstärke bei 25 mA. Die verschiedenen im Raumgitter vorhandenen Netzebenenabstände sind für jedes Mineral charakteristisch, wodurch eine Identifizierung und anschließende Quantifizierung der in der Probe vorhandenen Minerale möglich wird. Als Referenz wurde ein synthetischer Quarz (p.a., Merck) in regelmäßigen Abständen gemessen. Durch die relativ hohe Nachweisgrenze von etwa 2-5 Gew. % werden mit dieser Methode nur Haupt- und Nebengemengeteile erfasst.

3.4 Korngrößenanalyse

Sämtliche Schwebstoff- und Sedimentproben von Rhein und Donau wurden hinsichtlich ihrer Korngrößenverteilung untersucht. Die Verteilung der Anteile auf die einzelnen Korngrößenbereiche wurde mit einem MASTERSIZER X Lasergranulometer (Malvern) bestimmt. Der Meßmethode liegt das Prinzip der Laserbeugung zugrunde. Alle Partikel einer Probe beugen das Licht eines monochromen Laserstrahls. Ein Partikel mit einem großen Durchmesser beugt den Laserstrahl nur wenig, d.h. in einem kleinen Winkel. Die Lichtspektren der kleinen Partikel dagegen müssen in größeren Winkeln gegenüber dem Laserstrahl aufgenommen werden. Die Detektoren nehmen in ihrer Gesamtheit ein Intensitätsbild auf. Aus den winkelabhängigen Lichtintensitäten wird durch eine komplexe Mathematik die Partikelgrößenverteilung berechnet (Rhodes 1998).

4. Ergebnisse

Um einen ersten Eindruck über die vorhandenen Ergebnisse von Rhein und Donau zu vermitteln wurden für die Darstellung des Zusammenhangs zwischen einzelnen Mineralphasen und Korngrößenbereichen in Schwebstoffen bzw. Sedimentproben exemplarisch die Carbonat- und die Eisenoxidfraktion ausgewählt.

4.1 Rhein

Die Untersuchungen an Schwebstoffproben des Rheins zeigen, dass die Menge an transportierten Teilchen während eines Hochwassers nicht nur viel mehr ist, sondern auch dass die Körner größer sind und eine andere geochemisch-mineralogische Zusammensetzung aufweisen im Vergleich zu solchen Teilchen, die während Normalwasserstand transportiert werden. Es konnte in der Tat gezeigt werden, dass die partikuläre Fracht, die bei einer Überschwemmung transportiert wird, durch einen größeren Anteil an grobkörnigem Carbonat (Abb. 2) und einen geringeren Anteil der feinkörnigen Eisenoxidphase (Abb. 3) gekennzeichnet ist.

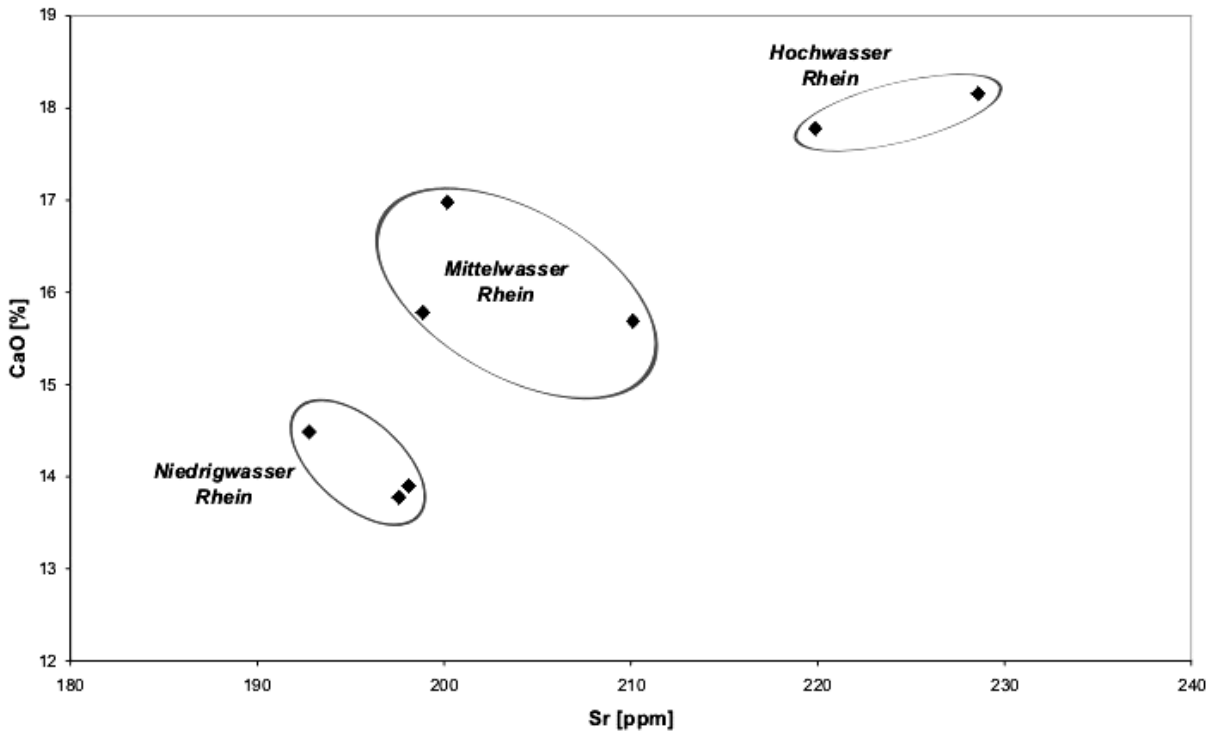


Abbildung 2: Anteil der Carbonatfraktion in den Schwebstoffproben des Rheins in Abhängigkeit vom Wasserstand.

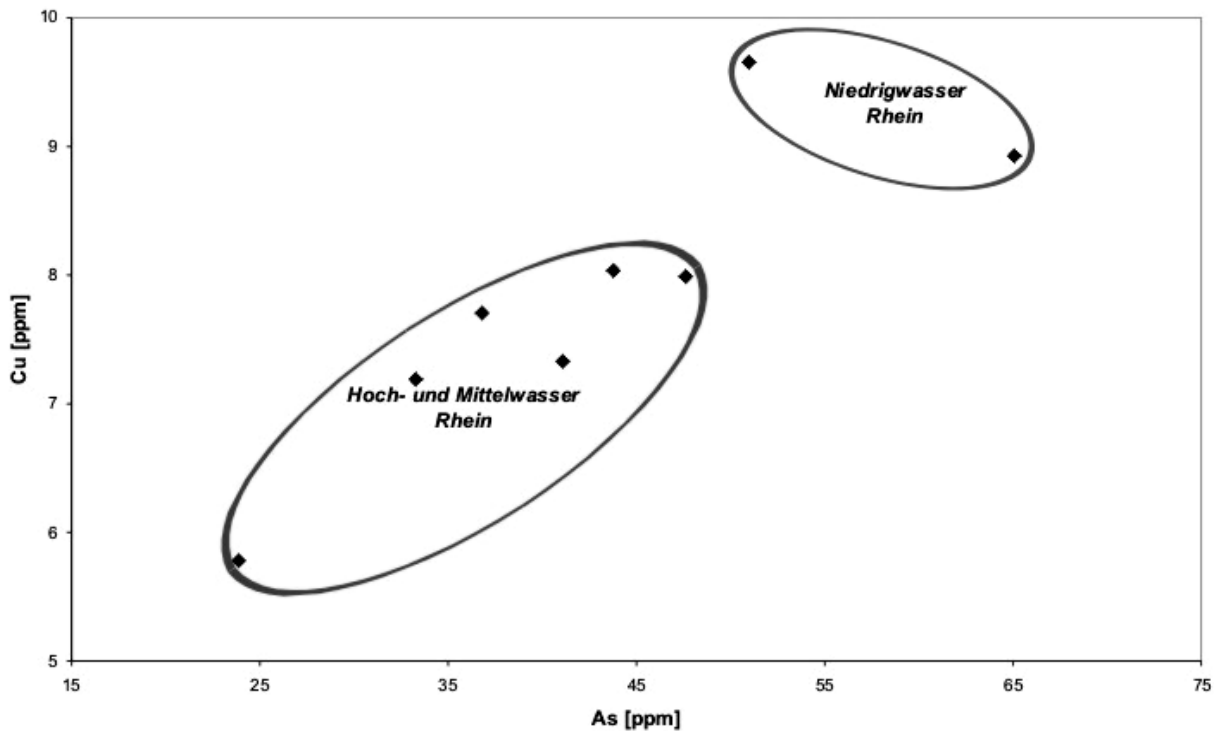


Abbildung 3: Anteil der Eisenoxidfraktion in den Schwebstoffproben des Rheins in Abhängigkeit vom Wasserstand.

Mit Hilfe von Analysen an den Sedimentkernen soll nun geklärt werden, inwieweit ein Zusammenhang zwischen den bereits untersuchten Schwebstoffen, die je nach Wasserstand mit bestimmten Korngrößenbereichen korrelieren, und den vorhandenen Elementgruppen im Sediment besteht.

Die Ergebnisse der Untersuchungen der Sedimentkerne zeigen einen klaren Zusammenhang zwischen einzelnen Mineralphasen und bestimmten Korngrößenbereichen. Die Auswertung der Ergebnisse mit der Faktorenanalyse (Abb. 4) zeigt, dass der Anteil < 20 µm deutlich mit dem Eisenoxidgehalt, der Anteil 20 bis 100 µm mit dem Carbonatgehalt und der Korngrößenbereich > 100 µm mit der Menge an siliziklastischen Komponenten korreliert. Es ist jedoch noch unklar ob das Vorherrschen des Anteils 20 bis 100 µm während Hochwasserereignissen eine lokale Erscheinung ist oder ob dies auch auf größere Teilstücke des Rheins ausgedehnt werden kann.

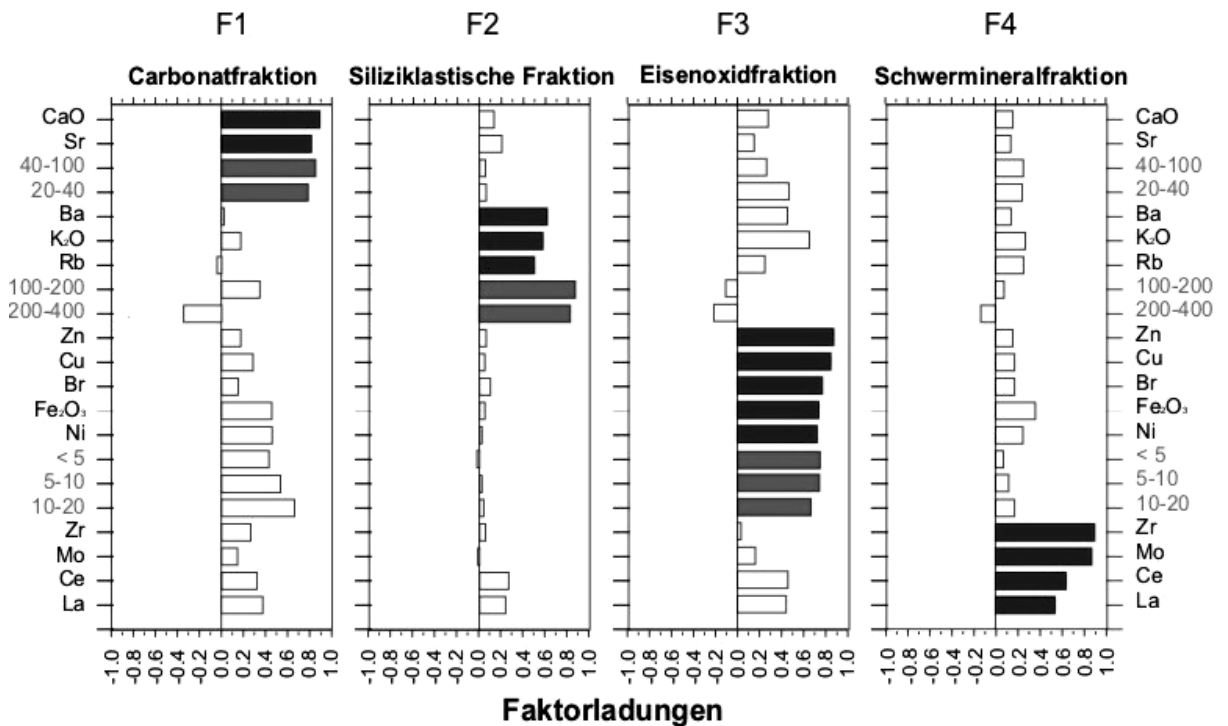


Abbildung 4: Graphische Darstellung der Ergebnisse der Faktorenanalyse (Ladungsmatrix) erstellt anhand der Daten der Rheinproben.

4.2 Donau

Auch die Untersuchungen der Schwebstoffproben von der Donau zeigen einen Anstieg der Schwebstoffkonzentration bei einem Hochwasserereignis. Diese liegt bei dem vierzig- bis achtzigfachen Wert des Normalwasserabflusses. Die partikuläre Fracht, die bei einer Überschwemmung transportiert wird, ist verglichen mit dem Rhein ebenfalls durch einen größeren Anteil an grobkörnigem Carbonat gekennzeichnet (Abb. 5). Allerdings ist im Falle der Donau bei einem Hochwasserereignis auch die – neben noch weiteren Fraktionen vorhandene – feinkörnige Eisenoxidfraktion mit einem größeren Anteil (Abb. 6) vertreten.

Mit Hilfe der Faktorenanalyse konnte einerseits ein Zusammenhang zwischen der siliziklastischen Fraktion und dem Korngrößenbereich 200 bis > 400 µm festgestellt werden und andererseits eine Korrelation zwischen der Carbonatfraktion und dem Korngrößenbereich < 5 bis 100 µm. Es kann also vermutet werden, dass die Sedimentlagen mit Korngrößen im Bereich von < 5 bis 100 µm mit einem vergangenen Hochwasserereignis in Verbindung gebracht werden können. Allerdings muss auch im Falle der Donau geklärt werden inwieweit diese Erscheinung ein lokales Phänomen ist und ob dieser Zusammenhang auch für größere Laufabschnitte der Donau Gültigkeit hat.

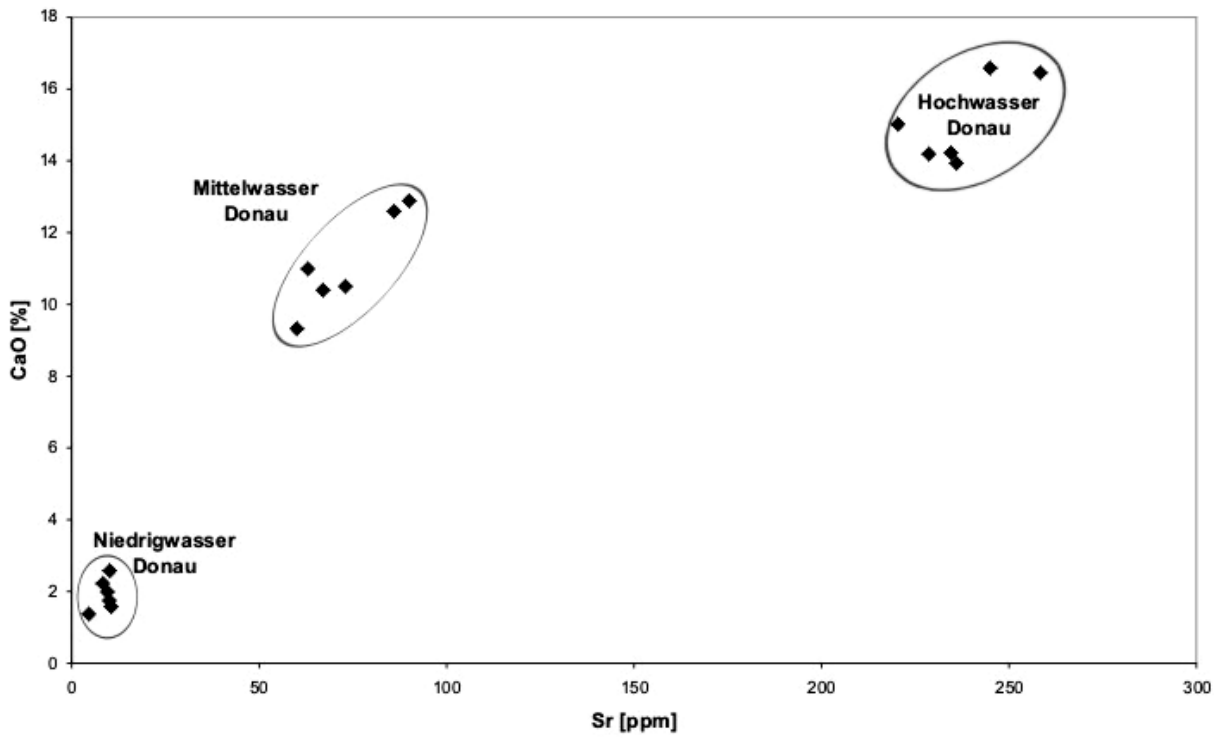


Abbildung 5: Anteil der Carbonatfraktion in den Schwebstoffproben der Donau in Abhängigkeit vom Wasserstand.

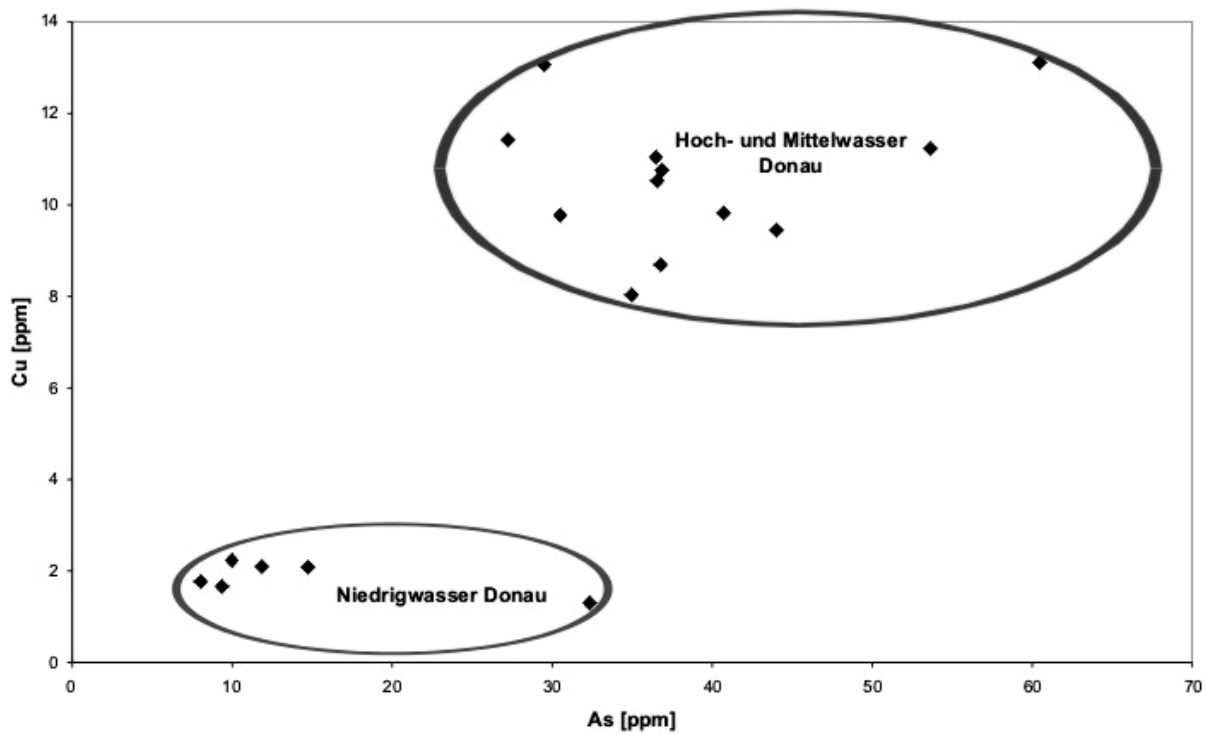


Abbildung 6: Anteil der Eisenoxidfraktion in den Schwebstoffproben der Donau in Abhängigkeit vom Wasserstand.

5. Zusammenfassung

Die vorgestellten Ergebnisse veranschaulichen, dass sich aus einer systematischen und detaillierten Untersuchung der Korngrößenverteilung und der geochemisch-mineralogischen Zusammensetzung von Auensedimenten aufschlussreiche Einblicke in das Auftreten vergangener Hochwasserereignissen ergeben können. Das Alter der Sedimente und folglich das Alter der geochemisch-mineralogischen Signale, die auf Überflutungen hindeuten, kann mit Hilfe der Thermolumineszenz datiert werden. Somit könnten prinzipiell Informationen über die Häufigkeit von extremen Hochwasserereignissen weit über historische Aufzeichnungen hinaus erhalten werden. Gleichwohl sind noch weitere Untersuchungen notwendig, insbesondere aussagekräftige Datierungen, bevor dieser Ansatz als effektives Werkzeug zur Paläohochwasserrekonstruktion benutzt werden könnte.

Die vergleichende Bewertung der Ergebnisse von Rhein und Donau zeigen, dass die beiden Flusssysteme ein ähnliches geochemisches Hochwassersignal in den Auensedimenten aufweisen. In beiden Fällen konnte die Theorie des Arbeitsansatzes mit den erhaltenen Ergebnissen bestätigt werden, indem ein Zusammenhang zwischen dem Auftreten eines Hochwasserereignisses und der geochemischen Zusammensetzung des abgelagerten Auensediments nachgewiesen wurde.

Inwieweit diese Erkenntnis nun tatsächlich zur Rekonstruktion noch unbekannter Hochwasserereignisse an den beiden untersuchten Flüssen Rhein und Donau herangezogen werden kann bleibt noch abzuklären.

Dank

Die vorgestellte Arbeit wurde von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen des Graduiertenkollegs 450 „Naturkatastrophen“ an der Universität Karlsruhe (TH) großzügig finanziell unterstützt. Besonderer Dank gilt Herrn Markus Lehmann von der LUBW sowie den Mitarbeitern des Instituts für Mineralogie und Geochemie, allen voran Frau Prof. Dr. Doris Stüben und Herrn Dr. Zsolt Berner.

Literaturverzeichnis

- Berner U. (2000): Klimafakten: der Rückblick – ein Schlüssel für die Zukunft. Schweizerbart, Stuttgart, 238 S.
- Brown S.L., Bierman, P.R., Lini A. & Southon, J. (2000): 10000 yr record of extreme hydrologic events. *Geology* 28: 335-338.
- Fuchs M. (2001): Die OSL-Datierung von Archäosedimenten zur Rekonstruktion anthropogen bedingter Sedimentumlagerung – Geoarchäologische Untersuchungen im Becken von Phlious, NE-Peloponnes, Griechenland. *ibidem*, Stuttgart, 179 S.
- Gallusser W.A. & Schenker A. (1992): Die Auen am Oberrhein: Ausmaß und Perspektiven des Landschaftswandels am südlichen und mittleren Oberrhein seit 1800. Birkhäuser, Basel, 192 S.
- Geyer O.F. & Gwinner M.P. (1991): *Geologie von Baden-Württemberg*. Schweizerbart, Stuttgart, 482 S.
- Glaser R. (2001): *Klimageschichte Mitteleuropas – 1000 Jahre Wetter, Klima, Katastrophen*. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, 227 S.
- Hantke R. (1993): *Flussgeschichte Mitteleuropas: Skizzen zu einer Erd-, Vegetations- und Klimageschichte der letzten 40 Millionen Jahre*. Enke, Stuttgart, 459 S.
- Heidel S.G. (1956): The Progressive Lag of Sediment Concentration with Flood Waves. *Transactions, American Geophysical Union* 37, 1, 56-66.
- IKSR (2007): <http://www.iksr.org/>

- Kalweit H. (1993): Der Rhein unter der Einwirkung des Menschen: Ausbau, Schifffahrt, Wasserwirtschaft. Internationale Kommission für die Hydrologie des Rheingebietes, KHR-Arbeitsgruppe Anthropogene Einflüsse auf das Abflussregime, 260 S.
- Kramar U. (1997): Advances in Energy-Dispersive X-Ray Fluorescence. *Journal of Geochemical Exploration* 58, 1: 1-39.
- LfU (2005): Geotope im Regierungsbezirk Freiburg. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe, 393 S.
- Medioli B.E. (2003): Search for a paleoflood record using physical and geochemical properties of cores from shallow lakes, Red River valley, Manitoba and North Dakota. *Geological Survey of Canada, Current Research 2003-B1*, 11 p.
- Mudelsee M., Börngen M., Tetzlaff G. & Grünewald U. (2003): No upward trend in the occurrence of extreme floods in central Europe. *Nature* 425: 166-168.
- Ockenfeld K. & Böhme M. (2003): Elbe-Hochwasser 2002, BMBF-Verbundprojekt, UFZ Leipzig/Halle, 125 S.
- Rhodes M.J. (1998): *Introduction to Particle Technology*. Wiley, Chichester, Weinheim, 320 S.
- RiverNet (2007): http://www.rivernet.org/danube/danube_d.htm
- Rutte E. (1987): Rhein, Main, Donau: wie – wann – warum sie wurden; eine geologische Geschichte. Thorbecke, Sigmaringen, 154 S.
- Schröder P. & Rey P. (1991): Fließgewässernetz Rhein und Einzugsgebiet : Milieu, Verbreitung und Austauschprozesse der Wirbellosenfauna zwischen Bodensee und Taubergießen. Institut für Angewandte Hydrobiologie, Konstanz, 274 S.
- Trunkó L. (1984): Karlsruhe und Umgebung : nördlicher Schwarzwald, südlicher Kraichgau, Rheinebene, Ostrand des Pfälzer Waldes und die Nordvogesen. Bornträger, Berlin, 227 S.
- UNESCO (1993): Die Donau und ihr Einzugsgebiet – eine hydrologische Monographie, Band 1 & 2. Regionale Zusammenarbeit der Donauländer im Rahmen des Internationalen Programms der UNESCO.

Initiation of precipitating convection based on data analysis

Samiro Khodayar

*Universität Karlsruhe (TH) und Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für Meteorologie und Klimaforschung,
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen, Deutschland
E-Mail: samiro.khodayar@imk.fzk.de, Telefon: +49(0)7247/822833*

1. Introduction

Thunderstorms, and precipitation associated with deep convection in general, are an important ingredient in many high-impact events such as flash floods. Such events are highly localized but predicting where such storms will break out is one of the major challenges facing meteorologists. Consider, for example, the events in Boscastle (UK) on 16.08.05 where immense flash flooding occurred and homes were destroyed. Fortunately, in this case there were no fatalities, however, if the people of Boscastle had been given warning then they could have at least been prepared and protected some of their properties. Events such as this provide motivation for the Convective Storm Initiation Project (CSIP). The goal of CSIP is to increase the understanding of the initiation of convective storms. This paper is concerned primarily with research aimed at understanding the mechanisms responsible for the initiation of precipitating convection based on data analysis.

During CSIP, most of the cases encountered were due to convection initiating in the boundary layer (Browning et al., 2006a). Boundary forcing has long been known to be a cause of thunderstorm initiation (Byers and Braham 1949; Purdom 1982). The great number of instruments used, as radiosondes, mesonet, lidar, sodar, wind profilers, satellite and radar imagery and two instrumented aircrafts among others, and the highly dense net of measurements in the investigation area allow us to analyze in detail the structure of the boundary layer before, during and after convective outbreaks.

A characteristic feature of the atmosphere in situations leading to the outbreak of deep convection is the stable layer phenomenon called lid. A lid is a lower tropospheric inversion, which allows heat and moisture, two of the basic ingredients for thunderstorms to form, to accumulate in the boundary layer during the day and serve as the fuel for future thunderstorms. Many factors have to be studied to define properly the lid structure to represent them adequately; the variation of the lid in space and time, the existence of multiple lids ...etc. Therefore, the analysis of mechanisms that cause moist low-level air to break through the lid in one place rather than another, and the location of small-scale moisture or temperature anomalies or “hot spots”, should give us some hints about the timing and location of initiation of convective storms, being a key task facing the meteorological community to gain a better understanding of why deep convection breaks out precisely where and when it does and then use such understanding in the development of improved NWP models.

This work explores the initiation of precipitating convection within the area of investigation leading to intense showers and even flooding in the northern area outside of this area. Therefore, our analysis focus on the air that fed this storm. A case from the CSIP is used to illustrate our study, the Intensive Operational Period (IOP) on 29th June 2005, IOP5.

2. Experimental design and site description

The CSIP field campaigns were performed during the summers of 2004 and 2005 on the south region of the UK. The main field campaign was conducted over southern England during June, July and August 2005. It benefited from an earlier pilot campaign in the same region in July 2004. An overview of the observational set-up is given in Figure 1.

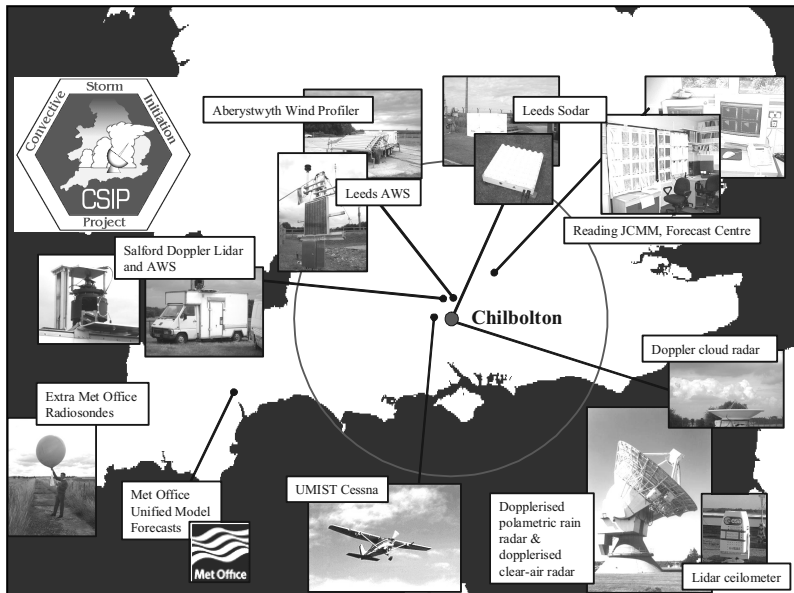


Figure 1: Overview of the observational set-up. The 90 km range ring is centred at Chilbolton.

The Operations Centre was based at Chilbolton. This is the site of the high-power Chilbolton radar facility with its 25 m steerable dish (Goddard et al., 1994). Other instruments were sited within range of the Chilbolton radars as shown in Figure 1. Many of them were new or upgraded systems operated as part of the recently established (UK) Universities facility for Atmospheric Measurements (UFAM) by staff from the Universities of Aberystwyth, Leeds, Manchester, Reading

and Salford. The others were state-of-the-art instruments from the Institute for Meteorology and Climate (IMK), Karlsruhe, Germany, the Rutherford Appleton Laboratory, the Met Office and the University of Bath.

The set of instruments deployed in southern England for CSIP included,

- 1275 MHz (L-band), 3 GHz (S-band) and 35 GHz Doppler radars at Chilbolton (the 3 GHz radar is also a polarization radar)
- UHF wind profiler
- 3 Sodars
- 2 Doppler lidars
- Ozone lidar
- Water vapour lidar
- 3 radiometers
- Serial ascents at 1 to 2 h intervals from 6 mobile rawinsonde stations, plus serial ascents from 3 UK Met Office operational systems (giving a total of about 800 soundings associated with CSIP)
- Network of 5 GPS integrated water vapour stations
- 2 Energy Balance stations

These instruments were within a region of good coverage by the Met Office network of surface stations and the UK operational weather radar network, which provided maps of estimated rainfall intensity at resolutions mainly between 1 and 2 km every 5 min for single radars and every 15 min for composite displays. Extensive use was made of infrared, water vapour and high resolution visible imagery every 15 min from Meteosat-8, the Meteosat Second generati-

on (MSG) satellite (Schmetz et al., 2002) and every 10 min from Meteosat-6 (Browning et al., 2006b).

3. Synoptic situation and presentation of research

The synoptic situation during IOP5 shows a mature cyclone present over the British Isles (Fig.2). The CSIP area, was behind (south of) that occluded front associated with this cyclone. Thunderstorms over northwest France at 06:00 UTC generated long lived cirrus anvils. After the demise of these storms the orphaned anvils were advected across the Channel, reaching CSIP area at around 09:00 UTC. From around 10:30 UTC onwards, convective showers initiated over southern England and quickly developed into a series of thunderstorms. These storms merged to form a band of heavy precipitation extending east-west across Britain (Fig.3) (Marshall et al., 2006). Although few of the storms produced heavy precipitation in the CSIP area, the observations collected will be representative of the air that fed these storms.

Because of this heavy rain, some flash flooding occurred in Oxfordshire, approximately 100 km north of Chilbolton (Fig.3).

The line of storms approximately 100 km northeast of Chilbolton developed from showers that initiated near Chilbolton, which are the subject of this study. At 12:00 UTC a cumulonimbus appears approximately 20 km north-east of Chilbolton. By 13:00 UTC there were two significant showers, which had grown in size and have been advected northwards (Fig. 4).

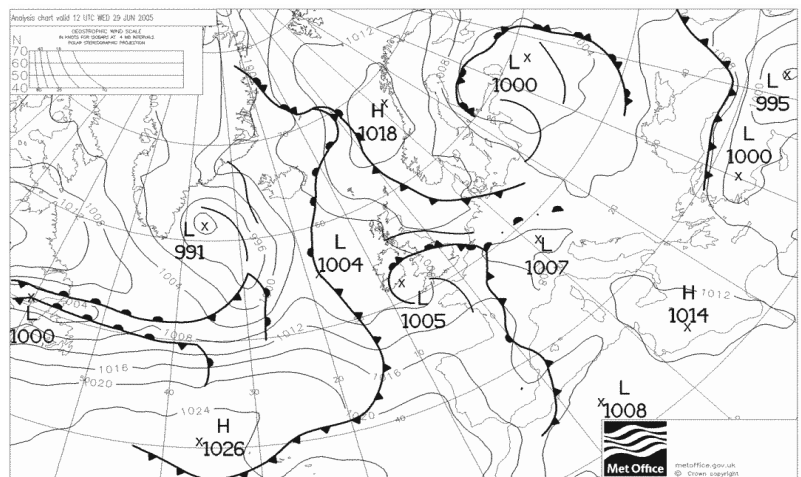


Figure 2: Met Office analysis of mean of sea level pressure at 12:00 UTC on 29th June 2005, IOP5.

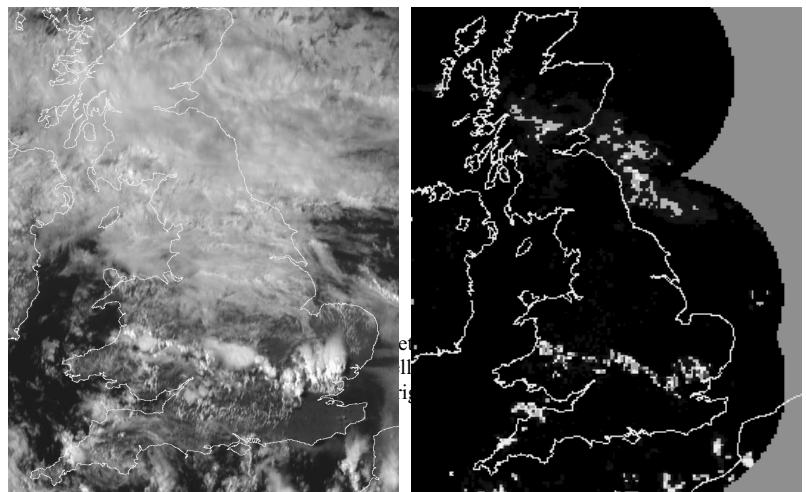


Figure 3: Meteosat Second generation (MSG) satellite image (left) and radar rain-rates (right) at 15:00 UTC on 29 June 2005.

4. Near Surface and Boundary Layer Conditions

The south region of the UK is characterized by an intermediate level of orography together with nearby coastlines. Furthermore, the maritime nature of the British climate and the absence of major mountains mean that the convective instability and capping inversions are of-

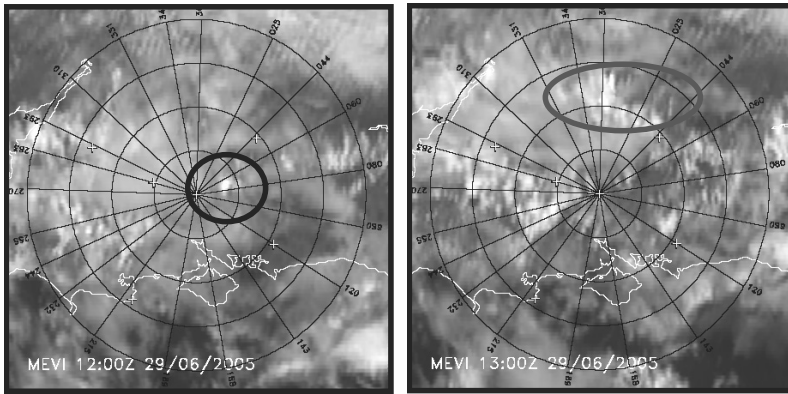


Figure 4: Meteosat Secondary Generation satellite image at 12:00 UTC (left) and 13:00 UTC (right). Range rings are centred on the Chilbolton radar and shown at 25 km intervals. Positions of the radiosonde sites are indicated by white crosses (west to east are Bath, Larkhill, Chilbolton and Reading).

ten quite weak on convective occasions. Only one of the cases encountered during CSIP was due to convection originating from a layer above the boundary layer: all of the other cases were due to convection initiating in the boundary layer, as in the our study case. A number of the showers that developed during this IOP5 did so within the area of southern England where numerous instruments were deployed

as part of CSIP (Browning et al., 2006a) offering us the opportunity to analyze the near surface and Boundary layer conditions before, during and after the convective outbreaks. Boundary layer forcing has long been known to be a cause of thunderstorms initiation (Byers and Braham, 1949; Purdom, 1982). The Earth’s surface and boundary layer can trigger vertical motions in the atmosphere basically in two different ways: dynamically by changes in topography or roughness length and thermally by spatial variations on temperature or moisture. Furthermore, it has been demonstrated that in some situations boundary layer circulations can by themselves lead to convective initiation (Weckwerth, 1999). In our study case, we are interested in the analysis of the surface or boundary layer inhomogeneities that lead to the triggering of mesoscale atmospheric circulations responsible of the initiation of convection. It has been also demonstrated that these temperature or moisture inhomogeneities must be in the order of 10 km (Schaedler, 1989). Our first task is try to find the location of small-scale moisture or temperature anomalies or “hot spots” which could give us some hint about the timing and location of initiation of convective storms. For us it is essential to understand what controls boundary-layer development and variability. With this purpose we make use of radiosondes, aircraft observations, automatic weather stations (AWSs), SYNOP stations and GPS data, the latter giving us Integrated Water Vapor (IWV) data over a column. Making use of the surface and boundary layer thermodynamic quantities proportionated by the above mentioned tools, we create 0.1° linearly interpolated fields (approximately 10 km^2) spatially interpolated fields. The borders of these interpolated fields rely on the position of the radiosonde stations located at the boundaries of the investigation area. We combine AWSs and the SYNOP stations to have a larger resolution and we extend the northern area to the location where afterwards deep convection develops because the 25 network AWSs cover only a small area within the area we want to investigate. It was expected that the AWSs and the SYNOP stations would give us a connection between the small scale temperatures or moisture variation and the primary initiated convective cell observed in Fig. 4. However, Figure 5 show that no link between these measurements and initiation of convection could be found.

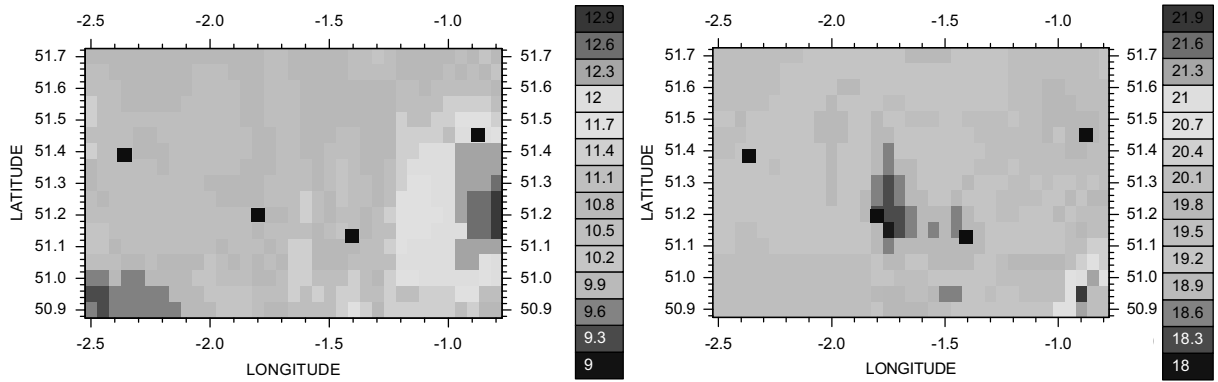


Figure 5: AWSs and SYNOP data combined showing temperature in degrees Celsius (left) and mixing ratio in g/kg (right) variation at the surface. Positions of the radiosonde sites are indicated by black squares (west to east are Bath, Larkhill, Chilbolton and Reading).

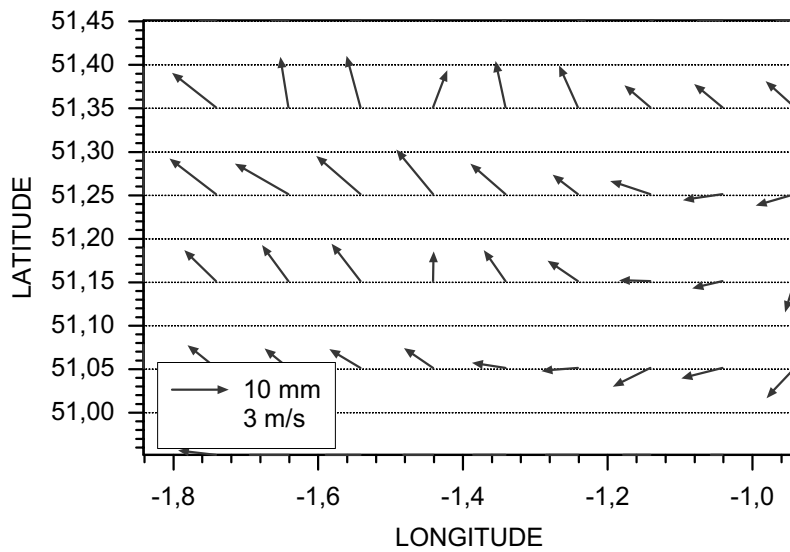


Figure 6: Linearly interpolated wind data from the AWSs.

Moreover, wind data shows southerly winds that produce the advection of the initiated cell northwards (Fig.6).

Radiosondes, aircraft observations and GPS data show us the conditions at the BL. Six radiosonde stations are located in the CSIP area. They were lunched every one or two hours from Bath, Swanage, Larkhill, Chilbolton, Reading and Preston Farm. Each separated from its nearest neighbour by between

25 and 50 km. Data from the radiosondes at 500 m MSL are used to create spatially interpolated temperature and mixing ratio fields (Fig. 7). As expected, the small scale horizontal variations in the boundary layer can not be resolved by the network of radiosondes.

However, aircraft data did provide direct observations of the small-scale moisture and temperature horizontal variations in the boundary layer. Two flights took place during the IOP 5. The first by an instrumented Dornier-128 from 09:00 UTC to 12:38 UTC towards the west of

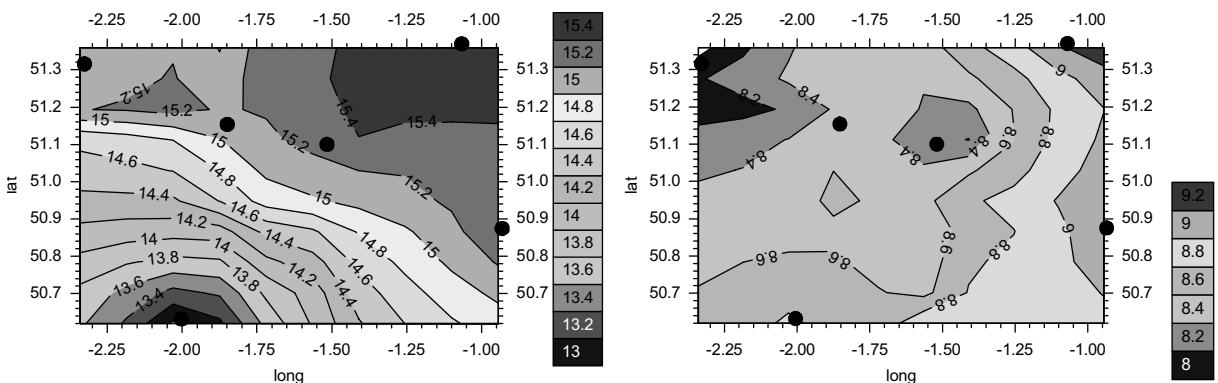


Figure 7: Spatial linearly interpolated temperature in degrees Celsius (left) and mixing ratio in g/kg (right) fields from radiosonde data at 500 m MSL. Black circles show the position of the radiosonde stations described before.

Chilbolton and the second by an instrumented Cessna, from 10:29 UTC to 11:48 UTC, towards the northeast of Chilbolton. Temperature, water vapour (observed using a Lyman-alpha system and a HumiCap system), pressure, radar height above ground, wind velocities and radiative fluxes were measured at one second resolution by instruments on the Dornier-128. Temperature, water vapour, pressure, radar height above ground and upwelling longwave irradiance were measured at one second resolution by instruments on the Cessna. The Cessna flight was at an altitude of approximately 700 m and almost all of it was under moderate cirrus cover. Before 10:41 UTC, when the Dornier-128 was at 420 m it flew under moderate cirrus and in clear sky regions.

The Dornier-128 flew at 510 m after 10:46 UTC. During this period, it flew under thick cirrus, moderate cirrus and in clear skies. A bias of 1.93 ± 0.36 g/kg was found between the Dornier-128 WVMR data and radiosonde data. This was determined from seven comparisons between flight tracks over the Chilbolton and Bath radiosonde sites and the nearest radiosonde in time (i.e. within 33 min) over the corresponding height interval. This bias was removed for all data presented in this paper and the data are only used to analyse horizontal variations in temperature and moisture, rather than absolute values. The Cessna data agreed well with the radiosonde data on this day (Marsham et al., 2006). In Figure 8, we observe as an example the horizontal temperature and moisture variations from the Cessna.

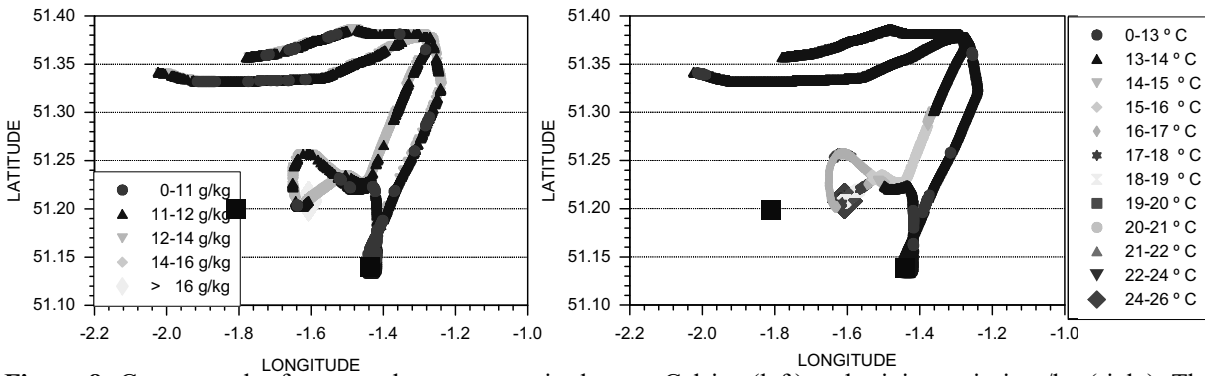


Figure 8: Cessna track of measured temperature in degrees Celsius (left) and mixing ratio in g/kg (right). The Cessna flight was at an altitude of approximately 700 m and almost all of it was under moderate cirrus cover. The instrumented Cessna flew from 10:29 UTC to 11:48 UTC towards the north-east of Chilbolton. The stations close to the Cessna track during this flight are, from west to east Larkhill and Chilbolton.

In figure 7, it has been observed that the network of radiosondes cannot resolve the small-scale horizontal variations in the boundary layer. We try to enhance our resolution combining the radiosonde data and the aircraft data at the same altitude. As example we show a combination of the Dornier-128 data and the radiosonde data at 500 m MSL. It is not possible to combine the one second resolution measurements by instruments on the Dornier-128 with the low resolution radiosonde data, for that reason we filter the aircraft data using a the running mean method, obtaining one averaged data point every 5 seconds. In figure 9, the result of this combination is observed.

The only conclusion we can achieve with these plots is that increasing our resolution combining radiosonde data and aircraft data show us that temperature shows a more homogeneous behaviour than moisture. Also, the mixing ratio plot shows boundary layer inhomogeneities in the order of 20 km, sufficient to generate by its one mesoscale circulations.

GPS data give us integrated water vapour data over a column with a resolution of approximately 0.1° . Our aim is to study the moisture distribution from the GPS measurements. Although GPS data give us integrated water vapour data over a column we assume that the larger amount of water vapour can be found in the boundary layer, for that reason the GPS integrated water vapour are representative of the water vapour content in the Boundary layer.

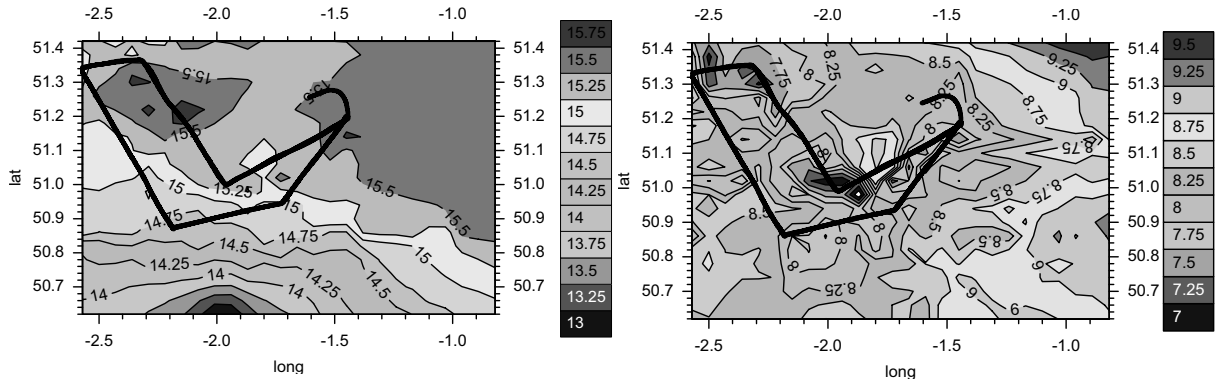


Figure 9: Temperature in degrees Celsius (left) and mixing ratio in g/kg (right). The black line indicates the flight track.

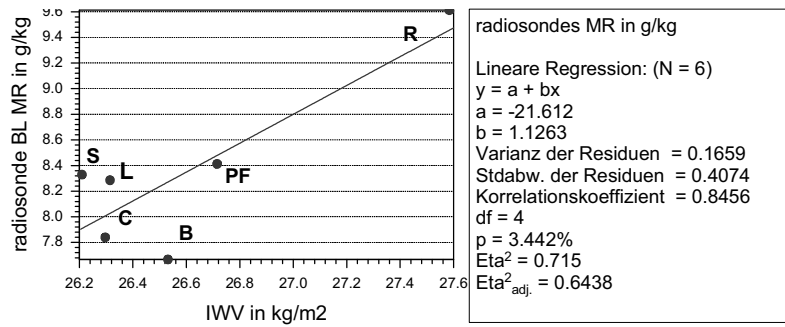


Figure 10: Linear regression calculated making use of the IWV in kg/m^2 data from GPS and radiosonde BL mixing ratio in g/kg at 12:00 UTC. The station names are as follows: R (Reading), PF (Preston Farm), S (Swanage), L (Larkhill), C (Chilbolton) and B (Bath).

From former studies we know that even small changes in quantities such as water vapour mixing ratio (WVMR) can control whether storms occur (Crook, 1991). In order to relate the IWV data with water vapour mixing ratio, a linear regression is applied between IWV data at the radiosonde station location and the mixing ratio measured at a characteristic level at the boundary layer at the same location (Fig. 10).

From this linear regression we obtain the following relation:

$$\text{MR} = -21.612 + 1.1263\text{IWV} \quad (1)$$

Applying equation 1 we obtain the following spatially interpolated field of mixing ratio over the area of investigation (Fig. 11).

As we have hoped the moisture variation calculated from IWV denotes a clear relationship with the initiation of convection in the CSIP area. The pink stars showing the location of the primary initiated cell observed in Fig. 4 coincides with the area where moisture starts increasing dramatically (Fig.11).

5. Spatial and temporal evolution of θ and MR at the radiosonde sites

Making use of all the radiosonde profiles available for Chilbolton and Reading stations we construct x-z sections of potential temperature and mixing ratio, in order to analyze the temporal evolution of these parameters and the differences between both stations.

From figure 12, we observe how potential temperature shows the same range of variation in both stations although BL becomes warmer (around 1 K) at Reading about 1300 UTC. However, the moisture distribution is different between both stations. From early in the morning the BL at Reading is wetter than at Chilbolton and even the effects of convection transporting moisture out of the boundary layer and into the free troposphere can be seen at 12:00 UTC. The fact that the boundary layer at Reading was initially wetter and did not dry out as much as at other locations may have led to stronger storms there rather than at Chilbolton, and also explains why the observed cell intensified near Reading.

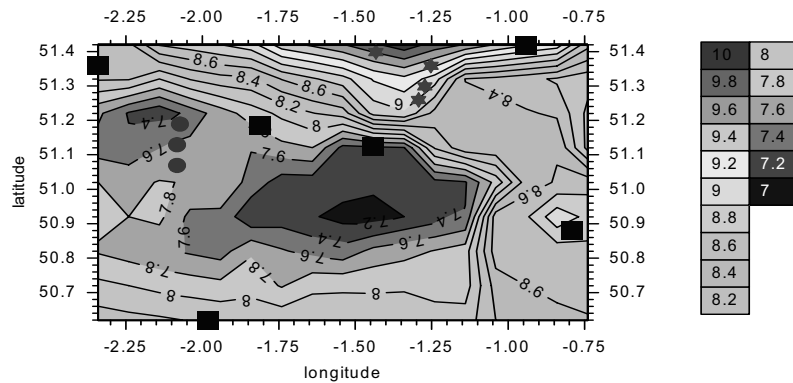


Figure 11: Water vapour mixing ratio in g/kg obtained from IWV measurements. Black squares show the location of the six radiosonde stations in the investigation area named as follows, from west to east are Bath, Swanage, Larkhill, Chilbolton, Reading and Preston Farm. The stars and circles show the initiated convective cells at this time, 12:00 UTC, calculated by superimposition of radar and satellite data (location of the primary initiated convective cells thanks to Cyril Mocrete, Met Office).

6. Observing the pre-storm LIDS and their evolution

For generating convective storms the following ingredients are needed,

- Sufficient moisture accumulated in the lower atmosphere, reflected by high dewpoint temperatures.
- A significant fall in air temperature with increasing height, known as a steep lapse rate.
- A source of energy to lift the warm, moist air mass rapidly upward.

In addition, in most pre-storm environments a stable layer phenomenon referred as LID is frequently observed. This phenomenon is a layer of warm, dry air, beneath potentially colder air in the middle and upper troposphere.

6.1 Definition of LIDS

A conceptual model proposed by Carlson and Ludlam (1968) describes how the combined effects of topography, surface heating and the large scale weather pattern can produce a lower-tropospheric inversion that leads to an enhancement of latent instability and therefore to severe cumulus convection. They called this inversion a “**lid**” because of its effect in suppressing the release of the latent instability. Paradoxically, the severity of the thunderstorms is increased by the presence of a lid because a large latent instability can increase with time beneath the lid. The **lid sounding**, also known as a type 1 tornado sounding (Fawbush and Miller, 1952), it is characterized by a moist layer in the lowest levels with high values of wet bulb potential temperature, above which lies an abrupt relative humidity break and coincident thermal inversion. Above the inversion (around 800 hPa), there is a layer resembling a well mixed PBL, which has a nearly dry-adiabatic lapse rate and nearly constant mixing ratio, extending to near 500 hPa. Carlson and Ludlam (1986) first proposed that the lid sounding results from the superposition of two vastly different airstreams: a low level moist layer origina-

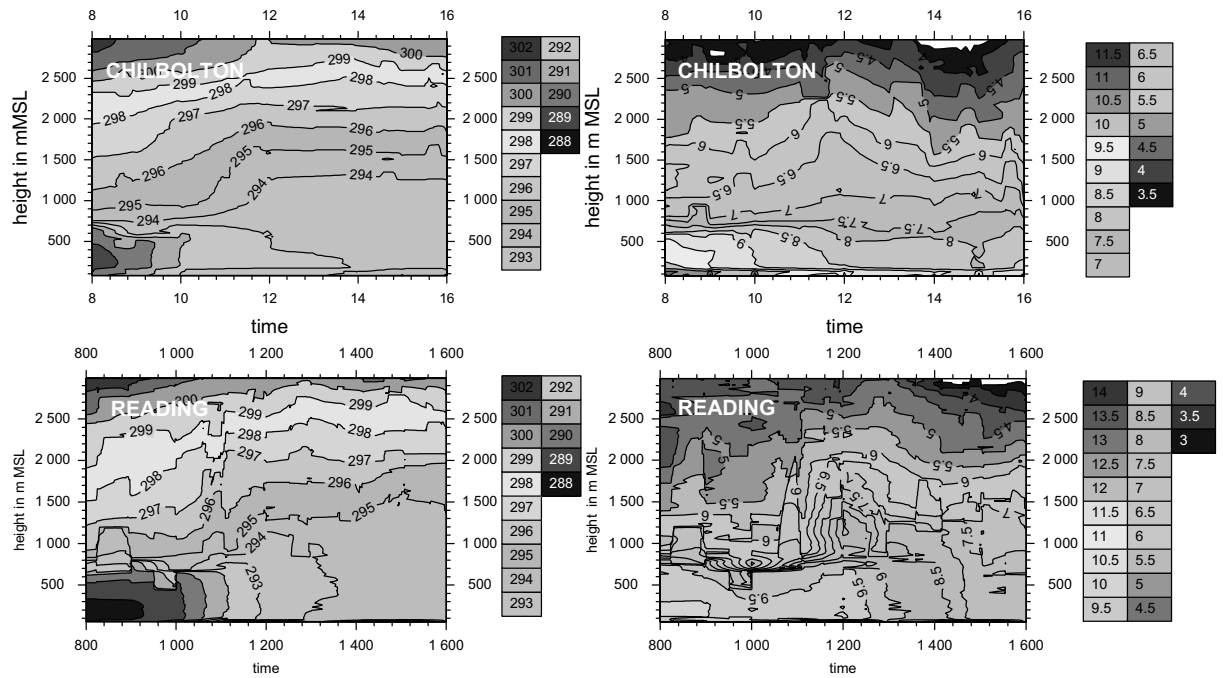


Figure 12: Time-Height sections of potential temperature in K (left) and mixing ratio in g/kg (right) at Chilbolton and Reading.

ting over the warm waters of the Gulf of Mexico and western Caribbean, and elevated mixed layer (EML) above the inversion that originates through diabatic surface heating over upwind elevated terrain. Carlson and Ludlam (1986) and Carlson et al. (1980) have proposed a conceptual model which illustrates how a unique combination of terrain, boundary layer processes and synoptic-scale circulations produces a capping inversion which prevents release of latent instability over large areas while enhancing the intensity of convective outbreaks in other narrowly focused regions.

Lid formation is generally due to differential advection of warm, dry air from an arid (and usually elevated) region over moist terrain, where the mixing layer is likely to be relatively shallow and the values of wet bulb potential temperature near the surface relatively large (Thomas M. Graziano and Toby N. Carlson, 1987).

6.2 Characterisation of LIDS

The removal of the restraint that the lid exerts on moist convection often has been ascribed to either vertical motion or surface heating. In addition, the origin of the capping inversion generally has been attributed to subsidence.

A fundamental difference between the elevated mixed layer lid and the subsidence inversion is that the existence and predictability of the subsidence inversion are tied to the moving and evolving vertical motion field. By contrast, the mixed layer lid is linked to topography and to patterns of quasi-horizontal winds whose evolution can be more easily envisioned. In contrast to most of the weather forecasting techniques concentrated on vertical motion field and the selection of the most favourable area for severe convection the Carlson et al. (1983) model place emphasis on the role of horizontal advection in the destabilization process and on the fact that large areas of latent instability are unlikely to experience severe storms because of the presence of the lid.

Elevated mixed layers are generally identified by nearly constant (with height) potential temperature and mixing ratio. Their identification may be confirmed through isentropic trajectories tracing back to a hot, dry source region with afternoon surface potential temperatures near that of the elevated mixed layer. A unique aspect of the lid concept is that it accounts for the presence of inversions between 850 and 500 hPa.

Where the lid is present, the inversion is usually found just above a level marked by a sharp decrease in relative humidity with altitude; this feature, which we refer to as “relative humidity break”, enables us to identify objectively the presence of a lid, since the decrease with height of relative humidity near the lid is typically in excess of more than 1% per millibar.

Carlson et al. (1983) identified the lid edge in the cross sections as a baroclinic zone close to but distinct from nearby, deeper frontal zones.

6.3 The LID strength index

Carlson et al. (1980) introduced the concept of the “*lid strength index (LSI)*”, which is meant to quantify the restraining effect of such inversions on cumulus convection.

Thomas M. Graziano and Toby N. Carlson (1987) suggest that thunderstorms probability decreases with increasing strength of the lid, depending on the value of the lifted index, and that there may be an effective critical lid strength above which the probability of thunderstorms rapidly becomes insignificant.

A measure of the lid strength is the difference between the parcel temperature lifted moist adiabatically from the surface (θ_w) and the maximum temperature in the inversion, the latter expressed as the saturation wet bulb potential temperature (θ_{ws}) at the warmest point in the inversion (θ_{swl}), which is 27.7°C in the former example.

We define two temperature differences that express the effectiveness of the lid and the degree of latent instability:

$$[A]: (\theta_{swl} - \tilde{\theta}_w) \quad [B]: (\theta_{sw5} - \tilde{\theta}_w) \quad (2)$$

where the saturation wet bulb potential temperature at 500 hPa is θ_{sw5} and $\tilde{\theta}_w$ is the vertically averaged value of θ_w between 30 and 80 hPa (approximately 300 to 800 m) above the ground. This choice is dictated by the need to minimize the effects of nocturnal cooling in the PBL on the terms in (2) and to include high values of the wet bulb potential temperature that may be found just above the nocturnal inversion. As defined here, $\tilde{\theta}_w$ will be slightly less than the maximum afternoon θ_w at the surface and somewhat greater than the night time value of θ_w at the surface. It is nonetheless sensitive to diurnal variations in thunderstorms frequency.

Term A in (2) is the *lid strength*, which is an appropriate measure of the strength of the inversion and is closely related to the negative area on the sounding.

Term B in (2) is the *buoyancy term*, which is analogous to the lifted index except that it is numerically about one-half of the latter. The magnitude of the buoyancy term is related to the positive area on the sounding. Extremely large values of the buoyancy term can be attained underneath the lid before the critical point ($\tilde{\theta}_w$ equalling θ_{swl}) is reached and thermals ascending from near the surface can penetrate the lid.

Therefore, we should expect to see convection breaking out in the presence of small positive values of both the lid and buoyancy terms. Air in the surface layer that remains underneath the lid is subject to large insolation over moist terrain can achieve very large values of $\tilde{\theta}_w$ if θ_{swl} is sufficiently large. This will be the case if the local terrain is moist and the source region for

the elevated mixed layer very warm and dry. The lid can be removed or weakened by ascent or by erosion of the inversion.

6.4 Pre-Storm LIDS and their evolution in the CSIP area

CSIP is concerned primarily with initiation of convection and so it was important to be able to observe the detailed structure of the pre-storm boundary layer and the lid or lids capping it.

The mesoscale model forecast showed widespread showers in the CSIP area by 1200 UTC. In the event, the showers became widespread slightly later than this within the CSIP area but they did become intense enough to produce flash floods during the afternoon. Early in the day boundary-layer convection was constrained by a stable lid near 1 km: Lid A at 875 hPa in the tephigram of the 1000 UTC Larkhill ascent (Fig.13).

When convection finally broke through Lid A it ascended to a second lid at roughly 600 hPa leading to some very light showers. Eventually the convection penetrated the second lid and rose toward the tropopause level to produce intense thunderstorms, some of which produced flash flooding in Oxfordshire after 1500 UTC. This occurred near the northern boundary of the CSIP area.

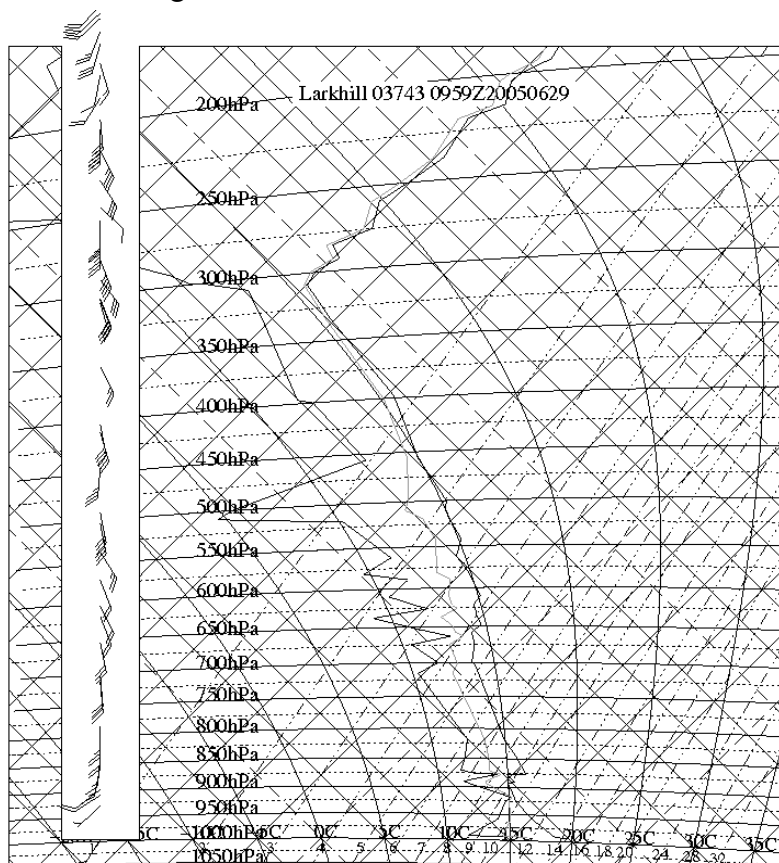


Figure 13: Tephigram for the 1000 UTC Larkhill ascent showing Lid A at 875 hPa and Lid B at 650 hPa on 29th June 2005.

convection. When convection broke through LID A (Fig. 14), it ascended to LID B leading to light showers in the CSIP area by 1200UTC.

Radiosonde data show that pre-existing variations in lid strength are significant on this day. All radiosondes initially showed a strong lid at about 500 m, capping a stably stratified residual layer, with a shallow well mixed boundary layer close to the surface. By 10:00 UTC surface heating had led to the well-mixed boundary layer growing to reach this capping inversion at all radiosonde sites. In figure 14, the lids evolution in three of the radiosonde sites, Larkhill, Chilbolton and Reading, can be observed. One may notice that as said, early in the morning all three radiosonde sites show a strong lid constraining boundary layer

convection. When convection broke through LID A (Fig. 14), it ascended to LID B leading to light showers in the CSIP area by 1200UTC.

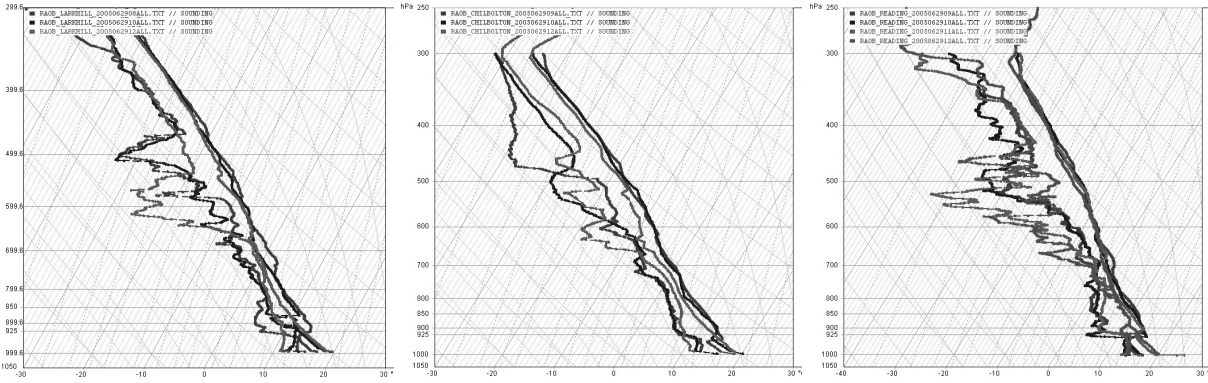


Figure 14: Skew-T plot on 29th June 2005 showing temperature (right) and dew point (left) profiles. a) Larkhill (at 0800, 1000 and 1200 UTC), b) Chilbolton (at 0900, 1000 and 1200 UTC) and c) Reading (at 0900, 1000, 1100 and 1200 UTC).

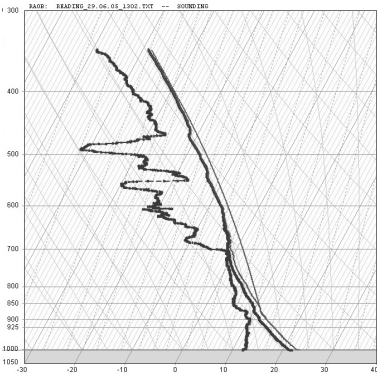


Figure 15: Skew-T plot on 29th June 2005 showing temperature (right thick line), dew point (left thick line), virtual correction and lifted parcel at Reading station at 1300 UTC.

Finally, convection penetrates LID B and produces afterwards north of CSIP area intense thunderstorms and flash flooding in the area of Oxfordshire (Fig. 15).

We can conclude that on this day the presence of the multiple lids and their evolution control the timing and location of convective storms.

7. Convective indices

A second part of this work focuses on the analysis of different convective indices that could help us in the estimation of the timing and location of the primary initiated cells. With this purpose, five convective indices are analyzed; Convective Available Potential Energy (CAPE), Convective inhibition (CIN), Lifted Index (LI), Lid Strength Index (LSI) and Bulk Richardson Number (BRN), the latter in other to take into account the wind shear that in some cases of storms development plays a important role. CAPE and CIN are integrated indices between the lifted and the environmental profile. The LSI and the LI are local indices because they are calculated for a level in particular.

The LI is calculated as follows:

$$LI = T_{environmenta(500mb)} - T_{l.parcel(500mb)} \quad (3)$$

and the threshold for this index is:

LI > -3, thunderstorm potential: WEAK

LI -3 to -5, thunderstorm potential: MODERATE

LI < -5, thunderstorm potential: STRONG

The calculation of the LSI has been explained in detail in section V. In this case, also a defined threshold for this index exists

LSI < 1, implies that latent and sensible heat are continuously released as small clouds, preventing sufficient energy build-up to drive strong thunderstorms.

$1 < \text{LSI} < 2$, implies that heat and moisture trapped accumulate during the day, and serve as a fuel for future thunderstorms.

This is the ideal situation.

$\text{LSI} > 2$, implies that severe thunderstorms are relatively unlikely to occur even in regions where the latent instability is large.

We think that a convective index alone is not sufficient in ascertaining the probability of having a storm; we look for a combination of convective indices that could give us a good estimation.

Our initial hypothesis is that regions where deep convection is predicted should be limited to regions of negative lifted index and outside the 2.0 lid contour.

First, we analyze the temporal and spatial distribution of the different stability parameters. Our aim is the construction of spatial distributed fields for all the five indices. To achieve this, making use of the original temperature and humidity profile from the six radiosonde sites we apply an inverse square distance method interpolation obtaining a temperature and humidity profile every 0.1° . For each of those profiles, for each 0.1° , we calculate the different convective indices and finally we plot them for the area of investigation without any kind of interpolation (Fig. 16).

In the calculation of all the convective indices, virtual temperature correction has been applied (Doswell et al. 1994).

CAPE is defined as the maximum energy available to an ascending parcel, according to parcel theory.

On a thermodynamic diagram, this is called positive area, and can be seen as the region between the lifted parcel process curve and the environmental sounding, from the parcel's level of free convection to its level of neutral buoyancy.

To calculate CAPE in this case we used the 50 hPa mean layer parcel, which in many former studies is recommended for calculating CAPE and LCL height (Craven et al., 2002; Kunz, 2006). CAPE shows in at 10:00 UTC very low values and homogeneously distributed, however, at 12:00 UTC, one may notice an increase in CAPE towards the northeast of the CSIP area, reaching the maximum values, approximately 600 J/kg, near the Reading radiosonde site. Concerning the CIN, that can be defined as the energy needed to lift an air parcel vertically and pseudoadiabatically from its originating level to its level of free convection (LFC). For an air parcel possessing positive CAPE, the CIN represents the negative area on a thermodynamic diagram having coordinates linear in temperature and logarithmic in pressure. The negative area typically arises from the presence of a lid. Even though other factors may be favourable for development of convection, if convective inhibition is sufficiently large, deep convection will not form. In the morning, we can observe how the maximum CIN can be observed in the area close to Reading, but two hours later the maximum CIN is close to the Chilbolton radiosonde station and in Reading is in the order of 8 J/kg. The LI was developed by Galway (1956). The LI on this day shows at 10:00 UTC that almost any unstable areas can be found. At 12:00 UTC a zero line that can be seen extending from north to south separates the positive LI areas on the left (stable) with the negative LI areas on the right (unstable). Close to the Reading area, the LI takes the lowest values, lower than -2°C , being this area the most unstable.

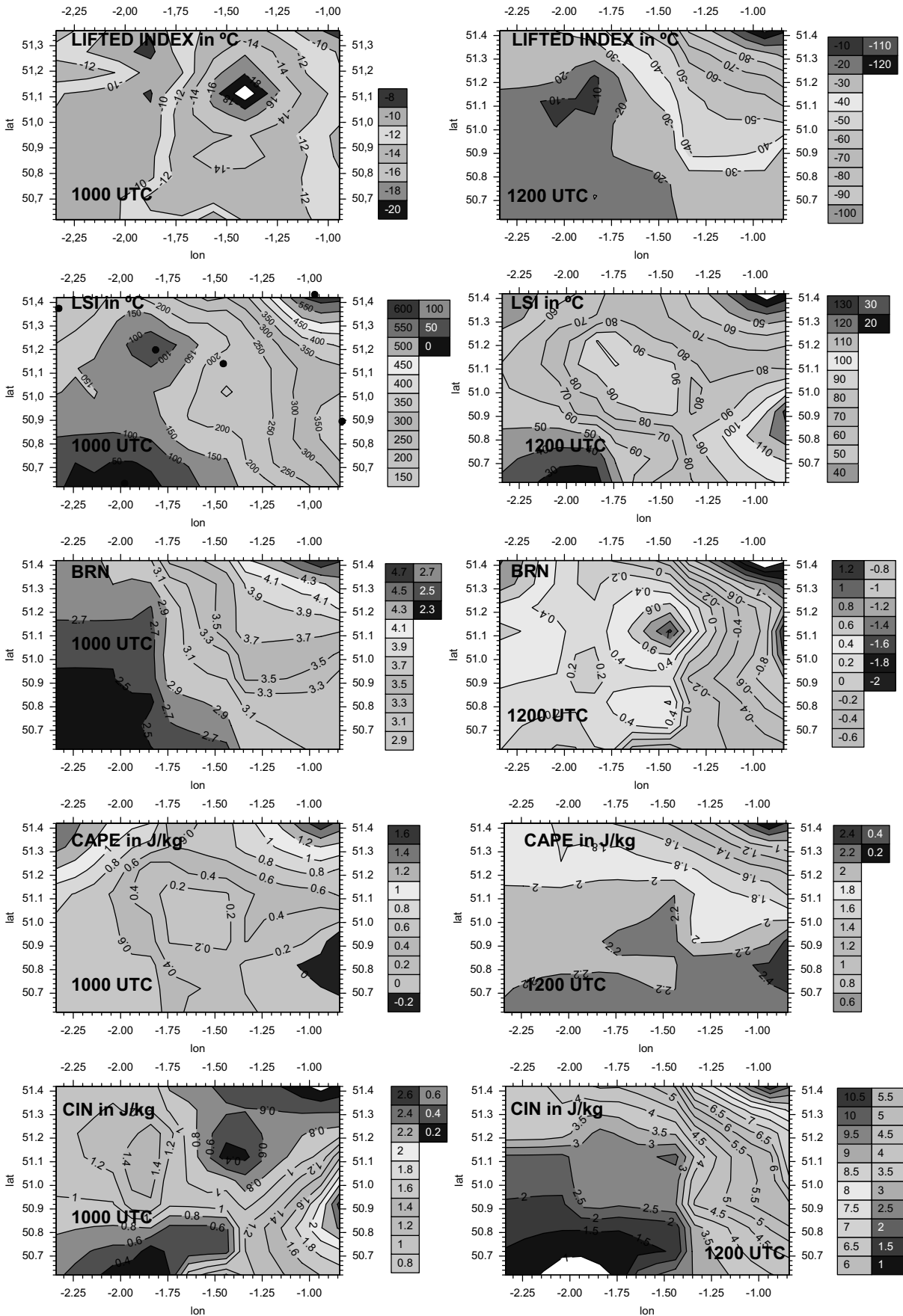


Figure 16: Spatial distribution of the convective indices; Convective Available Potential Energy (CAPE), Convective inhibition (CIN), Lifted Index (LI), Lid Strength Index (LSI) and Bulk Richardson Number (BRN). The sections are presented at 10:00 and 12:00 UTC. The positions of the stations correspond to the black circles shown in the CAPE section at 12:00 UTC and have been named before.

The LSI has been explained in detailed in section 5. The most important detail that one may notice from the LSI sections is how the area were the LSI is larger in the morning, Reading rea, at 12:00 UTC is the area were the LSI is lower.

The bulk Richardson number R_B is

$$R_B = \left(\frac{g}{T_y} \right) \cdot \frac{\Delta \theta_v \Delta z}{(\Delta U)^2} + (\Delta V)^2 \quad (4)$$

where g is gravitational acceleration, T_y is absolute virtual temperature, $\Delta \theta_v$ is the virtual potential temperature difference across a layer of thickness Δz , and ΔU and ΔV are the changes in horizontal wind components across that same layer. In the limit of layer thickness becoming small, the bulk Richardson number approaches the gradient Richardson number, for which a critical Richardson number is roughly $Ri_c = 0.25$. In this day the wind shear is not an important parameter to taken into account and the differences that we find in the BRN sections are due to the variation in CAPE, rather than wind shear variation. To try to find a relation between the different stability parameters we plot the values corresponding to the radiosonde sites at 1000 and 1200 UTC, to analyze not only the spatial behaviour of these indices also its temporal evolution. Since we are trying to find a combination of stability parameters, the following plots are CAPE vs. CIN and LI vs. CAP or LSI. As observed before (Fig. 16), Reading station suffers the most dramatic changes with time. At 1000 UTC Reading is the station with the lower CAPE and the higher CIN, also it is the station with higher positive LI and higher LSI (Fig. 17). At 1200 UTC the values are reversed and Reading is the station with higher CAPE and lower CIN, also the LI is the most negative and the LSI shows that the lid has been effectively removed. The rest of the radiosonde sites present small changes trough time.

Frthermore, our initial hypothesis concerning the prediction of deep convection areas limited to regions of negative lifted index and outside the 2.0 lid contour, is fulfilled (Fig. 18).

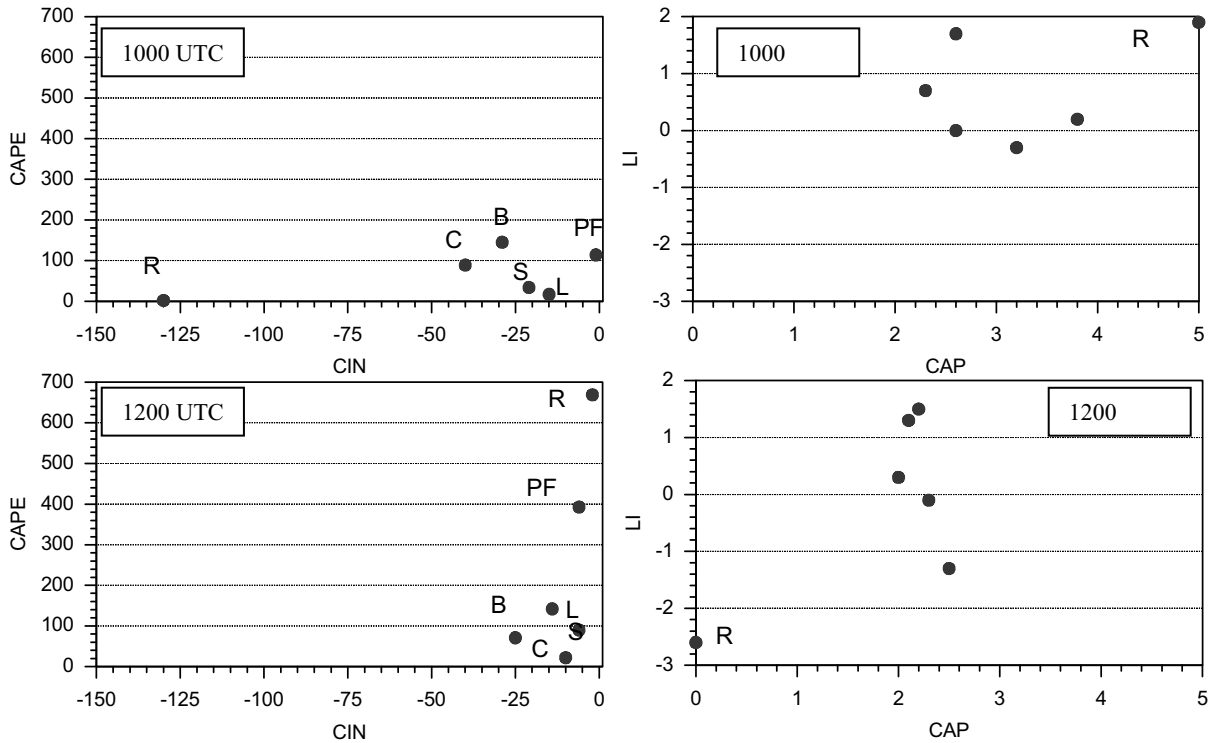


Figure 17: CAPE vs. CIN (left) and LI vs. CAP or LSI (right) at 1000 and 1200 UTC. The station names are as follows: R (Reading), PF (Preston Farm), S (Swanage), L (Larkhill), C (Chilbolton) and B (Bath).

8. Convective indices and increasing resolution

Figure 15 shows that Reading radiosonde site is the most unstable CSIP area at 12:00 UTC and as expected the closer area where intense showers occur and deep convection develops. However, no hint about the primary initiated convective cell shown in Figure 4 could be found. Therefore, our next goal is to increase our resolution modifying the temperature and humidity profiles interpolated every 0.1° and look for hotspots that could indicate the position of the convective cell.

Initially, making use of the AWSs and the SYNOP data, we modify temperature and humidity at the surface from the interpolated profiles substituting them by the temperature and humidity values measured by the combination of AWSs and SYNOP data for the same location. Obviously, in this case in order to calculate the stability parameters CAPE and CIN we should use the surface parcel method. Because of that, the results that we get from this calculations are no comparable with the ones obtained using the 50 hPa parcel method (Fig. 16 and 17). Therefore, our interest is in the analysis of the horizontal variations, rather than the absolute values. As example, we show the CAPE calculated applying this modification (Fig. 19).

As we can see in the figure above, although one may notice that a more detailed structure can be found, still there is no evidence or real explanation for the initiated cell.

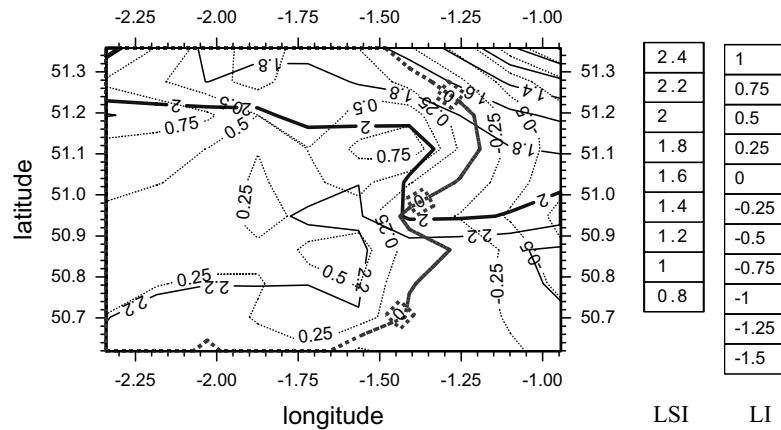


Figure 18: Spatial distribution of Lid Strength Index (LSI) and Lifted Index (LI) both in degrees Celsius, in the area of investigation. The 0.0 line corresponds to the LI, which separates the negative and positive LI areas. The 2.0 degrees line corresponds to the LSI. One may notice that the northeast area where strong showers develop lately stays in the area where LI is negative and LSI is lower than 2.0 degrees, as expected.

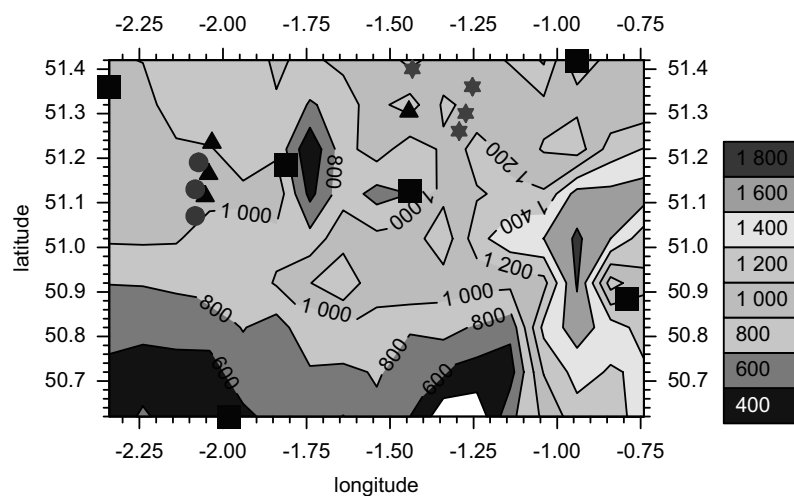


Figure 19: Spatial distribution of CAPE in J/kg. Radiosonde stations marked by the black squares and primary initiated convective cells at 12:00 UTC shown as stars, circles and triangles. where LI is negative and LSI is lower than 2.0 degrees, as expected.

Secondly, The IWV from GPS is used in order to modify the humidity profile from the initial interpolated profiles at some characteristic level in the boundary layer. As example, the CAPE calculated applying this modification is presented (Fig. 20).

During our analysis, it has been seen that for this case study moisture controls the boundary laser evolution. For that reason, it was expected that the modification of our initial interpolated profi-

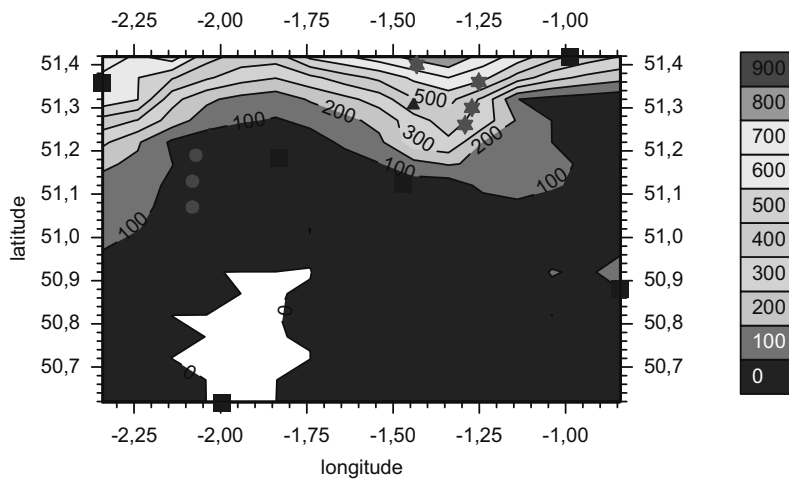


Figure 20: Spatial distribution of CAPE in J/kg. Radiosonde stations marked by the black squares and primary initiated convective cells at 12:00 UTC shown as stars, circles and triangles.

les by the moisture measured with the GPS could give us any information about the initiation of convection. In figure 20 can be seen that clearly the initiation of the convective cell observed in the MSG satellite image it is clearly related with the distribution of moisture in the boundary layer. In particular, that convective cell initiates in the area where moisture starts increasing dramatically.

9. Conclusion

The problem of forecasting convective precipitation is important because of the increasing amounts of damage being caused by flooding, and the winds associated with the storms. A number of storms have recently caused substantial flooding and other damage in the UK and other parts of Europe. Convection plays an important part in many flood situations, especially flash floods. The difficulty with predicting flash-flood producing rain is that convective showers or thunderstorms cause it. Predicting where such storms will break out is one of the major challenges facing meteorologists.

In this work, we explore the initiation of precipitating convection within the CSIP area of investigation. A case from the summer 2005 illustrates our study, the Intensive Operational Period (IOP) on 29 June 2005, IOP5.

The intermediate level of orography together with nearby coastlines characterizes the south region of the UK. Furthermore, the maritime nature of the British climate and the absence of major mountains lead to weak convective instability and capping inversions on convective occasions.

Radiosondes, aircraft observations, automatic weather stations (AWSs), SYNOP stations and GPS data, allow us to study the boundary layer conditions in detail. This observations show that moisture at mid-levels in the boundary layer presents the main variation while temperature shows a more homogeneous behaviour. Moreover, the fact that the boundary layer at Reading was initially wetter than at other locations may have led to stronger storms there rather than at Chilbolton, and explains why the observed cell intensified near Reading.

An important characteristic feature of the atmosphere in situations leading to the outbreak of deep convection is the stable layer phenomenon called lid. On this day, the presence of the multiple lids and their evolution control the timing and location of convective storms. We can conclude that the process of overcoming the lid controls if, where, and when storms occur.

On the other hand, we analyze the temporal and spatial distribution of different stability parameters; Convective Available Potential Energy (CAPE), Convective inhibition (CIN), Lifted Index (LI), Lid Strength Index (LSI) and Bulk Richardson Number (BRN), and we try to find a combination that could help us lead to achieve our goal. As conclusion, we can say that

regions where deep convection is predicted should be limited to regions of negative lifted index and outside the 2.0 lid contour. Furthermore, we enhance our resolution modifying our interpolated profiles making use of AWSs and SYNOP data, to reflect the surface situation, and the GPS data, applying a transformation that allow us to obtain mixing ratio values.

Unfortunately, surface measurements do not show any connection between the surface and the convective cell initiated in the CSIP are, however, spatially distributed mid-layer moisture obtained from the GPS clearly shows a connection with the initiation of convection on this day.

References

- Browning, K., Blyth, A., Clark, P., Cosmeier, U., Morcrette, C., et al., 2006a: The Convective Storm Initiation Project, *Bull. Am. Met. Soc.*, Submitted
- Browning, K., Morcrette, C., Blyth, A., Bennet, L., Clark, P., Cosmeier, U., et al., 2006b: A summary of the Convective Storm Initiation Project Intensive Observation Periods, *Joint Centre for Mesoscale Meteorology Report No 153, Met Office, UK*, 74.
- Carlson, T. N. and Ludlam, F. H., 1968: Conditions for the occurrence of severe local storms. *Tellus*, 20, 202-236
- Carlson, T. N., Anthes, R. A., et al., 1980: Analysis and prediction of severe storms environment. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 61, 1018-1032
- Crook, A., 1991: Small-scale moisture variability in the convective boundary layer and its implications for nowcasting, *25th Conf. on Radar Meteo., Paris, France*, (9), 67-70.
- Galway, J. G., 1956: The lifted index as a predictor of latent instability. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 528-529.
- Lanicci, J. M., Warner, T. T., 1991:2006: A synoptic climatology of the elevated mixed-layer inversion over the southern Great Plains in spring. Part I: structure, dynamics, and seasonal evolution. *Wea. Forecasting*, 6, 181-197.
- Marsham, J. H., Blyth, A. M., et al., 2006: Variable cirrus-shading during CSIP IOP5, Part II: Effects on the boundary layer. *Submitted*
- Schaedler, G., 1989: Triggering of atmospheric circulations by moisture inhomogeneities on the Earth's surface. *Boundary- Layer Meteorology*, 51 1-29.
- Weckwerth T. M., 1999: The effect of Small-Scale Moisture Variability on Thunderstorm Initiation. *Mon. Weather Rev.*, 128, 4017-4030 Weisman, M. L., and J. B. Klemp, 1986: Characteristics of isolated convective storms. *Mesoscale Meteorology and Forecasting*, P. Ray, Ed., Amer. Meteor. Soc., 15, 504-520.

Messung und Prognose des Wassergehaltes von Hochwasserschutzdeichen

Jörg Rings^{1,4}, Christian Hauck^{2,4}, Alexander Scheuermann^{3,4}

¹*Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Universität Karlsruhe, Wolfgang-Gaede-Str. 1, 76131 Karlsruhe, E-Mail: joerg.rings@imk.fzk.de, Telefon: +49(0)7247/824770*

²*Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Universität Karlsruhe*

³*Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik, Universität Karlsruhe*

⁴*Soil Moisture Group (SMG), Forschergruppe Feuchtemesstechnik an der Universität Karlsruhe*

Kurzfassung

Der Wassergehalt in Hochwasserschutzdeichen wurde unter variablen meteorologischen Einflüssen untersucht. Ein geophysikalisches Messverfahren, die Electrical Resistivity Tomography (ERT), wurde erfolgreich eingesetzt, um Wassergehaltsänderungen an einem Modelldeich zu quantifizieren. Als Vergleichs- und Kalibrieremethode wurde Spatial TDR eingesetzt. Durch die Verbindung der Methoden konnte die Genauigkeit der Wassergehaltsbestimmung ermittelt werden. In einer parallel durchgeführten numerischen Simulation wurde die zeitliche Entwicklung des Bodenwassers bei Niederschlägen und einem Einstau erfolgreich simuliert. Anhand der zeitlichen Entwicklung eines gemittelten Wassergehaltes über einen Experimentzeitraum von einem Monat werden die Methoden verglichen und weitere Untersuchungen motiviert.

Stichworte

Electrical resistivity tomography, Bodenwassergehalt, numerische Simulation, Geophysik, Geoelektrik, Deiche, Hochwasserschutz

1. Einleitung

Der Wassergehalt der ungesättigten Bodenzone hat aufgrund der engen Kopplung zwischen pedologischen und meteorologischen Prozessen maßgeblichen Einfluss auf das Mikroklima und die Energiebilanz über Landoberflächen. Seine Speicherfähigkeit für Wasser dient als Gedächtnis für Niederschläge und Energieumsätze der vergangenen Tage. Die Messung und Simulation der Wasserbilanz des Bodens stellt einen Schlüssel zum Verständnis der verantwortlichen Prozesse dar.

In dieser Arbeit wird speziell der Wasserhaushalt von Hochwasserschutzdeichen betrachtet. Bei diesen Erdbauwerken hat der Vorfeuchtezustand entscheidenden Einfluss auf die Schutzwirkung bei einem Einstau.

Das Ziel der Arbeit besteht darin, unter dem Gesichtspunkt der Anwendung auf den Hochwasserschutz, den Wassergehalt eines Deichkörpers unter den zeitlich variablen Einwirkungen des Einstaus, des Niederschlags und der Verdunstung quantitativ zu bestimmen.

Hierzu werden ausführliche Messungen und Modellrechnungen durchgeführt, um eine physikalisch konsistente Darstellung der Vorgänge zu erzielen.

Als Messmethode wurde das geophysikalische Verfahren der Electrical Resistivity Tomography (ERT) gewählt und dabei untersucht, inwieweit es sich zur Quantifizierung von

Wassergehaltsverteilungen eignet. Bei dieser Methode wird die Widerstandsverteilung im Untergrund bestimmt, und deren zeitliche und räumliche Änderung beobachtet, die unter anderem durch Veränderungen im Wassergehalt verursacht wird. Die Methode arbeitet nicht-intrusiv und ist schnell und kostengünstig installierbar, daher eignet sie sich für die zeitlich längerfristige Installation zur Beobachtung der Wassergehaltsentwicklung. Eine Übersicht über dieses Verfahren wurde von Daily et al. (2004) gegeben.

Als Vergleichsmethode dient in dieser Arbeit die Spatial TDR-Methode. Diese basiert auf der weit verbreiteten TDR-Methode (Time-Domain Reflectometry), die punktweise präzise Messungen des Wassergehaltes erlaubt. Durch die Rekonstruktion der Messsignale (Schlaeger 2005) ermöglicht Spatial TDR die eindimensionale Auflösung des Wassergehaltes entlang einer vertikal oder horizontal eingebauten TDR-Sonde. Diese Sonden sind unter anderem als Flachbandkabel realisiert worden (Abb. 1) und bereits erfolgreich in zahlreichen Anwendungen eingesetzt worden (Brandelik & Hübner 2003; Stacheder et al. 2005) und kommen auch zur Wassergehaltsbestimmung in einem Deichmodell zum Einsatz (Scheuermann 2005).

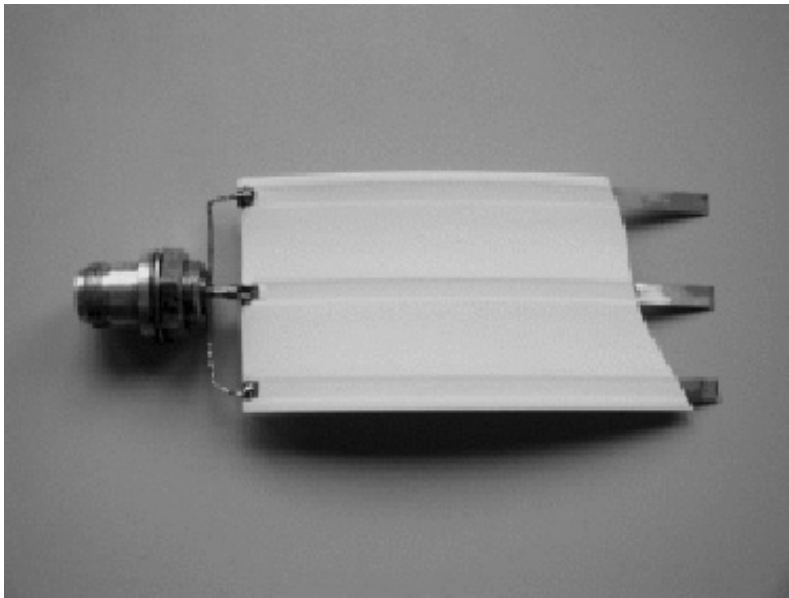


Abbildung 1: Spatial TDR-Kabel.

Während die Messverfahren die Quantifizierung des Wassergehaltes erlauben, können numerische Simulationen der Bodenwasserbewegung Aufschluss über die weitere Entwicklung des Wassergehaltes geben. Das Lösen der Bewegungsgleichung des Wassers im ungesättigten Boden erfolgte nach der Finiten-Elemente-Methode mit der Software HYDRUS (Šimunek 1999).

Die vorliegende Arbeit bespricht zunächst das ERT-Messverfahren. Die Anwen-

dung auf die Quantifizierung von Wassergehalten wird für das Beispiel einer Messreihe an einem naturmaßstäblichen Deichmodell vorgestellt. Spatial TDR wird zum Vergleich und zur Kalibration eingesetzt. Die notwendigen Schritte zur Anwendung der numerischen Simulation werden ausgeführt. Für den Experimentzeitraum werden die mittleren Wassergehalte aus den drei Methoden verglichen und die Ergebnisse diskutiert.

2. Theorie

2.1 Electrical Resistivity Tomography

Das ERT-Verfahren bestimmt die Widerstandsverteilung im Untergrund durch Messen der Potentialdifferenz zwischen Elektroden für verschiedene Elektrodenkonfigurationen. Hierzu wird an zwei Elektroden eine Spannung angelegt, während die Potentialdifferenz zwischen zwei weiteren Elektroden bestimmt wird. Die beobachteten Messdaten werden mittels eines

Inversionsalgorithmus in ein Blockmodell der Widerstandsverteilung im Untergrund überführt (Loke & Barker 1995).

Bei wiederholten Messungen an einem Boden können durch Anwenden der Gleichung von Archie (1942) aus Widerstandsänderungen die Änderungen im Wassergehalt errechnet werden. Ein erhöhter Wassergehalt in der Bodenmatrix bewirkt einen erniedrigten Widerstand, und die Gleichung

$$\rho_i / \rho_j = (S_j / S_i)^n \quad (1)$$

verknüpft die Änderung im Widerstand für zwei Messungen i und j mit der Änderung der Sättigung S über den Sättigungsexponent n .

2.2 Bodenwasserbewegung

Unter der Annahme einer frei beweglichen Luftphase beschreibt die Richards-Gleichung die Bewegung der Wasserphase im Porenraum des Bodens.

$$\partial_t \theta_w + \nabla [K_w(\theta_w)(\nabla \Psi_m - d_w \vec{g})] \quad (2)$$

mit dem volumetrischen Wassergehalt θ_w , dem Leitfähigkeitstensor K_w , dem Matrixpotential Ψ_m und der Dichte von Wasser d_w . Erst durch Angabe der Materialeigenschaften wird diese Beschreibung komplettiert. Insbesondere wird hier die Parametrisierung von van Genuchten für die Bodenwasser-Charakteristik $\theta_w(\psi_m)$ und die Parametrisierung von Mualem für $K(\theta_w)$ verwendet. Eine ausführliche Beschreibung der bodenphysikalischen Grundlagen wird unter anderem von Roth (2006) gegeben.

3. Versuchsbeschreibung

Durchgeführt wurden Messungen an einem naturmaßstäblichen Deichmodell (Abb. 2) an der Bundesanstalt für Wasserbau in Karlsruhe. Dieses Modell hat eine Höhe von 3,6 m und eine Länge von 22,4 m. Es ist homogen aus Sand einer Korngröße zwischen 0,2 mm und 2 mm aufgebaut und auf einer wasserundurchlässigen Dichtung aufgebaut, so dass infiltrierendes



Abbildung 2: Deichmodell von oben.

Wasser zu einem Kiesdrän am Fuß der Landseite geführt wird und dort aufgrund der höheren hydraulischen Leitfähigkeit des Kiesmaterials abfließt. Dieses Bauelement ist unablässig für die Standsicherheit des Deiches, da andernfalls an der Landseite austretendes Wasser durch Erosion die Sicherheit des Deiches gefährden würde. Der genaue Aufbau und die Instrumentierung des Deiches wurden von Scheuermann (2005) beschrieben.

Das Deichmodell ist mit 12 vertikal installierten Spatial TDR-Kabeln ausgestattet, mit denen regelmäßig und automatisiert der Wassergehalt im Deich bestimmt wurde. Mit ERT wurde entlang einer Messlinie mit 48 Elektroden senkrecht zur Deichkrone auf der Landseite des Deiches gemessen. Messungen wurden mit einer SYSCAL Junior-Apparatur (Iris Instruments) mit der Wenner-Schlumberger-Elektrodenkonfiguration durchgeführt.

Messungen geschahen auf täglicher Basis, außerdem in angepasst kürzeren Zeitabständen für die Regenereignisse (zwei längere Beregnungen über Nacht, drei kurze Beregnungen von 2 Stunden) und den Einstauversuch am Ende der Messreihe. Abbildung 3 zeigt die Niederschlagsmengen, die am Deichfuß gemessen wurden. Durch die hohen Raten (über 10 mm/h) deutlich erkennbar sind die künstlichen Beregnungen am Anfang und die kürzeren Beregnungen am 02., 04. und 10. August.

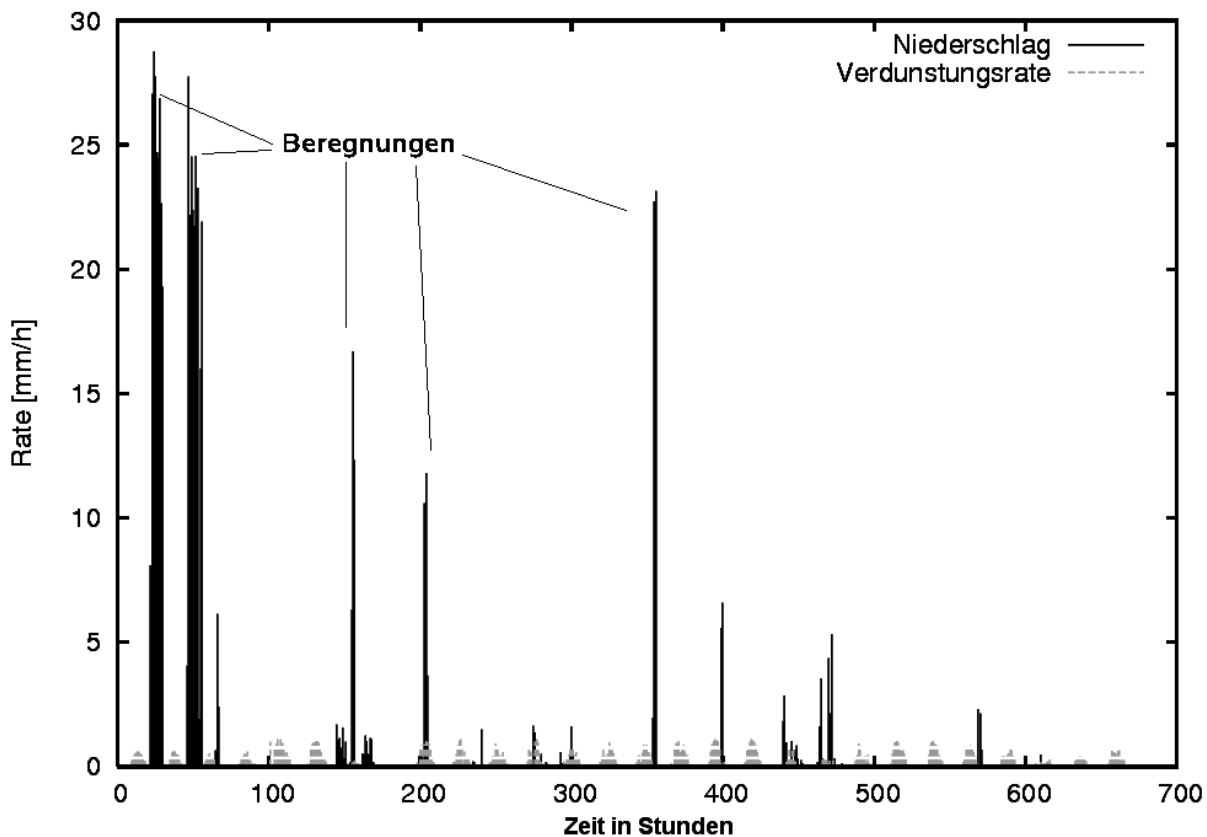


Abbildung 3: Niederschlags- und Verdunstungsraten während des Experimentes.

Die Messdaten wurden mit der Inversionsoftware RES2DINV (Loke & Barker 1995) in einen Satz von Modellparametern überführt, die die Widerstandsverteilung des Untergrundes in einem Blockmodell repräsentieren. Dabei ist zu beachten, dass die Lösung der Inversion nicht eindeutig ist. Insbesondere besagt das Äquivalenzprinzip, dass eine Schicht der Mächtigkeit l und dem spezifischen Widerstand ρ auch durch eine Schicht der Mächtigkeit $a \cdot l$ und einem spezifischen Widerstand ρ/a ersetzt werden kann. Desweiteren können Inversionsartefakte auftreten - beispielsweise konnte gezeigt werden, dass starke Kontraste in einem Bereich des Volumens eine gegenteilige Reaktion in einem anderen Bereich zur Folge haben kann (Rings et al. 2006). Für die Umrechnung der Widerstandsänderungen in Wassergehaltsänderungen mit der Archie-Gleichung (1) wurde der Sättigungsexponent durch Vergleich von Wassergehalten aus Spatial TDR und Widerständen aus ERT zu $n=1.164$ bestimmt.

4. Simulation

In der Simulation sollte der zeitliche Verlauf des Wassergehaltes im Deichkörper nachvollzogen werden. Dadurch sollte bestimmt werden, ob man die Simulation zur Prognose der Entwicklung des Wassergehaltes einsetzen kann, z.B. unter Vorgaben aus einer Wetterprognose.

4.1 Bodenparameter

Das simulierte Modell bestand wie der reale Deich aus einem Sand und einer Mutterbodenschicht. Die Charakterisierung der Böden für die van Genuchten-Mualem-Parametrisierung konnte für den Sand aus Labormessungen (Scheuermann 2005) übernommen werden. Die Parameter der Mutterbodenschicht wurden durch eine Inversion in der Simulation bestimmt, bei der iterativ die Parameter so angepasst wurden, dass gemessene und simulierte Wassergehalte in ihrer zeitlichen Entwicklung möglichst gut übereinstimmten. Da keine direkten Wassergehaltsmessungen in der Bodenschicht erfolgt waren, wurden die simulierten Wassergehalte in einem Punkt direkt unterhalb der Bodenschicht verglichen. Hierzu wurde ein längerfristiges Beregnungsexperiment aus Scheuermann (2005) nachsimuliert. Während die Parameter für den Sandboden konstant gehalten wurden, wurden die Parameter der Bodenschicht variiert, um eine möglichst gute Übereinstimmung aus gemessenem und simuliertem Wassergehalt unterhalb der Bodenschicht zu erlangen.

4.2 Randbedingungen

Der Antrieb der numerischen Simulation erfolgt über Niederschlag und Verdunstung. Die dazu benötigten Daten wurden mit einer Energiebilanzstation gemessen, die auf einer Wiese neben dem Modelldeich positioniert war. Die Niederschlagsrate wurde direkt gemessen, die Verdunstungsrate wurde nach der Bowen-Ratio-Methode bestimmt (Arya 2001). Die Werte wurden stündlich gemittelt am oberen Rand des Modellgebietes als atmosphärische Randbedingung vorgegeben. Am unteren Rand des Modells, das den Kiesdrän darstellte, konnte Wasser über eine Dränrandbedingung das Modellgebiet verlassen.

4.3 Anfangszustand

Für den Start der Simulation ist die Angabe einer Anfangsverteilung von Wassergehalt oder Saugspannung notwendig. Für den Fall, dass eine Messung vorliegt, kann die daraus bestimmte Verteilung des Wassergehaltes verwendet werden.

In dieser Studie wurden die Daten der meteorologischen Station Karlsruhe-Nordwest über den Zeitraum von einem halben Jahr vor Start des Experimentes als Tageswerte simuliert. Diese Vorsimulation begann im vollständig trockenen Zustand. Der so simulierte Zeitraum sollte zum Erreichen einer realistischen Wasserverteilung mindestens 3, besser 6 Monate betragen.

5. Ergebnisse

Für den Zeitraum des Experimentes wurden die Wassergehalte aus den drei Methoden (ERT, Spatial TDR und Simulation) über einen Bereich im Sand gemittelt, der dem von ERT erfassten Querschnitt entspricht. In Abbildung 4 ist diese Fläche in dunkelgrau dargestellt. Abbildung 5 zeigt die so bestimmten mittleren Wassergehalte.

Für die Simulation sind zwei Kurven gezeigt: Die Simulation der Niederschlags- und Verdunstungsraten als Stundenwerte ohne Einstau, und die Simulation nur des Einstaus. Die mit ERT quantifizierten Wassergehalte beziehen sich auf die initiale Spatial TDR-Messung vom 12. August. Von den ersten drei Tagen liegen keine Spatial TDR-Werte vor, daher sind diese durch Extrapolation zu einem Wert vor dem Experimentzeitraum gewonnen worden.

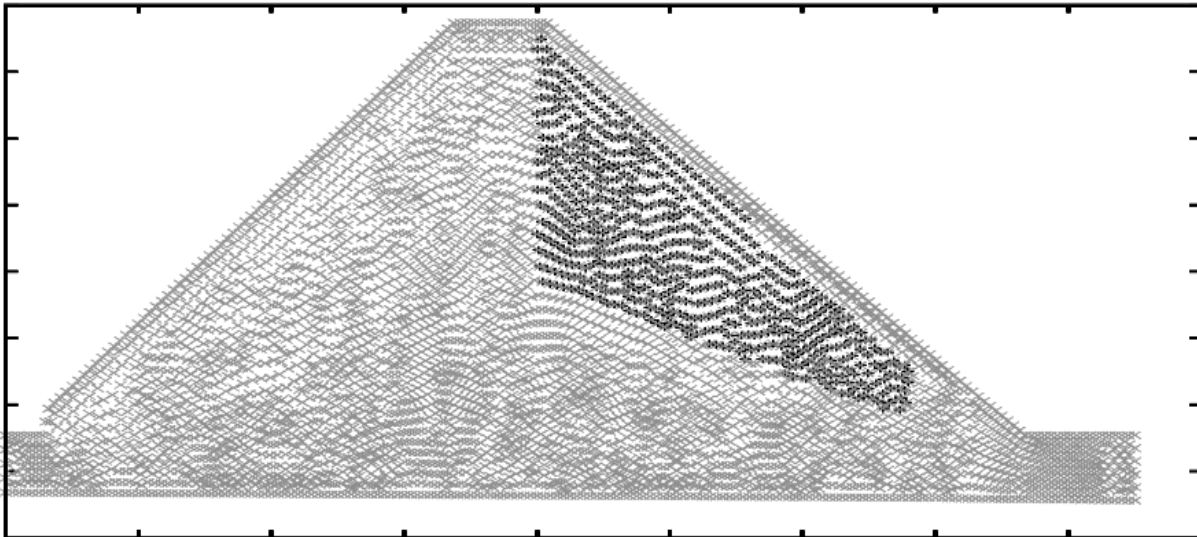


Abbildung 4: Mittelungsgebiet (dunkelgrau) für die gemittelten Wassergehalte (siehe Abb. 5).

Der Verlauf der Wassergehaltentwicklung wird von allen drei Methoden gut wiederspiegelt. Der Anstieg im Wassergehalt bei den längeren Berechnungsphasen zu Beginn ist in Simulation und ERT etwa gleich groß. Allerdings ist der Anfangswassergehalt in ERT deutlich zu klein und liegt unter der Feldkapazität. Hier zeigt sich, dass die Umrechnung mit der Archie-Gleichung (1) sehr sensibel auf Fehler im Sättigungsexponenten reagiert. Gerade wenn dieser wie hier nahe bei 1 liegt, können auch kleine Fehler zu überschätzten Wassergehaltsänderungen führen. Daher ist eine weitere Untersuchung der Bestimmung des Exponenten sowie der Gültigkeit der Gleichung in Bereichen nahe Sättigung oder nahe der Feldkapazität geplant. In der Simulation hingegen dürfte der Anstieg etwas überschätzt worden sein: Zum einen kann die Simulation nur eine vereinfachte Darstellung liefern, da sie das Richards-Regime einer frei beweglichen Luftphase voraussetzt. Bei starker Beregnung kann man allerdings davon ausgehen, dass es zu Lufteinschlüssen kommt, die das Wasser langsamer eindringen lassen. Zum anderen ist zu vermuten, dass der Regenmesser am Fuße des Deiches zu hohe Niederschlagsraten gemessen hat, da die Beregnung durch einen Kippregner in den Umkehrpunkten längere Zeit verweilt hat, und so die Öffnung des Regenmessers zu lange der Beregnung ausgesetzt war.

Bei den kurzen Beregnungen erwartet man keine Änderung im Sand, da die Bodenschicht nicht so stark gesättigt wird, dass Wasser in die Sandschicht vordringen kann. Das Spatial TDR zeigt bis vor dem Einstau auch keine Änderungen im Wassergehalt. Die Simulation zeigt eine leichte Erhöhung, die aber auch durch den höheren Anfangswassergehalt (vor den Beregnungen) bedingt sein kann.

Die kleinen Sprünge in den ERT-Messungen konnten durch Modellierungen mit synthetischen Datensätzen als Inversionsartefakte nachgewiesen werden (Rings et al. 2006).

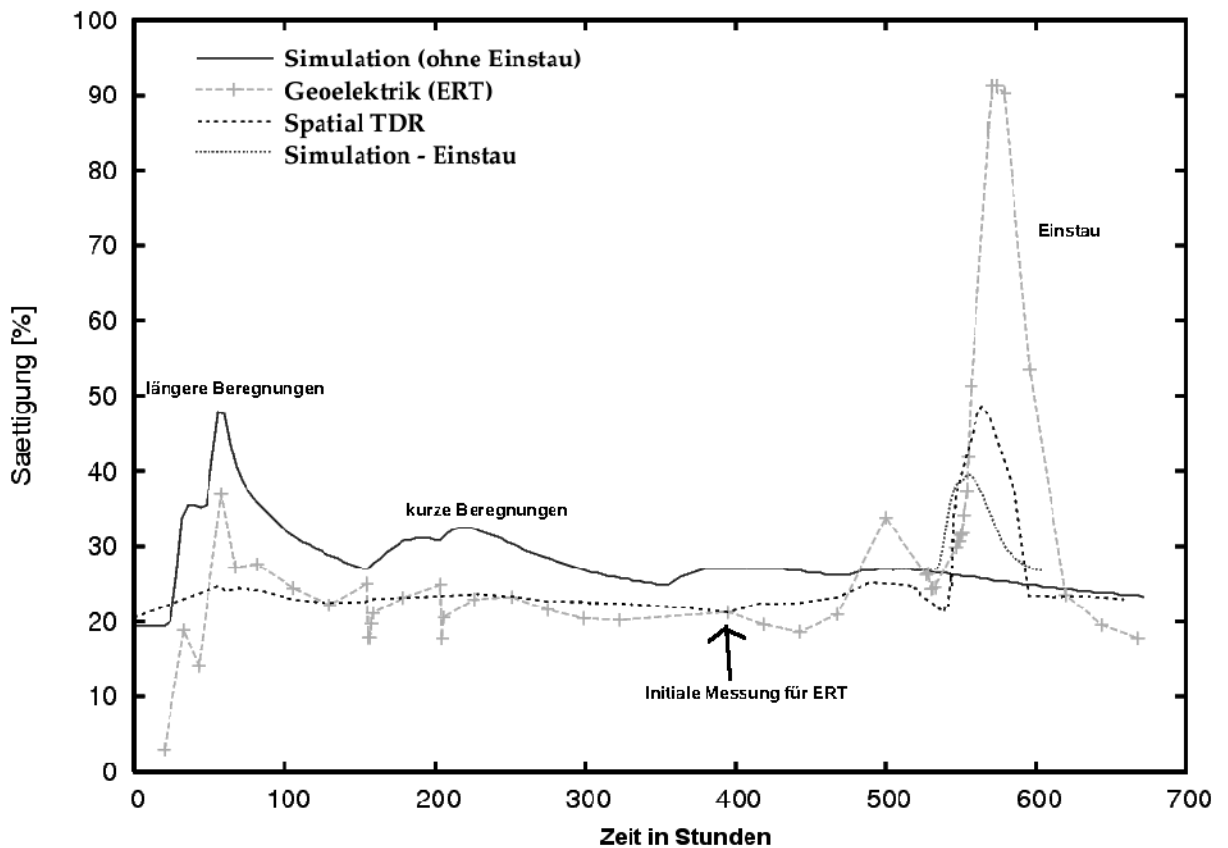


Abbildung 5: Gemittelte Wassergehalte aus ERT, Spatial TDR und simulierte Werte für den Zeitraum des Experimentes am Deichmodell der BAW. Zu erkennen sind Anstiege im Wassergehalt verursacht durch die Beregnungen und den Einstau.

Der Anstieg im Wassergehalt beim Einstau in der Simulation erscheint zu gering. Dies liegt daran, dass der gesättigte Bereich in der idealisierten Simulation fast vollständig unterhalb des Mittelungsbereiches (Abb. 4) liegt. Der Ausschlag im ERT ist deutlich zu hoch, dies liegt zum Großteil an der oben genannten Sensibilität gegenüber dem Sättigungsexponenten.

Abbildung 6 zeigt die Wassergehaltsverteilung bei einem Einstau bis zu einer Höhe von 2,42 m. Die mit ERT quantifizierte Wassergehaltsänderung zu einem trockenen Zustand wurde mit einer initialen Messung des Wassergehaltes verknüpft. Im unteren Bereich (blau gefärbt) ist der erwartete Wassergehalt von etwa 33-34% (maximal erreichter Sättigungsgrad, Scheuermann 2005) sehr gut getroffen. Der markierte Bereich im unteren Teil weist einen unphysikalisch hohen Wassergehalt auf, der sich aber durch Auflösungsprobleme erklären lässt. Hier kann das hoch aufgelöste Spatial TDR im unteren Bereich einen höheren Wassergehalt detektieren, der aber in den größeren Modellblöcken des ERT nicht erscheint. Daher werden hier relativ zu hohe Wassergehaltsänderungen verwendet und daraus ein zu hoher Wassergehalt errechnet. Im oberen Teil (rot gefärbter Bereich) wurde der Wassergehalt leicht unterschätzt in Folge eines Inversionsartefakt (Rings et al. 2006).

6. Zusammenfassung und Ausblick

Die dargestellten Ergebnisse zeigen die Eignung von ERT als Methode zur räumlichen und zeitlichen Beobachtung von Wassergehaltsänderungen. In Verbindung mit einer weiteren geophysikalischen Methode für eine initiale Verteilung ist die Quantifizierung von Wassergehalten möglich. In vorliegender Studie wurde dazu Spatial TDR eingesetzt, es wurde aber

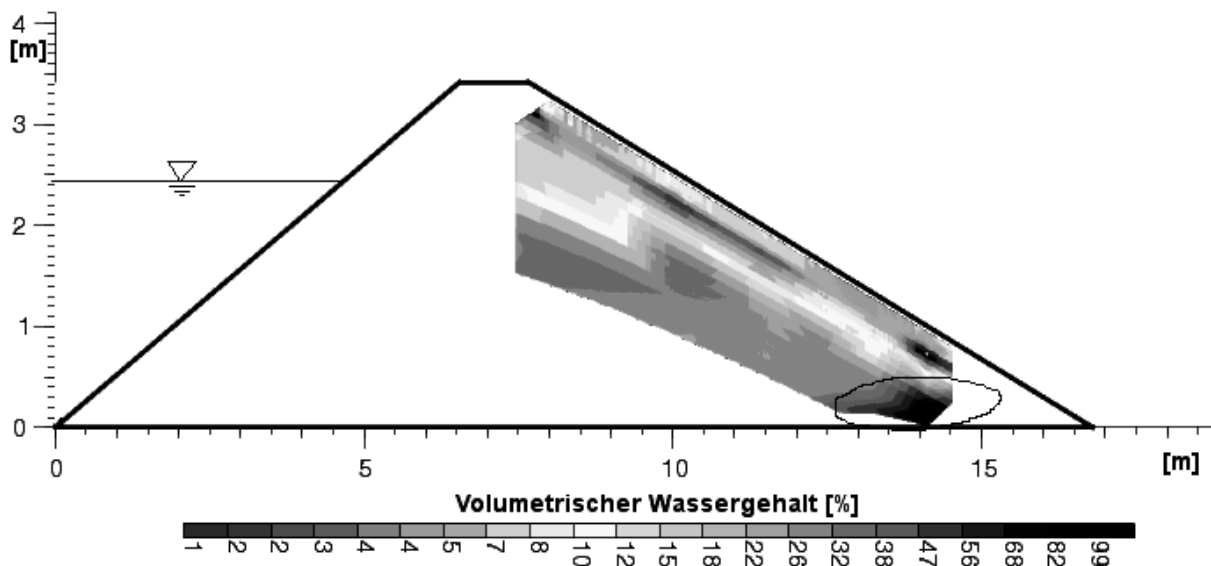


Abbildung 6: Wassergehaltsverteilung bestimmt aus ERT-Messungen in Verbindung mit einem initialen Wassergehalt aus Spatial TDR im trockenen Zustand. Gezeigt ist die Wassergehaltsverteilung bei einem Einstau von 2,42 m Höhe am 19. August 2005.

auch Georadar als mögliche Methode erfolgreich getestet, so dass die gesamte Messung nicht-intrusiv vorgenommen werden kann.

In der Simulation ist es gelungen, durch Antrieb mit Niederschlags- und Verdunstungsdaten die Entwicklung des Wassergehaltes nachzuvollziehen. In Kombination bietet sich so die Möglichkeit, durch wiederholte Messungen und Simulation der Daten aus Wetterprognosen den Wassergehalt in einem Deichkörper zeitlich und räumlich zu beobachten und vorherzusagen.

Die Wassergehaltsbestimmungen zeigten sich sensibel gegenüber dem Sättigungsexponenten in der Archie-Gleichung. Hier sollen weitere Gleichungen untersucht werden, die Widerstand und Wassergehalt verknüpfen.

Zur Verbesserung der Inversion der ERT-Daten soll eine Einbindung zusätzlicher Information vorgenommen werden, etwa der aus Simulation der Wasserbewegung gewonnenen Information, in welchen Bereichen des beobachteten Volumens eine Änderung des Wassergehaltes zu erwarten ist. So können Inversionsartefakte gemindert oder vermieden werden, und die quantitative Bestimmung des Wassergehaltes verbessert werden.

Danksagung

Die Autoren danken Prof. C. Kottmeier und Dr.-Ing. A. Bieberstein für ihre Unterstützung. J. Rings bedankt sich bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft für das Stipendium im Rahmen des Graduiertenkollegs Naturkatastrophen. Die Autoren bedanken sich bei der Bundesanstalt für Wasserbau in Karlsruhe für die Möglichkeit, am Deichmodell zu arbeiten.

Literaturverzeichnis

- Archie, G. E.: The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics, *American Institute of Mining and Metallurgical Engineers*, 1942, 55-62
- Arya, S. P.: Introduction to Micrometeorology, *Academic Press, New York and London*, 2001, 79
- Brandelik, A. & Hübner, C.: Moisture monitoring in waste disposal surface barriers, *Environmental Monitoring and Assessment*, 2003, 84, 61-70

- Daily, W.; Ramirez, A.; Binley, A. & LaBrecque, D.: Electrical resistance tomography, *The Leading Edge*, 2004, 438-442
- Loke, M. H. & Barker, R. D.: Least-squares deconvolution of apparent resistivity, *Geophysics*, 1995, 60, 1682-1690
- Rings, J.; Preko, K.; Scheuermann, A. & Hauck, C.: Soil water content monitoring on a dike model using electrical resistivity tomography, eingereicht an *Near Surface Geophysics* in 2006
- Roth, K.: Soil Physics. Lecture Notes, Institute of Environmental Physics, University of Heidelberg, 2006, www.iup.uni-heidelberg.de/institut/forschung/groups/ts/students
- Scheuermann, A.: Instationäre Durchfeuchtung quasi-homogener Erddeiche, *Veröffentlichungen des Institutes für Bodenmechanik und Felsmechanik der Universität Fridericana in Karlsruhe*, Heft 164, 2005
- Šimunek, J.; Sejna, M. & van Genuchten, M. T.: The HYDRUS-2D Software Package for Simulating the Two-Dimensional Movement of Water, Heat, and Multiple Solutes in Variably-Saturated Media, Version 2.0, 1999
- Stacheder, M.; Hübner, C.; Schlaeger, S. & Brandelik, A.; Kupfer, K. (ed.): Combined TDR and low frequency permittivity measurements for continuous snow density determination, 16, *Electromagnetic Aquametry*, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 2005, 367-382

Der Einfluss der Gestaltung von Bestandsrändern auf das Auftreten von Sturmschäden in land- und forstwirtschaftlichen Nutzflächen

Martin Zschke¹, Bodo Ruck¹

¹Universität Karlsruhe (TH), Institut für Hydromechanik, Laboratorium für Umwelt- und Gebäudeaerodynamik, Kaiserstraße 12, 76128 Karlsruhe, Deutschland, E-Mail: zschke@ifh.uka.de, Telefon: +49(0)721/6087788

Kurzfassung

Die Strömung über einen Übergang von freier zu bewaldeter Fläche wurde im atmosphärischen Windkanal des Instituts für Hydromechanik modelliert und mit Hilfe von Laser-Doppler-Anemometrie und Hitzdrahtmesstechnik untersucht. Die Messergebnisse legen nahe, dass die Strömung bis weit hinter die Kante von der Turbulenz in der luvwärtigen ungestörten Grenzschicht beeinflusst wird und dass insbesondere Eddies in der Größenordnung der Waldkante selbst eine wesentliche Rolle für den Impulsaustausch zwischen freier atmosphärischer Strömung und Wald spielen.

Stichworte

Vegetation, Grenzschicht, Böenbelastungen, Windwurf

1. Einleitung

Übergänge von freien Flächen oder Flächen mit niedriger Vegetation zu Waldbeständen stellen hinsichtlich der Sturmgefährdung besonders empfindliche Zonen dar. Bereits in den zwanziger Jahren beschäftigten sich Forstwirte und Meteorologen mit Windwurfmustern an Waldkanten und der Frage des Traufschutzes. Einen Einblick in die damaligen Überlegungen gibt Fritzsche (1933). Ausschlaggebend für das Interesse war die Beobachtung, dass die vordersten Bäume eines Bestandes häufig unbeschadet bleiben während das Schadensgebiet erst weiter stromabwärts beginnt. Die Tatsache, dass die Randbereiche oft erhalten bleiben gilt als sehr häufig beobachtetes Phänomen und als „solider Erfahrungswert“ (Quelle: Forstwirtschaftliche Versuchsanstalt Freiburg). Die geringere Versagenshäufigkeit wird in der Regel der dank der geringeren Wurzelkonkurrenz stärker ausgeprägten Verwurzelung der äußersten Bäume zugeschrieben; es existieren allerdings auch Beobachtungen von stehengebliebenen Rändern frisch geschlagener Schneisen (Woelfle 1950), wo die Belastbarkeit der Bäume im Bestand also annähernd gleich gewesen sein dürfte.

Bezüglich der Ausbreitung des Windwurfs im Bestandsinnern lässt sich anhand der zum Thema verfügbaren Literatur kein einheitliches Erklärungsmodell erkennen. Dies liegt insbesondere an der Vielzahl der Einflussfaktoren, die kaum erschöpfend in Untersuchungen berücksichtigt werden können. Das dynamische Verhalten der Bäume, die tatsächliche Dichte der Vegetation und die Strömungsstruktur während eines Sturmes lassen sich schwer in experimenteller oder numerischer Weise modellieren. In-situ-Messungen während eines Starkwindes bei gleichzeitiger Beobachtung des Windwurfes sind praktisch unmöglich. Die experimentellen und numerischen Arbeiten einiger Autoren (z.B. Yang et al. 2005) deuten darauf

hin, dass die Böenbelastungen der Bäume unmittelbar hinter der Kante eher gering sind, und ins Bestandsinnere hinein zunehmen um im Gleichgewichtsfall ihren höchsten Wert zu erreichen. Die hohen Böenbelastungen auf die Bäume im Fall einer horizontal im Gleichgewicht befindlichen Strömung werden den kohärenten Strukturen zugeschrieben, die über Vegetationsschichten besonders ausgeprägt sind und einen Großteil des Austausches von Impuls und skalaren Größen zwischen Biosphäre und Atmosphäre leisten (Raupach et al. 1996). In anderen Arbeiten (z.B. Mitscherlich 1973) wird eher die Auffassung vertreten, dass sich hinter schroffen Kanten starke Verwirbelungen bilden, die dann in einem gewissen Abstand (über den allerdings keine klare Aussage gemacht wird) zu Spitzenbelastungen führen, die wiederum das Versagen der dortigen Bäume nach sich ziehen. Sind die ersten Bäume umgeworfen, kann sich der Windwurf leicht in Windrichtung ausbreiten. Dies würde erklären, warum den Autoren keinerlei Berichte bekannt sind, aus denen deutlich hervorgeht, dass der Windwurf in einem gewissen Streifen hinter der Kante konzentriert ist – was eindeutig für einen Kanten Einfluss sprechen würde. Sollte es eine Zone besonders hoher Belastungen in einem bestimmten Abstand hinter der Kante geben, dann wäre es nahe liegend, durch eine angepasste Gestaltung der Waldkanten, beispielsweise durch niedrige Vorbepflanzung oder eine gestaffelte Bestandsdichte (Gardiner, Stacey 1996), der Windwurfgefährdung entgegen zu wirken. Waldkantenbehandlungen mit dem Ziel, die Bäume im Bestandsinnern zu stabilisieren, wurden bisher allerdings nicht in großem Umfang durchgeführt und es ist nicht bekannt ob sie sich eventuell in einzelnen Fällen bewährt haben. Eine gezielte Kantenbehandlung im Rahmen eines Feldversuches in Dänemark (Matthesen 1992), bei dem die Kronen der vordersten Bäume (norwegische Fichten) eingeschlagen wurden, erwies sich bei späteren Stürmen als vorteilhaft. Hier war allerdings die Absicht, die Randbäume selbst zu stabilisieren. Leider gibt es bis heute keine detaillierten und statistisch aufgearbeiteten Informationen bezüglich der typischen Ausmaße und Form der Windwurfgebiete in Bezug zu den Rändern.

Aufgrund der angesprochenen Unklarheiten ist es daher zunächst notwendig, die Frage zu klären, wie weit sich der leeseitige Einfluss der Waldkanten erstreckt und unter welchen Bedingungen und in welchem Abstand hinter der Kante möglicherweise Spitzenbelastungen auftreten, die zum Windwurf führen könnten. Dies erfordert ein grundlegendes Verständnis der Mechanismen beim Überströmen von Waldkanten. Aus aerodynamischer Sicht kann eine Waldkante dabei als ein gestörter Rauigkeitsübergang angesehen werden, bei dem durch die hohen vertikalen Ausmaße des Bewuchses eine räumliche Hinderniswirkung mit hohen Druckgradienten auftritt.

2. Experimenteller Aufbau

2.1 Windkanal

Die Untersuchungen wurden im atmosphärischen Windkanal des Instituts für Hydromechanik durchgeführt. Der Boden des Windkanals ist mit Rauigkeitselementen ausgestattet, mit deren Hilfe eine Grenzschichtströmung erzeugt wird, deren Struktur weitgehend der der atmosphärischen Grenzschicht ähnelt. Bei dem verwendeten Modellmaßstab von 1:200 entspricht die Rauigkeitslänge von 1,5 mm einer Rauigkeitslänge von 0,3 m in der Natur.

Mit Hilfe von Wirbelgeneratoren wird die Anlaufstrecke bis zum Erreichen einer Gleichgewichtsgrenzschicht auf ca. 3,50 m verkürzt. Die Versuche wurden bei einer Referenzgeschwindigkeit $u_{\text{ref}} = 10 \text{ m/s}$ in 0.5 m Höhe in der ungestörten Grenzschicht durchgeführt.

2.2 Waldmodell

Im Sinne möglichst weitgehender Vereinfachung wurde ein 12 cm hoher Körper aus einem offenporigen Polyurethanschaum als Modell verwendet. Die modellierte Waldkante stellt somit eine permeable Stufe dar, die sich vollständig innerhalb der Grenzschicht befindet. Der Druckverlust bei Durchströmung des Schaumstoffes wurde durch separate Messungen zu $k_p = 302 \text{ m}^{-1}$ unabhängig von der Geschwindigkeit ermittelt. Durch diese Materialeigenschaft wird ein zusätzliches Längenmaß eingeführt, dass in Belcher et. al. (2003) als *canopy drag length scale* L_C bezeichnet wird. Die Navier-Stokes-Gleichung im Innern des Modells nimmt somit folgende Form an:

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} + \frac{(u_j u_j)^{1/2} u_i}{L_C} \quad (1)$$

Durch Normierung mit der Bestandshöhe h lassen sich somit drei dimensionslose Längen einführen, die die Strömung über das Modell kontrollieren:

- die normalisierte *canopy drag length scale* (L_C / h)
- das normalisierte Rauigkeitslänge (z_0 / h)
- das Verhältnis der Grenzschichtdicke zur Bestandshöhe (δ / h)

Da die Dicke der atmosphärischen Grenzschicht bei einigen hundert bis tausend Metern liegt, sollte letzterer Wert unter natürlichen Bedingungen sehr groß sein und daher keinen direkten Einfluss haben. Wegen der beschränkten Ausmaße des Windkanals ist eine maßstäbliche Reproduktion der Grenzschicht über ihre gesamte Dicke nicht praktikabel (Abb. 1).

2.3 Messtechnik

A) LDA-System

Es wurde ein Zweikomponentensystem mit Argon-Ionen-Laser(4 W) verwendet, das mit Vorwärtsstreuung arbeitete. Die Datenauswertung erfolgte mit zwei TSI-Signalprozessoren vom Typ IFA 550. Als Nebelfluid wurde 1,2-Propandiol benutzt (Teilchendurchmesser 1-2

μm). Die Messungen erfolgten mit einer Abtastrate von 500 Hz im Coincidence-Modus. An den einzelnen Messpunkten wurde über einen Zeitraum von je 52 s gemessen.

Die Konvergenz der Momente bis zu dritter Ordnung über diesen Zeitraum wurde als ausreichend für eine Auswertung befunden.

B) Hitzdrahtanemometrie

Es wurden verschiedene Einzel- und Doppelhitzdrahtsonden (DISA 55 P 61)

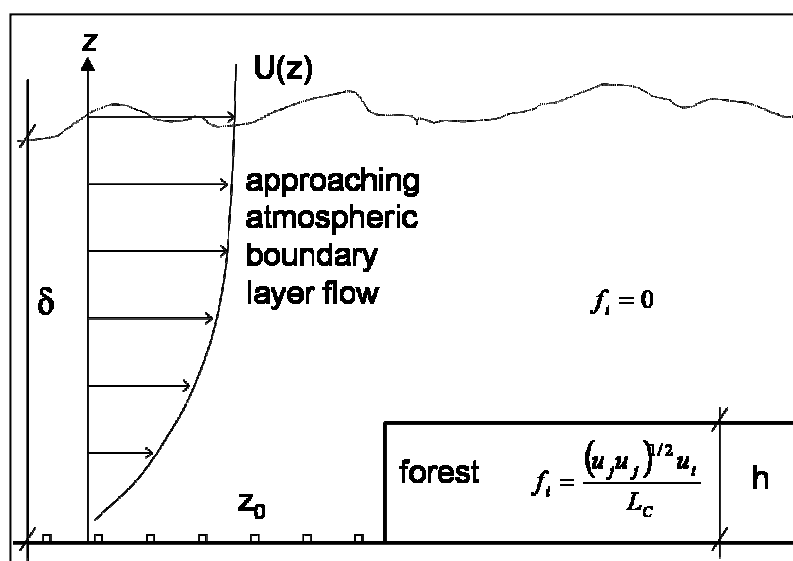


Abbildung 1: Experimenteller Aufbau im Windkanal.

sowie vier Messbrücken vom Typ DISA M 550 benutzt. An einzelnen Punkten wurden 2-D-Messungen mit einer Tripelhitzdrahtsonde aus drei koplanaren Drähten durchgeführt. Im Unterschied zu herkömmlichen X-Drähten liegt bei dieser Anordnung der Akzeptanzwinkel der Anströmung bei 90 nahezu Grad und laterale Fluktuationen werden mitberücksichtigt (Legg et. al. 1983). Die Hitzdrähte wurden im Windkanal durch Abgleich mit LDA-Messungen kalibriert.

3. Auswertung von Einpunktstatistiken

3.1 Mittlere Geschwindigkeiten und Momente zweiter Ordnung

Wie in Abbildung 2 zu sehen ist, findet hinter der Kante keine Strömungsablösung statt. Die Luft dringt teilweise in das Modell ein und wird nach oben ausgelenkt wo sie durch eine freie Scherschicht von der beschleunigten Luft oberhalb des Modells getrennt wird. Die Scherschicht wächst linear an und trifft auf die Modelloberfläche (Abb. 3).

An der Verteilung der Varianzen der Geschwindigkeitsfluktuationen in Strömungs- ($\langle u'^2 \rangle$) sowie in Querrichtung ($\langle w'^2 \rangle$) ist zu erkennen, dass sich die vertikale Varianz erst weiter stromabwärts entwickelt (Abb. 4). Dies wurde auch in Naturmessungen der Turbulenz hinter Waldkanten festgestellt und liegt nach Morse (Morse et al. 2002) daran, dass die TKE-Produktion wegen der starken horizontalen Scherung primär in die horizontale Komponente geht und erst durch den *return-to-isotropy*-Term der vertikalen und (hier nicht gemessenen) lateralen Komponente zugute kommt. Die Produktion wird durch vertikale Fluktuationen angetrieben, die bereits in der stromaufwärts gelegenen freien Grenzschicht enthalten sind und durch Advektion in die Scherschicht gelangen. Insofern ist es ein wesentlicher Unterschied, ob die Waldkante einer idealen laminaren Parallelströmung oder aber einer hochturbulenten Grenzschichtströmung ausgesetzt ist.

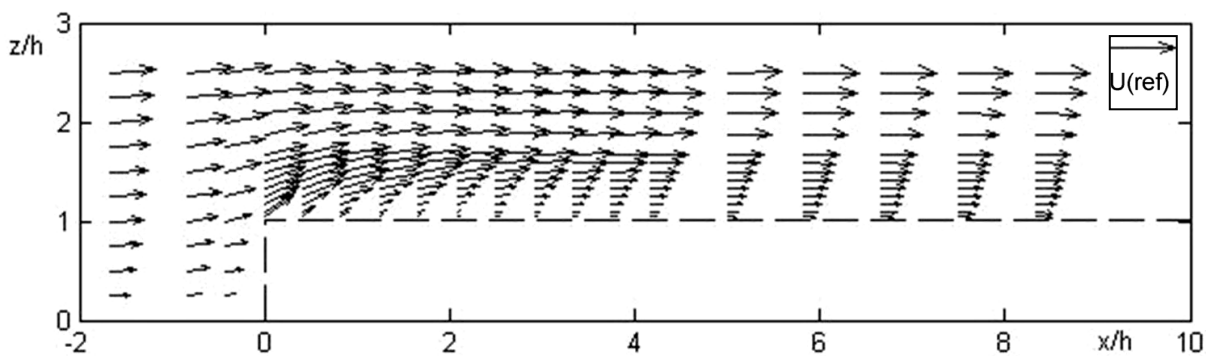


Abbildung 2: Vektorplot der mittleren Strömungsgeschwindigkeiten.

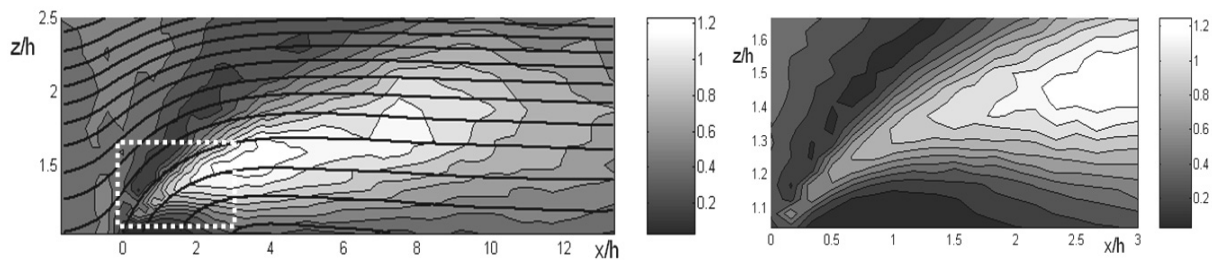


Abbildung 3: [Links]: Reynoldsspannungen $\langle u'w' \rangle / u_{ref}^2$ in Bezug auf Stromlinienkoordinaten. [Rechts]: Detailansicht des weiß eingerahmten Bereiches. Dicke durchgezogene Linien im linken Bild: mittlere Stromlinien.

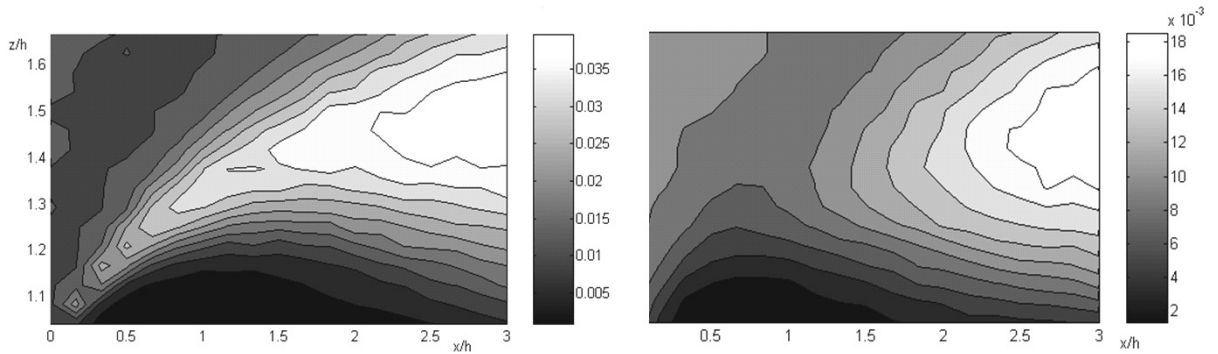


Abbildung 4: Varianzen in Strömungsrichtung und senkrecht dazu für das in Abb. 3 gekennzeichnete Detail, links: $\langle u'^2 \rangle / u_{ref}^2$, rechts: $\langle w'^2 \rangle / u_{ref}^2$.

3.2 Dynamik der freien Scherschicht im Nahbereich der Kante

Unmittelbar hinter der Kante lassen sich besonders schiefe Verteilungen (Abb. 5) finden, die dadurch zustande kommen, dass eine dünne Scherschicht durch die Einwirkung der größeren Wirbelskalen der luvseitigen Grenzschicht auf- und ab bewegt wird.

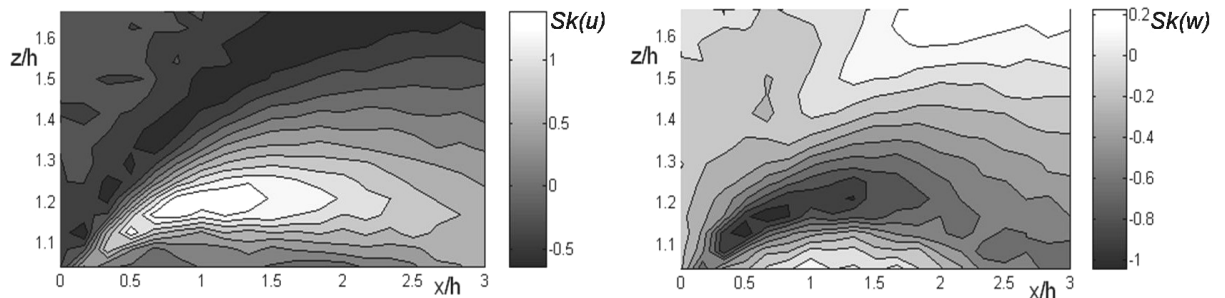


Abbildung 5: Verteilungsschiefen der Geschwindigkeitskomponenten, links: $Sk(u)$, rechts: $Sk(w)$.

Dieser Mechanismus, auch als *flapping* bezeichnet, verursacht auch das Anwachsen der Scherschicht hinter Windschutzstreifen (Judd et al. 1996). Wie in Abbildung 6 zu erkennen ist, kommt zum Spektrum der ungestörten Strömung ein höherfrequenter Anteil hinzu, der durch kleinskalige Wirbel erzeugt wird, die sich in der Scherschicht bilden und die mit zunehmendem Abstand von der Kante in Energiegehalt und Größe anwachsen. Im vorderen Bereich, bis etwa $x = 1.5 h$ besteht eine spektrale Lücke, die sich als das *shear layer flapping* interpretieren lässt. Für das Anwachsen der Scherschicht gilt annähernd die Beziehung

$$dL_S / dx \approx (2\sigma_w / \bar{u})_{ambient} = 0.26 \quad (2)$$

wobei σ_w die vertikale Standardabweichung in Höhe der Oberkante des Waldes in der ungestörten Grenzschicht und \bar{u} die dortige horizontale mittlere Geschwindigkeit ist.

4. Conditional Sampling

4.1 Vorgehensweise

Allein auf der Grundlage von Einpunktdaten, wie sie mit Hilfe des verfügbaren LDA gewonnen wurden, lassen sich kaum Informationen über die räumliche Struktur der Turbulenz gewinnen. Zu diesem Zweck wurden Zweipunktmessungen mit Hitzdrahtsonden durchgeführt. Ziel der Untersuchungen war es, momentane Strömungsstrukturen zu identifizieren, die mit

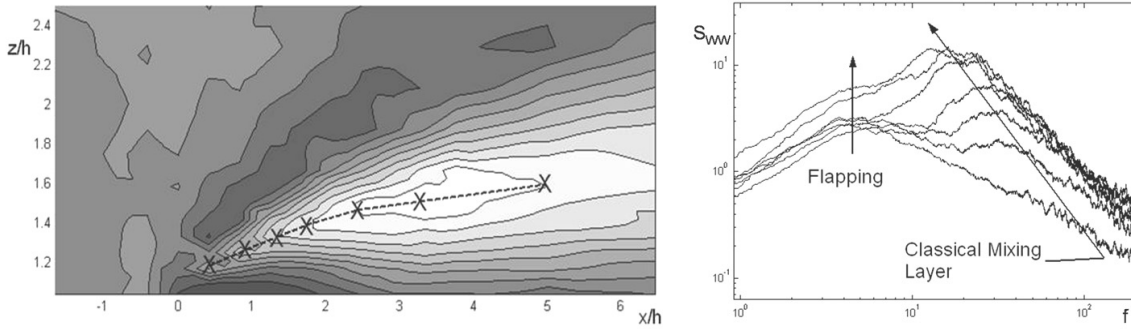


Abbildung 6: [Links]: Profilpunkte auf der Mittellinie der Scherschicht (wo $\langle u'w' \rangle$ max.). [Rechts]: Entwicklung der Energiespektren der Fluktuationen senkrecht zur Hauptströmungsrichtung entlang der Mittellinie an den Profilpunkten.

einem ausgewählten detektierbaren Ereignis korreliert sind. Als Ereignis wurde das extreme Nach-unten-Verlagern der Scherschicht hinter der Kante aufgrund des *flapping*-Prozesses gewählt. Eine Einzeldrahtsonde wurde bei $x = 1.5 h$ und $z = 1.2 h$ positioniert um die dortigen Horizontalgeschwindigkeiten aufzunehmen. Zeitgleich erfolgte die Vermessung des restlichen Geschwindigkeitsfeldes mit Hilfe der Tripel-Hitzdrahtsonde (siehe 2.3.). Der Zeitverlauf am Detektionspunkt zeichnet sich durch die hohe Verteilungsschiefe und die mit Hilfe des *mexican hat* - Wavelets leicht zu identifizierenden Geschwindigkeitsspitzen aus. Für die Detektionsfunktion gilt $D(t) = 1$ für die 10% der höchsten Wavelet-koeffizienten und sonst $D(t) = 0$. Der *conditional average* der Geschwindigkeit an den mit der Tripelsonde gemessenen Punkten berechnet sich zu:

$$\hat{\mathbf{u}}(\mathbf{x}, \tau) = \langle \mathbf{u}(\mathbf{x}, t + \tau) \cdot D(t) \rangle / \langle D(t) \rangle \quad (3)$$

Durch den Zeitversatz τ konnte somit auch das typische zeitliche Verhalten der Strukturen ermittelt werden.

4.2 Ergebnisse

Wie in Abbildung 7 dargestellt, ist das Detektionsereignis mit einem deutlich erkennbaren Eddy korreliert, der sich bereits in der luvseitigen Grenzschicht befindet. Der Eddy ist von der Größenordnung der Waldkante selbst und induziert bei seiner Passage über die Kante eine hohe negative Vertikalgeschwindigkeit im Bereich der Scherschicht, die zum *flapping* und zur Erhöhung der Horizontalgeschwindigkeit auf der unteren Seite der Scherschicht führt.

Die durchgeführte conditional sampling Methode ist kein völlig objektives Verfahren zum Auffinden räumlichen Strömungsstrukturen. Dies hat vor allem folgende Gründe:

1. Die willkürliche Festlegung eines Detektionskriteriums
2. Die Reduktion des Detektionsereignisses auf eine einzige lokale skalare Größe
3. Die Möglichkeit, dass eine Überlagerung verschiedenartiger Mechanismen zum detektierten Ereignis beiträgt.

Ein wesentlicher Punkt ist allerdings, dass das Detektionsereignis, das im Nahbereich der Kante gemessen wird, auch noch mit höheren Geschwindigkeiten weiter stromabwärts, in einem Abstand von mindestens 5 Waldkanten (weiter hinten wurden keine Messungen durchgeführt), korreliert ist, und das dort gleichzeitig die Vertikalkomponente merklich nach unten gerichtet ist, was auf einen erhöhten Impulseintrag in Folge des *flapping* hindeutet. Es wird gegenwärtig getestet, ob sich auch ein direkter Zusammenhang zwischen Impulsspitzen im

hinteren Bereich und diskreten Wirbelstrukturen vor der Kante finden lässt. Dies erfordert komplexere Detektionskriterien und ausführliche Messungen.

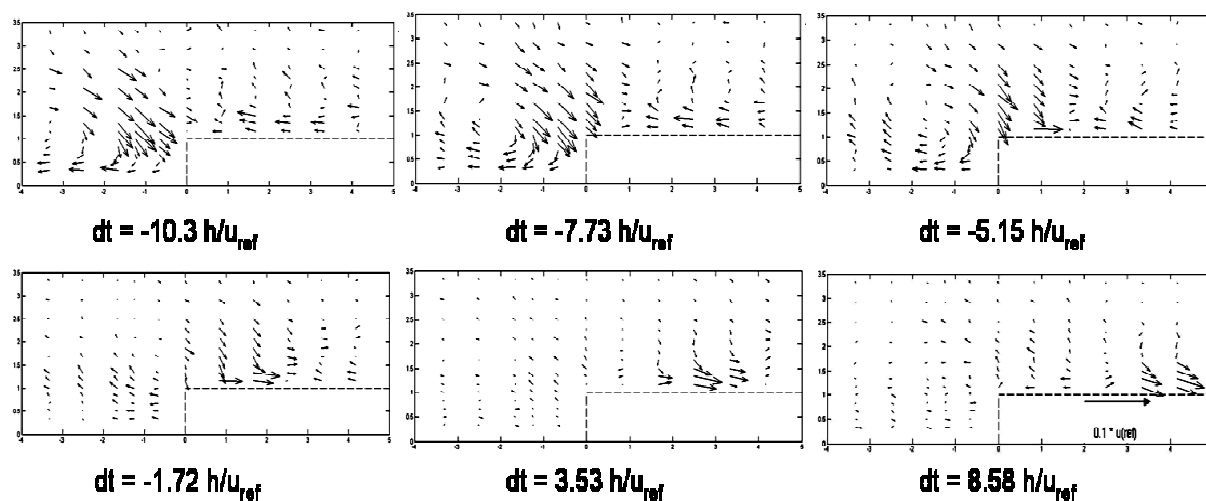


Abbildung 7: Geschwindigkeitsfeld \hat{u} für verschiedene Zeitversätze dt zum Detektionsereignis.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Eine Waldkante stellt kein kompaktes Hindernis dar, an dem es zum Strömungsabriss wie bei undurchlässigen Stufen kommt. Stattdessen wirkt die Vegetation als Senke für Impuls und turbulente kinetische Energie und verursacht eine Störung der ankommenden atmosphärischen Grenzschichtströmung. Die „Störung“ der mittleren Strömung besteht in einer Verlangsamung direkt vor und im Wald, einer Beschleunigung über der Kante und vor allem einer starken horizontalen Scherung oberhalb des Bestandes, die vorne besonders groß ist. Es ist bekannt, dass die Turbulenz über Vegetationsschichten im Falle des horizontalen Gleichgewichtes von kohärenten Strukturen dominiert wird, die dazu führen, dass ein Großteil des Impulses innerhalb einer sehr kleinen Zeitfraktion von der freien Atmosphäre in die Pflanzendecke übertragen wird. Es stellt sich die Frage, wie das Aufrollen dieser Strukturen mit der Verformung der Grenzschichtturbulenz zusammenhängt. Von besonderem praktischen Interesse ist die Dynamik besonders energiereicher böenartiger Wirbel beim Übergang über die Waldkante. Sollte es zu einer merklichen Verstärkung der Böen kommen, dann kann auch von einem Einfluss der Kantenform auf das Windwurfverhalten ausgegangen werden. Ein genauere Einblick in die beteiligten Mechanismen kann mit Hilfe von Druckmessungen und gleichzeitigen Druck-Geschwindigkeits-Messungen gewonnen werden. Dies ist Gegenstand der gegenwärtigen Untersuchungen.

Literaturverzeichnis

- S.E. Belcher, N. Jerram, J.C.R. Hunt, Adjustment of a turbulent boundary layer to a canopy of roughness elements, *J. Fluid Mech.*, 488 (2003) 369-398.
- K. Fritzsche, Sturmgefahr und Anpassung: Physiologische und technische Fragen des Sturmschutzes, *Tharandter Forstliches Jahrbuch*, 84 (1933) 1-94.
- B.A. Gardiner, G. Stacey, Designing Forest Edges to Improve Wind Stability, Forestry commission technical paper 16, Edinburgh, (1996)
- M.R. Irvine, B.A. Gardiner, M.K. Hill, The evolution of turbulence across a forest edge, *Boundary Layer Meteorol.*, 84 (1997), 467-496

- M.J. Judd, M.R. Raupach, J.J. Finnigan, A wind tunnel study of turbulent flow around single and multiple windbreaks, part I: velocity fields, *Boundary Layer Meteorol.*, 80 (1996) 127-165.
- B.J. Legg, P.A. Coppins, M.R. Raupach, A three-hot-wire anemometer for measuring two velocity components in high intensity turbulent boundary layers, *J. Phys. E: Sci. Instrum.*, 17 (1984) 970-976.
- P. Matthesen, Stabilising effect from pruning and topping in newly exposed edges of old and middle-aged Norway spruce, videnblade Skovbrug 5.5.-1, Forskningscentret for Skov & Landskab (1992, in Danish)
- G. Mitscherlich, *Wald und Wind*, Allg. Forst- und Jagdztg., (1973), 76-81
- A.P. Morse, B.A. Gardiner, B.J. Marshall, Mechanisms controlling turbulence development across a forest edge, *Boundary Layer Meteorol.*, 103 (2002) 227-251.
- M.R. Raupach, J.J. Finnigan, Y. Brunet, Coherent Eddies and Turbulence in Vegetation Canopies: The Mixing-Layer Analogy, *Boundary-Layer Meteorol.* 78, (1996), 351-382
- M. Woelfle, *Waldbau und Forstmeteorologie – Wirtschaftliche Folgerungen aus den Untersuchungen des Forstmeteorologischen Instituts München*, Bayerischer Landwirtschaftsverlag, München, (1950)
- B. Yang, R.H. Shaw, K.T. Paw U, Wind loading on trees across a forest edge: A large eddy simulation, *Agric. Forest Meteorol.*, 141 (2006), 133-146.

Schwerpunkt „Vorsorge“

Katastrophenschutz, Risikoreserven und Konsum - Ein kontroll-theoretischer Ansatz

Ines Göbel

Universität Karlsruhe (TH), Institut für Finanzwirtschaft, Banken und Versicherung, Lehrstuhl für Versicherungswissenschaft, Kronenstraße 34, 76128 Karlsruhe, Deutschland, E-Mail: Ines.Goebel@fbv.uni-karlsruhe.de, Telefon: +49(0)721/9092893

1. Problemstellung

Naturkatastrophen sind natürliche Ereignisse mit verheerenden Auswirkungen auf Lebewesen und ihre Umgebung. Was sie so gefährlich macht, ist die Tatsache, dass sie unvorhersehbar auftreten. Es bleibt der Bevölkerung meist nur kurze Zeit, bevor die Naturgewalten zuschlagen. Die Abschätzung des Ausmaßes einer Katastrophe ist oft erst viel später möglich. Dadurch werden Hilfsmaßnahmen erschwert.

Im Fall des tropischen Wirbelsturms Hurrikan Katrina im August 2005 vergingen sechs Tage zwischen der Entstehung des Sturmtiefs über den Bahamas und dem Auftreffen des Wirbelsturms auf die US-Golfküste. In dieser Zeit gab es sehr unterschiedliche Prognosen über Verlauf und Stärke des Wirbelsturms. Zwei Tage vor dem Auftreffen auf das Festland, gab die US-Regierung eine Hurrikan-Warnung für Louisiana, Mississippi und Alabama heraus. Die Bevölkerung hatte also Zeit, sich in Sicherheit zu bringen, nicht aber die Möglichkeit zur Rettung aller Besitztümer. Die betroffene Region ist außerdem hoch entwickelt. Daher stehen sich bei dieser Katastrophe eine verhältnismäßig geringe Anzahl von Todesopfern und ein hoher Sachschaden gegenüber. Hurrikan Katrina ist mit 125 Milliarden US-Dollar volkswirtschaftlichem Gesamtschaden die bisher teuerste Naturkatastrophe aller Zeiten.

Ganz anders verhielt es sich am 26. Dezember 2004, als ein Seebeben im indischen Ozean durch mehrere Flutwellen starke Schäden in den Küstenregionen am Golf von Bengalen verursachte. Hier gab es praktisch keine Vorwarnung, wodurch die Menschen von der ersten Flutwelle völlig überrascht wurden. In den betroffenen acht asiatischen Ländern gab es ungefähr 210.000 Todesopfer. Damit führt das Sumatra-Andamanen-Beben die Liste der tödlichsten Naturkatastrophen der letzten 25 Jahre an. Demgegenüber steht ein volkswirtschaftlicher Schaden in Höhe von nur 10 Milliarden US-Dollar. Das liegt daran, dass die Katastrophe größtenteils wenig entwickelte Gebiete traf. Versichert waren sogar nur 10% des Schadens. Bei einem Erdbeben wie diesem ist es wahrscheinlich, dass in den nächsten Jahrzehnten ein weiteres folgt. Die Staaten am Indonesischen Ozean werden ein Frühwarnsystem installieren. Dieses wird zukünftig hoffentlich helfen Menschenleben zu retten. Nichts desto trotz würde ein weiterer Tsunami die Region wieder stark verwüsten.

Treten Naturkatastrophen in Industrieländern auf, so stehen staatliche und private Hilfsorganisationen zum Katastrophenschutz bereit, um Leben, Gesundheit und Umwelt zu schützen. Katastrophenschutz umfasst die Abwehr und Beseitigung von Schäden, sowie alle damit verbundenen Tätigkeiten. Die auftretenden Schäden werden von Versicherungen im Rahmen der abgeschlossenen Policen, sowie vom Staat in Form von Notfallhilfen beglichen. Teile der Schäden verbleiben aufgrund von unzureichender Versicherung bei den Betroffenen. Der Verlust von persönlichen Werten kann ohnehin kaum ersetzt werden.

Bei Entwicklungs- und Schwellenländern gestaltet sich die Situation schwieriger, da meist kein eigenes Auffangnetz existiert. Daher soll im Folgenden das Augenmerk besonders auf diese Länder gerichtet werden. Hat in einem solchen Land eine Naturkatastrophe zugeschlagen, bedarf es internationaler Hilfeleistung. Politiker vieler Länder sichern binnen kurzer Zeit hohe Geldbeträge für die Soforthilfe und den Wiederaufbau zu. Auch private Hilfsorganisationen mobilisieren hohe Summen an Spenden. Dennoch dauert es oft Monate und sogar Jahre, bis die Gelder bei den Betroffenen ankommen. Obwohl also der Wille zur Hilfeleistung vorhanden ist, gestaltet sich die Durchführung schwerfällig. Dies hat zur Folge, dass das vorhandene Potential zur Linderung der Not bei Weitem nicht ausgeschöpft wird. Es stellt sich die Frage, ob gezielte präventive Maßnahmen nicht für alle Beteiligten von Vorteil wären. Für die Geberländer könnte dies die Höhe des finanziellen Aufwands im Ganzen reduzieren, für die betroffenen Drittweltländer wäre dies eine nachhaltigere und planbarere Form der Hilfeleistung. Denkbar wäre beispielsweise die Finanzierung oder Bezuschussung von Versicherungen, die bei lokalen Instituten abgeschlossen würden. Falls eine derartige Infrastruktur noch nicht existiert, besteht auch die Möglichkeit, von außerhalb Versicherungen im Land aufzubauen. Dadurch wäre gewährleistet, dass im Katastrophenfall die finanzielle Hilfe schnell vor Ort wäre und Katastrophenschutz sowie Wiederaufbau zügig anlaufen könnten. Eine Versicherung könnte Katastrophenmanagement, Schäden an der Infrastruktur, Gebäudeschäden und die Sicherung der Existenzgrundlage umfassen. Letztere beinhaltet beispielsweise das Verteilen von Saatgut, aber auch immaterielle Leistungen wie Bildung und Aufklärung. Versicherte wären der Staat, Kommunen oder die Menschen im Land.

Besteht für eine Region bekanntermaßen ein hohes Gefährdungspotential, sind verschiedene präventive Maßnahmen zu erwägen. Solche Maßnahmen werden hier in Risikoreserve und Vorbeugung unterteilt. Als Risikoreserve seien alle Formen von Rücklagen bezeichnet, die in Zeiten ohne Katastrophen angespart werden und im Katastrophenfall für den Katastrophenschutz und die Behebung von Schäden verwendet werden. Dazu zählen Versicherungen und staatliche Reserven sowie beliebige Risikopools und Anlageformen mit diesem Zweck. Ein Beispiel ist die Ausgabe von Cat-Bonds. Mit Vorbeugung sind hier jegliche Maßnahmen gemeint, die losgelöst von einem speziellen Katastrophenfall präventiv getroffen werden und die auf Höhe und Häufigkeit von Schäden einen günstigen Einfluss haben. Beispiele sind Aufklärung, Frühwarnsysteme und entsprechende Baumaßnahmen. Jegliche präventiven Maßnahmen müssen durch vorhandene Gelder oder mittels Krediten finanziert werden. Daher führen sie unweigerlich Konsumverzicht mit sich – entweder für die betroffene Bevölkerung selbst, oder im Fall von Entwicklungs- und Schwellenländern für die Geberländer.

Zwischen den drei Zielgrößen Risikoreserve, Vorbeugung und Konsum muss man sorgfältig abwägen. Dazu sollen Methoden der stochastischen Kontrolltheorie verwendet werden. Für eine vernünftige Steuerung bedarf es dabei einer guten Kostenabschätzung. Das Risiko des Auftretens einer Naturkatastrophe hängt von unterschiedlichen geologischen und klimatischen Faktoren ab. Historische Daten helfen bei der Abschätzung der Wiederkehr der Ereignisse. Die Analyse der lokalen Gegebenheiten ermöglicht, das Zerstörungspotential für den Schadenfall zu beurteilen.

HEUTE			SPÄTER	
(1)	Risikoreserve	↔	Schadenfinanzierung	
(2)	Vorbeugung	↔	Schadenminderung	
	?		?	
(3)	Konsum	↔	Konsum	

2. Katastrophenmodelle

Aufgrund fehlender Informationen muss bei der Prognose von Schäden durch Naturkatastrophen auf Katastrophenmodelle zurückgegriffen werden. Diese stützen sich nicht allein auf historische Schadendaten und statistische Verfahren, sondern verwenden jegliche zur Verfügung stehenden Informationen. Ziel ist es, für ein bestimmtes Gebiet die Bedrohung durch Naturkatastrophen in Bezug mit den dabei zu erwartenden Schäden zu setzen. Wie in diesem Abschnitt verdeutlicht wird, sind die Zusammenhänge dabei sehr komplex. Es wird daher bei der nachfolgenden mathematischen Modellbildung unweigerlich darauf hinauslaufen, dass vereinfachende Annahmen getroffen werden. Nur so ist es möglich die Entscheidungsprozesse mathematisch abzubilden und durchzurechnen.

Bei der Erstellung eines Katastrophenmodells werden zunächst die Wahrscheinlichkeiten für Häufigkeit und Stärke sowie die genaue geographische Lage von Vorkommnissen so weit wie möglich spezifiziert. Im folgenden Schritt werden die vorhandenen Güter auf ihren Wert hin analysiert und beispielsweise mittels Geocoding gespeichert. Durch Betrachtung von objekt- und ortsspezifischen Charakteristika erhält man die Vulnerabilität. Sie gibt für verschiedene Intensitäten von Ereignissen den Grad des zu erwartenden Schadens an. Aus diesen Einflussgrößen werden dann Rückschlüsse auf die potentiellen Schadenverläufe gezogen. Dazu wird der monetäre Wert der physikalischen Schäden geschätzt. Dies gibt eine Vorstellung über die zu erwartenden Kosten für die Finanzierung der Schäden in Abhängigkeit der Schwere der Katastrophe. Der Zusammenhang zwischen der Eintrittswahrscheinlichkeit von Katastrophen und den zugehörigen Schadenhöhen wird mittels einer EP-Funktion („exceedance probability curve“) dargestellt.

Um zu einem fertigen Katastrophenmodell zu gelangen, sind vielschichtige Analysen notwendig. Es bedarf wissenschaftlicher Studien von Naturkatastrophen, sinnvoller Schätzungen der vorhandenen monetären Werte, sowie Kenntnis der lokalen Bausubstanz und der damit zusammenhängenden Anfälligkeit für Schäden. Erst das Zusammenspiel all dieser Informationen macht es möglich, die im betrachteten Gebiet durch Naturkatastrophen drohenden Schadenverläufe zu prognostizieren.

Die Prognosegenauigkeit eines Modells ist entscheidend davon abhängig, dass alle relevanten Aspekte berücksichtigt und realitätsnah abgebildet wurden. Die Darstellung der diversen Komponenten stellt Anforderungen an unterschiedliche wissenschaftliche Bereiche. Um die Menge an Daten und Abhängigkeiten analysieren zu können, werden Geoinformationssysteme verwendet. Der Mangel an verwendbaren historischen Daten von Naturkatastrophen erschwert die statistische Prognose von Ereignissen.

Grundlage aller Analysen von bedrohten Objekten ist die Eingrenzung der geographischen Lage einer möglichen Katastrophe. Eignet sich diese in einer Millionenstadt, so ist das Ausmaß der Schäden ungleich höher, als wenn es sich um unbesiedeltes Gebiet handelt. Erst nach diesen Überlegungen begibt man sich an die Schätzung von Besitztümern. Dies gestaltet sich schwierig, denn die Werte sind aufwändig zu bestimmen und ändern sich zudem ständig. Sie hängen unter anderem von dem Verwendungszweck und der Bauweise der Objekte ab. Die Anfälligkeit von Gebäuden für Schäden ergibt sich aus verschiedenen Faktoren. Diese weichen regional und kulturell bedingt häufig stark voneinander ab. Vor allem Bausubstanz und Bauweise führen zu ganz unterschiedlichen Gebäudetypen. Aufgrund fehlender Informationen müssen sie in Gebäudeklassen eingeteilt werden. Ein Repräsentant jeder Klasse wird dann analysiert und der Zusammenhang zwischen Intensitäten von Ereignissen und den dadurch am Gebäude zu erwartenden Schäden wird mittels einer objektspezifischen Schadenfunktionen („Damage Curve“) dargestellt. Das Ergebnis wird auf die gesamte Klasse projiziert. Eine Möglichkeit, Vulnerabilität von Gebäuden einzustufen, sind Building Codes. Bei der Quantifizierung des entstandenen finanziellen Verlustes müssen neben den Gebäudeschäden zusätzlich der Gebäudeinhalt und die Folgeschäden berücksichtigt werden. Folgeschäden sind beispielsweise die durch Geschäftsunterbrechungen oder Evakuierungen entstehenden Kosten.

3. Mathematische Modellierung der Schäden

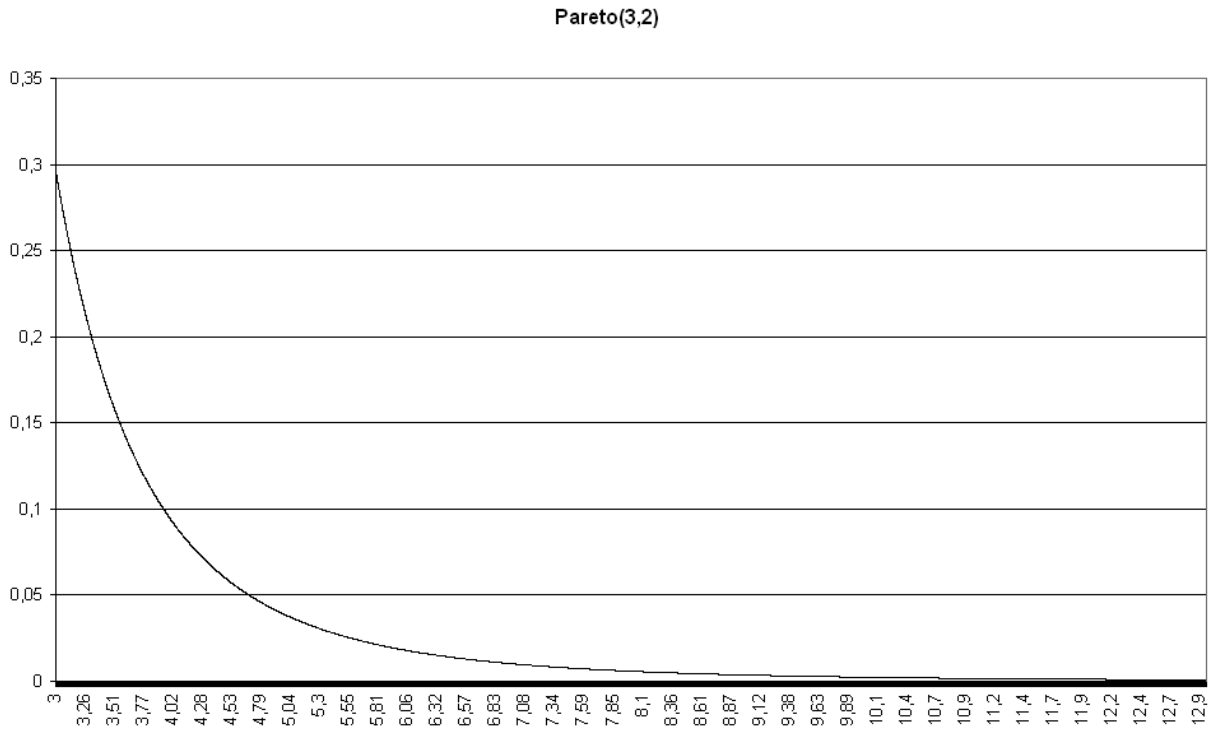
Für die mathematische Modellierung des Risikoreserveprozesses wird im Folgenden das klassische Cramér-Lundberg-Modell mit Pareto-verteilten Schadenhöhen in diskreter Zeit verwendet. Dabei werden die durch Naturkatastrophen verursachten Schäden mit Hilfe der Poissonschen Summenverteilung modelliert. Diese setzt sich zusammen aus den zufälligen Schadenhöhen sowie der zufälligen Schadenanzahl. Der Gesamtschadenprozess lautet dann $S(t) = X_1 + \dots + X_{N(t)}$, mit

- $X_i \sim \text{Par}(a, b)$, $i=1, 2, \dots$ unabhängig und identisch Pareto-verteilte Schadenhöhen,
- $N(t) \sim \text{Poi}(\lambda)$, $t \geq 0$ der homogene Poisson-Prozess, der die Anzahl der Schäden im Zeitintervall $[0, t]$ modelliert.

In Analogie zur EP-Funktion wird der Zusammenhang zwischen Schadenhöhe und zugehöriger Wahrscheinlichkeit hier mittels der Verteilungsfunktion der Pareto-Verteilung dargestellt. Diese ist eine Großschaden-Verteilungen und wird als solche zur Modellierung von extremen Ereignissen verwendet. Großschaden-Verteilungen zeichnen sich durch einen schweren Tail aus, das heißt die Wahrscheinlichkeit für Ereignisse mit großen Schadenhöhen haben verhältnismäßig hohes Gewicht. Folglich hat eine kleine Anzahl von hohen Schäden einen größeren Anteil am Gesamtschaden, als die große Anzahl kleiner Schäden. Weitere Großschaden-Verteilungen sind die Lognormal-Verteilung, die Log-Gamma-Verteilung und die Weibull-Verteilung mit Parameter $\beta < 1$. Die Dichtefunktion der Pareto-Verteilung lautet

$$f(x) = \frac{a}{b} \left(\frac{x}{b} \right)^{-(a+1)}, \quad x > b, a > 0 \quad (1)$$

Für die Parameter $a=3$ und $b=2$ ist die Verteilungsfunktion der Pareto-Verteilung in der folgenden Grafik dargestellt. In diesem Fall gilt $E[X_i]=3$.



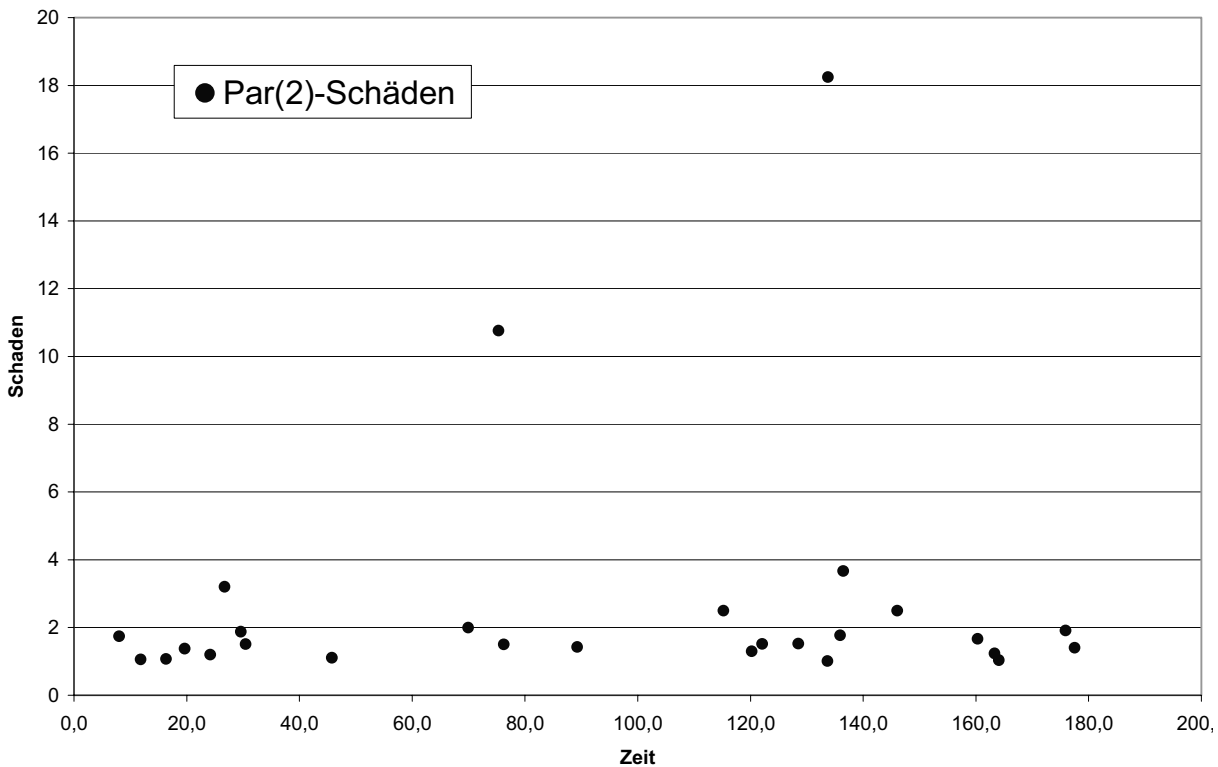
Um einen Schadenverlauf simulieren zu können, muss zusätzlich zur Schadenhöhen-Verteilung noch die Schadenfrequenz modelliert werden. Dies geschieht mittels der Wartezeiten W_i zwischen Ereignis $i-1$ und Ereignis i . Diese sind exponentialverteilt mit Parameter λ . Dann gilt für die mittlere Wartezeit $E[W_i]=1/\lambda$, und die Schadenzahl $N(t)$ ist Poisson-verteilt mit Intensität λ . Die mittlere Anzahl an Ereignissen bis zum Zeitpunkt t ist $E[N(t)]=t\lambda$. Unter Verwendung der Wartezeiten W_i kann man $N(t)$ schreiben als $N(t) = \max \{k: W_1+\dots+W_k \leq t\}$. Der Prozess $S(t)$ wird somit erzeugt durch

- $X_i \sim Par(a,b)$, $i=1,2,\dots$ unabhängig und identisch verteilt und
- $W_i \sim Exp(\lambda)$, $i=1,2,\dots$ unabhängig und identisch verteilt, wobei
- X_i und W_j unabhängig für alle i,j .

Bei der Simulation wird zuerst der jeweils nächste Schadenzeitpunkt ermittelt. Im Anschluss wird für diesen Schadenzeitpunkt eine Pareto-verteilte Schadenhöhe simuliert. Ein mögliches Ergebnis ist in der folgenden Grafik dargestellt.

Im klassischen Cramér-Lundberg-Modell lautet der Risikoreserveprozess $R(t)=s+ct-S(t)$, mit dem Startkapital s und der konstanten Prämienrate c . Dieser Prozess wird für das vorliegende Optimierungsproblem modifiziert.

Plot der Schäden



4. Versicherung versus Vorbeugung

Wie bereits in der Problemstellung beschrieben, muss zwischen den verschiedenen präventiven Maßnahmen abgewogen werden. Risikoreserve und Vorbeugung sind in ihrer Natur völlig verschieden. Im Folgenden wird als Form der Risikoreserve die Versicherung betrachtet. Während die Versicherung die Schadenzahlungen teilweise oder vollständig übernimmt, können vorbeugende Maßnahmen Schadenhöhe und Schadenhäufigkeit günstig beeinflussen. Diese Unterschiede müssen sich im Modell widerspiegeln.

Da Versicherung, Vorbeugung und Konsum miteinander in Bezug gesetzt werden sollen, müssen die Angaben vergleichbar sein. Es ist daher notwendig Schadenhöhen mit und ohne vorbeugende Maßnahmen zu schätzen. Dabei ist darauf zu achten, dass die Einschätzung der Versicherung bei der Prämienkalkulation mit der vom Akteur vorgenommenen Bewertung der durch die Vorbeugung erzielten Risikominderung konsistent ist. Dies entspricht dem Verhalten eines vollkommenen Kapitalmarkts. Eine Möglichkeit dies zu realisieren, ist es, die Netto- $\text{risikoprämie } \Pi(X) = E[X]$ mit den reinen erwarteten Schäden zu vergleichen. Alternativ kann man die Schadenverläufe mit und ohne Vorbeugung mittels zugehöriger Versicherungsprämien bewerten. Verwendet man hierzu beispielsweise das Exponentialprinzip, spiegeln die Prämien auch die Risikoeinstellung wider. Somit wird in diesem Fall der Nutzen der Risikominderung durch die Vorbeugung abgebildet.

5. Auswirkungen von Vorbeugung

Vorbeugende Maßnahmen können die Schadenhöhe mindern. Dies führt zu einer Änderung der Wahrscheinlichkeitsverteilung der Schadenhöhen. Um dies zu modellieren, können die Parameter a und b der Pareto-Verteilung angepasst werden. Anstelle oder zusätzlich zur An-

passung von a und b kann man jeden Schaden um einen festen Betrag vermindern. Das Ergebnis entspricht den Schadenzahlungen einer Police mit Selbstbehalt aus Sicht eines Versicherungsunternehmens.

Eine weitere gewünschte Konsequenz von Vorbeugung ist eine verringerte Schadenfrequenz. Ereignisse die ehemals zu Schäden geführt hätten, verlaufen ohne Folgen. Diesen Effekt kann man ebenfalls auf verschiedene Weisen in das Modell integrieren. Einerseits kann man die Veränderung als echte Verlängerung der Wartezeiten W_i interpretieren. Dies würde eine Erhöhung des Parameters λ erfordern. Andererseits kann man argumentieren, dass die Ereignisse weiterhin eintreten. Somit würde es sich um eine reine Minderung von Schadenhöhen handeln und die entsprechenden oben genannten Maßnahmen wären angezeigt. Auch ein vermeintlicher Anstieg der Schadenhäufigkeit ist denkbar, wenn ein Fehlmeldungen ausgebendes Frühwarnsystem installiert wurde. Solche Lateraleffekte müssen ebenfalls berücksichtigt werden.

Um die durch vorbeugende Maßnahmen erreichte Minderung von Schadenhöhen und Schadenfrequenz zu modellieren, ist auch die alleinige Anpassung des Parameters λ bei Konstanz der restlichen Größen denkbar. Die Erhöhung der Wartezeiten bei gleich bleibender Schadenhöhen-Verteilung würde ebenfalls zu einer Verminderung der Gesamtschäden sowie selteneren Extremereignissen führen.

Es stehen also die Anpassung der Parameter a , b und λ , sowie das Reduzieren der Schadenhöhen als Instrumente zur Verfügung. Die Verwendung mehrerer dieser Möglichkeiten gleichzeitig führt zu einer erhöhten Flexibilität des Modells. Nachteil ist die entstehende Undurchsichtigkeit. Die Abhängigkeiten untereinander gefährden die Allgemeingültigkeit der Ergebnisse, da die Parameter selber sich gegenseitig beeinflussen und der Schadenverlauf von bis zu vier Parametern abhängig ist.

Unabhängig von der konkreten Modellierung bringt Vorbeugung in jedem Fall eine Änderung des Risikoreserveprozesses mit sich. Der Wert reduziert sich um die Ausgaben $k(t)$ für die Maßnahmen. Die Anpassungen der Parameter beeinflusst den Schadenverlauf. Der Wirkungsgrad ist abhängig von der Höhe der Ausgaben für die Maßnahmen. Wird das Risiko des Schadens mittels Versicherung weitergegeben, entfällt die Anpassung des Schadenprozesses. In dem Fall würde sich das verminderte Risiko günstig auf die zu zahlende Versicherungsprämie auswirken.

6. Wohlstand

Eine wichtige Zielgröße im Modell ist der Wohlstand. Betrachtet wird hier der erwartete akkumulierte abdiskontierte Nutzen des Konsums, bis zum Ruinzeitpunkt (oder unendlich)

$$D(t) = E \left[\int_0^{\tau} e^{-rt} u(d(t)) dt \right] \quad (2)$$

mit Stoppzeit τ , Nutzenfunktion u , Konsumfunktion d und Zinsrate r . Da u monoton ist, ist $D(t)$ monoton in $d(t)$. Für eine exponentielle Nutzenfunktion erhält man

$$D(t) = E \left[\int_0^{\tau} e^{-rt} (1 - e^{-\rho d(t)}) dt \right] \quad (3)$$

Die Wahl der Nutzenfunktion ist abhängig vom Entscheider. Die exponentielle Nutzenfunktion repräsentiert einen risikoaversen Akteur. Insbesondere führen Absicherung und Schutz zu einer Nutzensteigerung.

7. Optimierungsproblem

Wie schon in den Abschnitten zur Problemstellung und bei der Gegenüberstellung von Versicherung und Vorbeugung geschildert wurde, gilt es, zwischen den Ausgaben für Risikoreserve, Vorbeugung und Konsum abzuwägen. Dies führt zu einem Optimierungsproblem, welches wesentlich von den Präferenzen der Entscheider abhängt. Ziel ist es, unter Berücksichtigung der Vorstellungen aller beteiligten Akteure eine optimale Entscheidung zu treffen. Da es sich um ein Problem mit mehreren Zielen handelt, ist eine Pareto-optimale Lösung gesucht. Dabei steht Pareto für die Theorie von Vilfredo Pareto, nach dem auch die Pareto-Verteilung benannt ist, und bedeutet hier die Lösung eines multikriteriellen Optimierungsproblems.

Aus Sicht der betroffenen Bevölkerung stellt sich die Frage, ob dynamisch gewählte Methoden zur Risikoreserve und Vorbeugung bei stochastischem Schadenverlauf aus heutiger Sicht trotz etwaigem Konsumverzicht zu einer Nutzensteigerung führen können. Betrachtet man Entwicklungs- und Schwellenländer, so ist auch die Seite von Geberländern einzubeziehen. Es wird vermutet, dass aus ihrer Sicht trotz regelmäßiger Zahlungen für die Finanzierung von präventiven Hilfsmaßnahmen eine Nutzensteigerung zu erreichen ist. Dies geschieht durch eine optimale Planung, welche berücksichtigt, dass Leistungen von Versicherungen und lokale Risikoreserven im Fall einer Katastrophe schneller abrufbar sind und somit insgesamt geringere Kosten entstehen.

Als verschiedene Akteure werden im Folgenden die Bevölkerung eines Drittweltlandes und ein Geldgeber betrachtet. Dabei ist der Planungshorizont der Bevölkerung zwischen 10 und 100 Jahren anzusiedeln, Politiker planen für 4 bis 20 Jahre (oder jeweils unendlich). Zielgrößen der Entscheider sind Konsum, Kosten und Ruinwahrscheinlichkeit. Kriterien sind dabei Stabilität und Nachhaltigkeit. Außerdem müssen die Interessen aller Beteiligten miteinander vereinbart werden. Dazu wird nun auf die individuelle Zielsetzung der einzelnen Akteure eingegangen.

Aufgrund des hohen organisatorischen und logistischen Aufwands ist die Vorbeugung eine Hilfsmaßnahme, die von extern nur schwer zu realisierende ist. Daher wird hier zunächst angenommen, dass dem Geberland als präventive Maßnahme nur die Versicherung zur Verfügung steht. Dies vernachlässigt Prestigeüberlegungen der Financiers.

8. Optimierungsproblem für die Bevölkerung

Im Folgenden wird ein Gedankenexperiment vorgestellt, welches ein Verständnis dafür geben soll, wie die Bevölkerung optimiert. Betrachtet wird ein imaginärer omnipotenter Entscheider, welcher im Sinne der Bevölkerung handelt. Der Agent habe auf das ganze im Land vorhandene Budget Zugriff und sei befähigt für die Bürger zu agieren. Ein Risikoreserveprozess stellt die Entwicklung des insgesamt vorhandenen Kapitals dar. Dieser Prozess wird als das gesamte Finanzvolumen der Bevölkerung interpretiert. Dabei wird nicht zwischen dem Finanzhaushalt der Kommune und den Mitteln der privaten Haushalte unterschieden.

Die mit Versicherung und Konsum verknüpften Bedürfnisse der Bevölkerung lassen sich zusammenfassen als Wunsch nach Sicherheit und Streben nach Wohlstand. Volkswirtschaftliche Theorien gehen davon aus, dass die Gewichtung zwischen diesen Zielsetzungen vom Ent-

wicklungsstand des Landes abhängen. Erst ökonomische und physische Sicherheit ermöglicht einen Wandel weg von rein materiellen Werten, hin zu immateriellen Zielen wie Risikovor-sorge. Da die subjektiv empfundene Steigerung des Wohlstands pro ausgegebener Geldeinheit für wachsenden Konsum abnimmt, bietet sich die Modellierung mittels Nutzenfunktion an. Dem Streben nach Wohlstand steht das Sicherheitsbedürfnis gegenüber. Das Gefühl von Si-cherheit ist allerdings oft stärker an die zeitliche Nähe zur letzten Katastrophe gekoppelt, als an eine realistische Einschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeiten von Naturereignissen. Wenn ein Risiko ein gewisses Maß nicht überschreitet, wird es im Allgemeinen als akzeptabel angesehen. Dies legt die Verwendung einer Schrankenstrategie nahe.

Die Strategie der Bevölkerung wird beeinflusst von obigen Zielen und dem zeitlichen Pla-nungshorizont. Letzterer wird hier auf durchschnittlich 50 Jahre (beziehungsweise unendlich) festgelegt. Dies ergibt sich aus der Lebensdauer (beziehungsweise dem unterstellten Interesse an Fortbestand). Eine langfristige Zeitplanung führt zur Nachhaltigkeit der Strategie.

Für die Optimierung aus Sicht der Bevölkerung eines Drittweltlandes ist aufgrund ihres Ent-wicklungsstandes der Konsum die zu maximierende Zielgröße. Es sind meist keine finanziel-len Mittel für Versicherung oder Vorsorge vorhanden. Daher kann, wenn überhaupt, nur ein Anteil der Kosten für präventive Maßnahmen selbst aufgebracht werden. Hier wird zunächst davon ausgegangen, dass die Finanzierung der Reserve vollständig durch fremde Kapitalge-ber übernommen wird. Dabei handelt es sich wegen der externen Bezuschussung oder Vollfi-nanzierung der Prämien allerdings nicht um einen Versicherungsvertrag im klassischen Sinne. Trotzdem wird die Berechnung durch die einem Versicherungsvertrag mit Selbstbehalt ähnli-che Beschaffenheit erleichtert, da auf vorhandene Resultate zurückgegriffen werden kann.

Nach diesen Überlegungen ergeben sich die Komponenten der Modellierung für die Bevölke-rung eines Entwicklungs- oder Schwellenlandes wie folgt.

- $R(t)$ Risikoreserveprozess mit $\mathcal{F}(t)$ der von $R(h)$ erzeugten σ -Algebra ($h \leq t$),
- s Startkapital,
- $g(i)=g$ Einnahmen / Wertschöpfung zum Zeitpunkt i (bekannt, konstante Rate),
- $d(i)$ Konsum / Verbrauch zum Zeitpunkt i (nicht notwendigerweise konstant),
- X_j^c Höhe des bei der Bevölkerung verbleibenden j -ten Schadens,
- $N(t)$ Anzahl der Schäden in $[0, t]$,
- $\psi(s)$ Ruinwahrscheinlichkeit in Abhängigkeit von s .

Dabei sind die von der Bevölkerung zu tragenden Schadenhöhen von Typ und Deckung der abgeschlossenen Versicherungsverträge abhängig. Unter Verwendung dieser Komponenten lautet der Risikoreserveprozess der Gemeinschaft

$$R(t) = s + g \cdot t - \sum_{i=0}^t d(i) - \sum_{j=1}^{N(t)} X_j^c. \quad (4)$$

Wird ein Teil der Finanzierung der Versicherungsprämie von den Menschen oder dem Staat des Drittweltlandes selbst aufgebracht, so kann dies beispielsweise mit einem konstanten Fak-tor k einfließen. Der externe Kapitalgeber erhöht dann die selbst aufgebrachten Gelder je um den vorab zugesicherten Multiplikator. Dies gibt einen Anreiz zur eigenständigen Bildung von Reserven. Die Modellierung ändert sich wie folgt. Sei

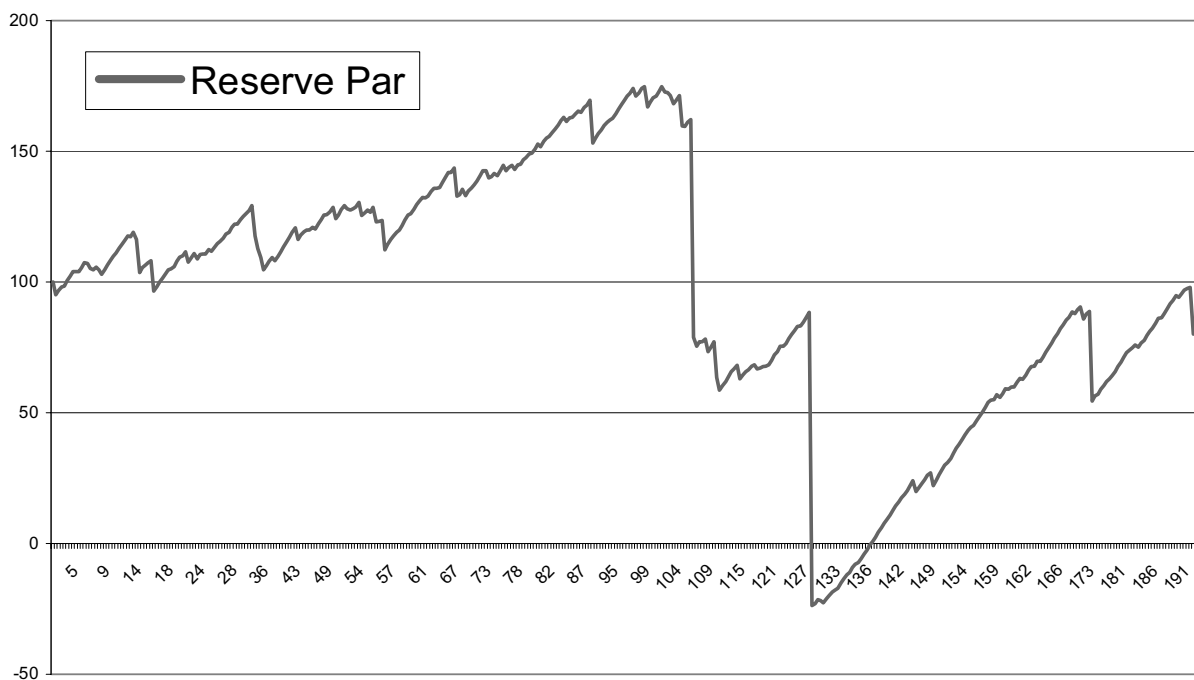
- $k \cdot c(i)$ die selbst aufgebrachte Prämie zum Zeitpunkt i ($\mathcal{F}(t)$ -messbare Zufallsvariable),
- $k \in [0, 1]$ mit $1/k$ dem vom Geldgeber versprochenen Multiplikator für die Prämie.

Mit dieser Erweiterung lautet der Risikoreserveprozess der Gemeinschaft

$$R(t) = s + g \cdot t - \sum_{i=0}^t d(i) - k \cdot \sum_{i=0}^t c(i) - \sum_{j=1}^{N(t)} X_j^c. \quad (5)$$

Als weitere Ergänzung können vorbeugende Maßnahmen einbezogen werden. Der Verlauf der Ausgaben für Versicherungsprämie und Vorbeugung sind Kontrollgrößen. Die Versicherung übernimmt Schadenzahlungen. Vorbeugende Maßnahmen verändern, wie im Abschnitt zu den Auswirkungen von Vorbeugung dargelegt, den Schadenverlauf. Somit beeinflussen beide die Höhe der bei der Bevölkerung verbleibenden Aufwendungen für Schäden. Das Ausmaß von Versicherung und Vorbeugung kann und soll im Rahmen der Optimierung angepasst werden.

Plot des Reserveprozesses



Ein möglicher Risikoreserveprozess ohne Versicherung und Vorbeugung sieht wie folgt aus.

Die Wahrscheinlichkeit dass der Risikoreserveprozess im Betrachtungszeitraum einen negativen Wert annimmt, die Gemeinschaft also Ruin erleidet, bezeichnet man als Ruinwahrscheinlichkeit. Die gewählten Maßnahmen sollten diese Wahrscheinlichkeit in einem akzeptablen Rahmen halten, während sie den Wohlstand maximieren. Es sollen also Versicherung, beziehungsweise Versicherung und Vorbeugung so gesteuert werden, dass der erwartete akkumulierte abdiskontierte Nutzen des Konsums maximiert wird. Dies muss unter Einhaltung einer oberen Schranke α für die Ruinwahrscheinlichkeit $\psi(s)$, also mit der Nebenbedingung $\psi(s) \leq \alpha$ geschehen. Bei $\psi(s) \leq \alpha$ handelt es sich um eine pfadabhängige Nebenbedingung. Für Konsum und Ruinwahrscheinlichkeit wird der Planungshorizont von 50 Jahren (oder unendlich) angewendet.

9. Optimierungsproblem für den Geldgeber

Neben den gerade diskutierten Zielen der Bevölkerung eines Entwicklungs- oder Schwellenlandes werden vor allem externe Geldgeber eigene Kosten-Nutzenüberlegungen anstreben. In einem Drittweltland geht die Finanzierung von Katastrophenschutz und Wiederaufbau nach einer Naturkatastrophe unweigerlich zu Lasten fremder Kapitalgeber, denn diese Staaten kön-

nen die enormen Auswirkungen nicht selbständig bewältigen. Es stellt sich folglich nur die Frage, wann und in welchem Rahmen dem Land geholfen wird, nämlich präventiv oder als Notfallhilfe nach einer Katastrophe, aber nicht ob Zahlungen überhaupt notwendig sind.

Die zu untersuchenden Schäden und Schadeneintrittswahrscheinlichkeiten beruhen auf den Gegebenheiten des geförderten Landes. Auch die Ziele von Geldgebern und Drittweltland weisen Gemeinsamkeiten auf, denn beide Entscheider wollen die Lebensqualität der Bevölkerung des betreffenden Landes verbessern. Indessen hat ein fremder Kapitalgeber noch weitere, eigene Interessen im Sinn. Hintergrund sind die durch seinen Finanzhaushalt auferlegten Beschränkungen. Er kann und möchte nur ein gewisses Budget für die Entwicklungshilfe des Drittweltlandes aufbringen. Der mittels dieses Budgets für die dortigen Menschen erzielte Nutzen soll im Interesse beider Akteure möglichst hoch sein. Während die Bevölkerung des Drittweltlandes den erwarteten abdiskontierten Nutzen des Konsums bei Einhaltung einer Ruinebenbedingung maximieren möchte, stehen für die Geldgeber seine Kosten und die Ruinwahrscheinlichkeit des betroffenen Landes im Vordergrund. Die Ausgaben für die Subventionierung gehen vom Staatshaushalt des Geberlandes ab. Daher ist es im Interesse des Financiers, diese Kosten möglichst gering zu halten. Zusätzlich zielt das Geberland darauf ab, mit Hilfe dieser Gelder im geförderten Land die Wahrscheinlichkeit eines Ruins durch eine Katastrophe zu minimieren, um die Notwendigkeit weiterer finanzieller Hilfe möglichst zu vermeiden.

Die Komponenten der Optimierung eines Geberlandes entsprechen in weiten Zügen denen für die Optimierung der Bevölkerung des Drittweltlandes. Der zu Grunde liegende Risikoreserveprozess bleibt im Wesentlichen unverändert, da die Überlegungen zum Ruin nicht basierend auf dem Staatshaushalt der Geldgeber, sondern basierend auf der Reserve der unterstützten Bevölkerung angestellt werden.

Allerdings gilt abzuwägen, ob der Konsum weiterhin als Prozess, oder besser als konstante Rate modelliert werden sollte. Für die Darstellung als Prozess spricht, dass dadurch das Modell flexibler ist und dass die Bedürfnisse der Bevölkerung des Drittweltlandes gesondert berücksichtigt werden können. Dagegen spricht, dass dies zu unrealistischen Verzerrungen führen mag. Setzt man voraus, dass die betroffene Bevölkerung am absoluten Existenzminimum lebt, so besteht keine Möglichkeit zur Beteiligung an Prämienzahlungen. Daher hätten Einkommens- und Konsumschwankungen keinen Einfluss auf die Modellierung der präventiven Maßnahmen. Man könnte in diesem Fall davon ausgehen, dass zusätzliche Wertschöpfung sofort konsumiert wird und keine Änderung der Reserve ergibt. Somit ist es plausibel, Einkommen und Konsum in diesem Zusammenhang als konstant anzunehmen.

Die Einflussnahme des Geldgebers erfolgt über die Steuerung seiner gesamten Ausgaben. Diese setzen sich zusammen aus den akkumulierten, abdiskontierten Kosten für Versicherung beziehungsweise Versicherung und Vorbeugung, sowie den Kosten bei Ruin des Drittweltlandes. Letztere sind abhängig von den Schäden, sowie Höhe und Deckung der abgeschlossenen Versicherungsverträge. Es ist also Ruin nicht immer gleich Ruin.

Der Zeithorizont für die Optimierung aus Sicht des Geberlandes mag politisch motiviert sein, was zu einem Planungshorizont von 4 bis 20 Jahren führen würde, er kann aber plausibler Weise auch auf dem Interesse an Nachhaltigkeit beruhen und damit unendlich betragen.

Es gibt nun verschiedene Möglichkeiten, das Optimierungsproblem aufzustellen. Eine Option ist es, die gesamten Ausgaben für Subventionen zu minimieren, unter Einhaltung einer Schranke für die maximale Ruinwahrscheinlichkeit des Risikoreserveprozesses des Drittweltlandes. Die Kontrollgröße „Kosten“ ist also die zu optimierende Zielfunktion.

Alternativ könnten die Interessen des Geberlandes dargestellt werden durch die Minimierung der Ruinwahrscheinlichkeit für den Risikoreserveprozess der subventionierten Bevölkerung. In Hinblick auf die Armut des Drittweltlandes sollte berücksichtigt werden, dass der Konsum der Bevölkerung ein Mindestmaß nicht unterschreiten darf. Dies kann durch Festlegen einer unteren Schranke für den Konsumprozess repräsentiert werden. Somit stellt sich die Aufgabe, die Ruinwahrscheinlichkeit des Risikoreserveprozesses zu minimieren, unter der Nebenbedingung eines minimalen Konsums in Höhe von D , also $d(t) \geq D$ für alle t . Plausibel ist auch, den Konsum mit dem Reichtum des Landes in Bezug zu setzen. Dies führt zu der modifizierten, pfadabhängigen Nebenbedingung $D \geq c \cdot s$, wobei $c \in [0, 1]$ einen festen prozentualen Anteil der Reserve darstellt.

Geht man davon aus, dass sich das Drittweltland zu einem festen Anteil an den Prämien beteiligen muss, und ein minimaler Konsum der Bevölkerung des Drittweltlandes vorgegeben ist, so ergibt sich daraus eine Beschränkung der Ausgaben für Versicherung und Vorsorge.

10. Optimierungsproblem für eine Versicherung

Ein der gerade vorgestellten Optimierungsaufgabe ähnliches Problem wurde in einem anderen Rahmen in [4] untersucht. Es werden im diskreten Modell die akkumulierten abdiskontierten Dividenden eines Versicherungsunternehmens unter Einhaltung einer Ruinnebenbedingung maximiert. Die Modellgrößen sind dabei

- $R(t)$ Risikoreserveprozess des Versicherungsunternehmens mit erzeugter Filtration $\mathcal{F}(t)$,
- $X_i, i=1, 2, \dots$ unabhängig und identisch verteilte Schäden pro Periode, nichtnegativ und ganzzahlig,
- c akkumulierte Versicherungsprämien pro Periode, positiv und ganzzahlig,
- s Startkapital, nichtnegativ und ganzzahlig,
- $d(t)$ Dividende, zu Beginn von Periode $t+1$ bezahlt ($\mathcal{F}(t)$ -messbare Zufallsvariable),
- $\psi(s)$ Ruinwahrscheinlichkeit für endliche oder unendliche Zeit.

Der Risikoreserveprozess lautet dann

$$R(t) = s + c \cdot t - \sum_{i=0}^t d(i) - \sum_{i=1}^t X_i. \quad (6)$$

Aus [4] ist bekannt, welche Hamilton-Jacobi-Bellman Gleichung zur Lösung dieses Kontrollproblems mit Nebenbedingungen aufgestellt und gelöst werden muss. Es wird die optimale Dividendenstrategie berechnet, für welche eine vorgegebene maximale Ruinwahrscheinlichkeit eingehalten wird.

11. Ausblick

Die Lösung der aufgestellten Optimierungsprobleme soll in diskreter Zeit bestimmt werden. Gesucht sind Pareto-optimale dynamische Verteilungsstrategien. Für die Lösung sollen die aus [4] bekannten Verfahren modifiziert werden.

Außerdem könnten die obigen Optimierungsprobleme so zusammengefasst werden, dass mehr als eine pfadabhängige Nebenbedingung angegeben wird. Ein derartiges Optimierungsproblem wäre beispielsweise im Fall der Bevölkerung folgendermaßen denkbar. Man steuere die Versicherung so, dass der erwartete akkumulierte abdiskontierte Nutzen des Konsums maximiert wird, unter den Nebenbedingungen $\psi(s) \leq \alpha$ für die Ruinwahrscheinlichkeit und $D \geq c \cdot s$ für den Konsum.

Literatur

- [1] Embrechts P., Klüppelberg C., Mikosch T. (2001) Modelling Extremal Events for Insurance and Finance, Corrected Third Printing 2001.
- [2] Gerber H.-U. (1979) An Introduction to Mathematical Risk Theory. Huebner Foundation Monograph 8, Wharton School, University of Pennsylvania.
- [3] Grossi P., Kunreuther H. (2005) Catastrophe Modeling: A New Approach to Managing Risk.
- [4] Hipp C. (2003) Optimal Divided Payment under a Ruin Constraint: Discrete Time and State Space. ASTIN Colloquium Berlin.
- [5] Oksendal B., Sulem A. (2007) Applied Stochastic Control of Jump Diffusions, Second Edition 2007.
- [6] Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft (2007) NatCatSERVICE 2007.

Vulnerabilitätsmodellierung von Versorgungsinfrastruktur

Egbert Groß

Universität Karlsruhe (TH), Institut für Technologie und Management im Baubetrieb, Am Fasanengarten, 76128 Karlsruhe, Deutschland, E-Mail: egbertgross@gmx.de, Telefon: +49(0)721/5042565

Kurzfassung

Für die Wasserversorgung als eine der so genannten kritischen Infrastrukturen wird ein Ansatz beschrieben, mit dem die etwaigen Auswirkungen betrieblicher Extremsituationen, Naturkatastrophen sowie der Folgen von Terror und Sabotage bezüglich der Häufigkeit und Dauer von Versorgungsunterbrechungen sowie der daraus entstehenden Kosten berechnet werden können.

An Hand eines Beispiels (Rohrbruch in Förderleitung) werden die für die Berechnung relevanten Alarm-, Reaktions-, Reparatur- und Normalisierungszeiten definiert und Hinweise zu den während des Ereignisses unterschiedlichen hydraulischen Systemen gegeben. Anschließend wird für die Verbrauchs- und Behälterfüllstandsganglinien sowie die vorhandene Steuerung die Zeit ermittelt, innerhalb der der für die Versorgung maßgebliche Hochbehälter leer gelaufen und damit die Wasserversorgung unterbrochen worden wäre.

Der Stand der Technik wird bezüglich vorhandener hydraulischer Simulationsmodelle, Bewertungssysteme für Rohrleitungen, Zuverlässigkeitsanalysen und Kostenansätze für Ausfälle und Schäden im Bereich der Wasserversorgung geschildert.

Die Vulnerabilitätsmodellierung umfasst zunächst die Berechnung von Häufigkeit, Dauer und Auftretenszeitpunkt von Versorgungsunterbrechungen sowie der betroffenen Gebiete.

Die dadurch der Bevölkerung sowie Gewerbe und Industrie etc. entstehenden Kosten können vom Anwender detailliert vorgegeben werden. Mit der Vulnerabilitätsmodellierung wird dann für eine Vielzahl möglicher Maßnahmen das Optimum hinsichtlich der aus Betrieb und Versorgungsunterbrechungen resultierenden Kosten gefunden.

Anmerkungen zu Betriebsorganisation und Naturkatastrophenszenarien runden die Arbeit ab.

Stichworte

Vulnerabilitätsmodellierung, Versorgungsinfrastruktur, kritische Infrastrukturen, Zuverlässigkeitsanalysen Wasserversorgung, hydraulische Systeme, Ausfallkosten, Naturkatastrophen

1. Motivation

„Kritische Infrastrukturen sind Organisationen und Einrichtungen mit wichtiger Bedeutung für das staatliche Gemeinwesen, bei deren Ausfall oder Beeinträchtigung nachhaltig wirkende Versorgungsengpässe, erhebliche Störungen der öffentlichen Sicherheit oder andere dramatische Folgen eintreten würden. Nur wenn kritische Infrastrukturen wie Transport und Verkehr, Energie, Gefahrenstoffe, Informationstechnik und Telekommunikation, Finanz-, Geld- und Versicherungswesen, Versorgung, Behörden, Verwaltung und Justiz, Sonstiges ohne wesentliche Beeinträchtigungen verfügbar bzw. vor weit reichenden Schäden geschützt sind, können Staat und Wirtschaft uneingeschränkt ihre Aufgaben erfüllen.“ (Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik 2007). Zwischen den oben genannten kritischen Infrastrukturen bestehen intensive Wechselwirkungen (vgl. Peerenboom 2001). Obwohl in Ländern wie der

Bundesrepublik Deutschland Ausfälle von Infrastruktureinrichtungen in der Regel auf wenige Stunden im Jahr begrenzt sind, können längerfristige Ausfälle möglich sein – verwiesen wird hier auf die Stromausfälle im Münsterland im November 2005 oder auf die Einschränkungen in der Wasserversorgung nach der Flutkatastrophe im Erzgebirge 2002.

Diese Arbeit richtet den Fokus auf die Vulnerabilität (Verletzlichkeit) der Trinkwasserversorgung. Trinkwasser ist das wichtigste Lebensmittel. Daher ist die Versorgung der Bevölkerung mit qualitativ einwandfreiem Trinkwasser in der erforderlichen Menge und mit ausreichendem Druck in entsprechenden Normen und Verordnungen geregelt (AVBWasserV 1980, DVGW¹ 2000). Neben Naturkatastrophen können auch Terroranschläge und Sabotage von Einrichtungen sowie der Ausfall zentraler Komponenten (Brunnen, Wasserwerke, Pumpstationen), Rohrbrüche in wichtigen Förderleitungen sowie ggf. Wartungs-, Reparatur-, Umbau- und Erweiterungsarbeiten zu Unterbrechungen in der Wasserversorgung führen.

Ziel dieser Arbeit ist es, ein Programm zu entwickeln, mit dem Extremsituationen hinsichtlich Dauer und Häufigkeiten etwaiger Versorgungsunterbrechungen rechnerisch nachvollzogen, die dabei dem Wasserversorgungsunternehmen (WVU) und dessen Kunden entstehenden Kosten ermittelt und Maßnahmen zur Erhöhung der Versorgungssicherheit bewertet werden können. Dabei werden lediglich quantitative Aspekte betrachtet, d.h. auf Änderungen der Wasserqualität wird nicht eingegangen.

2. Beispiel Rohrbruch

Das geplante Vorgehen sowie die dabei zu bewältigenden Aufgaben werden an einem vereinfachten Beispiel eines tatsächlich aufgetretenen Rohrbruchs in einer Förderleitung mit einem Innendurchmesser von 250 mm (DN 250) veranschaulicht (Abb. 1).

2.1 Beschreibung des Beispiels

An einem Samstagmorgen gegen 2.30 Uhr ereignete sich an der in Bild 1 skizzierten Stelle ein Rohrbruch, durch den schlagartig etwa 110 l/s ausflossen. Das Personal des Bereitschaftsdienstes (ein Mann in Rufbereitschaft) erhielt gegen 2.45 Uhr² die Meldung „Verbrauch in Zone 2 über Grenzwert“. Nach Ankleiden und Anreise zur Zone 2 wurde die knapp 3 km lange Trasse der Leitung DN 250 zwischen dem Bauwerk mit der Durchflussmessung und dem Hochbehälter (HB) 2 nach Wasseraustritten abgesucht. Auf Grund der besonderen Lage des Rohrbruchs in einem entlang eines Flusses verlaufenden Straßenabschnitt konnte sich das austretende Wasser einen Weg unter der Straße durch zur Flussböschung bahnen und war daher auf den aus dem Fahrzeug einsehbaren Straßen- und Geländeoberflächen nicht feststellbar. Der Rohrbruch konnte dann schließlich lokalisiert werden, indem der Diensthabende im Bereich des zum Fluss parallel verlaufenden Abschnitts in regelmäßigen Abschnitten das Fahrzeug verließ und dann plätscherndes Wasser hörte. Bis zum Schließen der betreffenden Absperrschieber waren 60 Minuten vergangen, der Wasserverlust zwischen 2.30 und 3.30 Uhr betrug etwa 400 m³ bei einem Hochbehälterinhalt von etwa 650 m³.

¹ DVGW: Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. Technisch-wissenschaftlicher Verein.

² Bei diesem WVU erfolgen Alarmmeldungen erst dann, wenn die Verbrauchsgrenzwerte länger als 15 Minuten überschritten werden. Dieses Vorgehen wurde gewählt, um die für jede Verbrauchszone separat wählbaren Grenzwerte möglichst gering einstellen zu können, ohne dass bei kurzzeitigen Verbrauchsspitzen Alarmmeldungen ausgegeben werden.

Ab etwa 4.00 Uhr waren mehrere Personen sowie ein Bagger vor Ort, um die Leitung zu reparieren. Diese konnte dann gegen 12.20 Uhr wieder in Betrieb genommen werden. Der Behälterwasserstand im HB 2 erreichte gegen 14.30 Uhr wieder die Hälfte des maximalen Wasserstands.

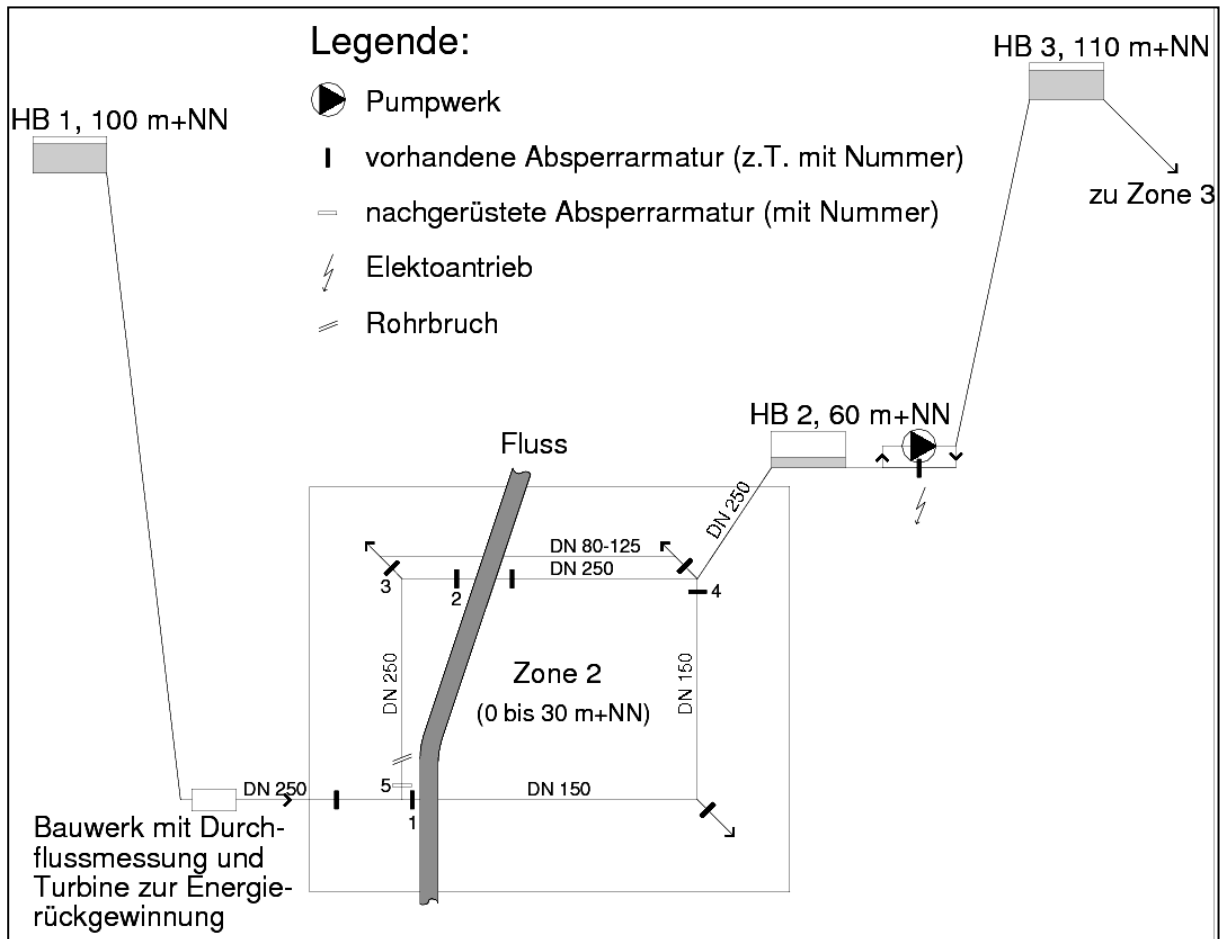


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Beispielnetzes mit einem Rohrbruch in einer Leitung DN 250.

Während der Reparaturarbeiten konnte der HB 2 wegen der fehlenden Absperrarmatur Nr. 5 auf Bild 1 nicht über die Leitung DN 150 aus dem HB 1 befüllt werden, da Schieber 1 wegen des Rohrbruchs geschlossen werden musste. Ein Leerlaufen des HB 2 infolge des Wasserverbrauchs der Bevölkerung während der Reparaturzeit konnte jedoch verhindert werden, weil eine Rückspisemöglichkeit aus HB 3 besteht.³

2.2 Definition Alarm-, Reaktions-, Reparatur- und Normalisierungszeit

Die **Alarmzeit** (im Beispiel 15 Minuten) umfasst den Zeitraum zwischen dem Ereignis und der Abgabe des Alarms und hängt stark von der Mess-, Steuer- und Regeltechnik (MSR) des Wasserversorgungssystems bzw. der betroffenen Zone ab. In Deutschland üblich sind Durchfluss- (Meldung bei Überschreitung eines Grenzwertes), Füllstands- (Meldung bei Absinken des Wasserspiegels unter einen Grenzwert) und Druckmessungen (Druck unterschreitet Vorgaben an ausgewählten Punkten im Netz) bzw. Kombinationen davon. Zusätzlich sind Hin-

³ Bei Normalbetrieb wird der HB 3 über das in HB 2 eingebaute Pumpwerk befüllt. Für Notfälle wurde jedoch der erwähnte Bypass geschaffen. Da bei sehr seltenen Fließrichtungswechseln Ablagerungen mitgerissen werden (Braunwasser), wird hier über die Steuerung automatisch einmal wöchentlich für einige Minuten die elektrisch angetriebene Armatur in HB 2 geöffnet, so dass Wasser aus HB 3 in den HB 2 zurückfließt.

weise aus der Bevölkerung zu beachten.⁴ Die **Reaktionszeit** umfasst die Zeit zwischen Erhalt des Alarms und der Einleitung erster Maßnahmen (im Beispiel 45 Minuten). Diese können von der Anlagensteuerung vollautomatisch oder bei zeitweise oder ständig besetzten Leitwarten ferngesteuert eingeleitet werden, sofern z.B. Armaturen mit entsprechenden Antrieben versehen sind. Vielfach ist bei Rohrbrüchen jedoch eine Anfahrt zum Ort des Ereignisses sowie ggf. sogar wie im oben geschilderten Beispiel das Ermitteln der Schadstelle und das anschließende manuelle Schließen der Absperrarmaturen erforderlich. Während der **Reparaturzeit** (im Beispiel nahezu 9 Stunden) müssen i.d.R. Geräte, Werkzeuge, Ersatzteile und zusätzliches Personal antransportiert, die Leitung repariert und wieder gefüllt werden. Alarm- und Reaktionszeit haben meist eine Dauer zwischen Sekunden bis zu einer oder einigen Stunden; für (zumindest provisorische) Reparaturen sind meist einige Stunden anzusetzen. In einigen Fällen besteht auch nach Ende der Reparaturarbeiten die Möglichkeit eines Systemversagens, wenn z.B. dann Zeiträume auftreten, in denen der Wasserverbrauch über der maximal möglichen Einspeisung in die Wasserbehälter einer Versorgungszone liegt. Die **Normalisierungszeit** (im Beispiel ca. 2 Stunden) kann ebenfalls mehrere Stunden andauern.

2.3 Auswertung des Beispiels

Da im Tagesverlauf sowohl der Wasserverbrauch als auch jeweils die Menge des in den Behältern gespeicherten Wassers variiert, wurde der zuvor geschilderte Rohrbruch an Hand der vor Ort realisierten Steuerung sowie der ortsüblichen Verbrauchsganglinie jeweils stündlich zur vollen Stunde angesetzt.

Der HB 2 wird vorrangig zwischen 21 und 6 Uhr (niedrigere Strompreise) sowie zwischen 6 und 9 Uhr, 11 und 13 Uhr und 17 und 18.30 Uhr befüllt. Während dieser Zeitspannen wird der Wasserspiegel ständig zwischen 3,50 und 4,00 Meter gehalten. In den sonstigen Zeiten wird bei Unterschreitung von 2,70 Meter Wasserstand der Behälter wieder auf dann aber nur 3,00 Meter gefüllt. Die Berechnungen erfolgten mit Ausgangsfüllmengen im HB 2 von minimal 463 bzw. 444 m³ (um 17 bzw. 21 Uhr) bzw. maximal 645 m³ (nachts) und einem Wasserverbrauch zwischen 5,7 (zwischen 3 und 4 Uhr) und 56,6 m³/Stunde (zwischen 7 und 8 Uhr). Die Summe aus Alarm- und Reaktionszeit wurde unabhängig von der Tageszeit mit 60 Minuten angesetzt, daraus folgt ein rohrbruchbedingter Wasserverlust von 396 m³. Dieser beträgt zwischen 61 und 89% des bei Rohrbruchbeginn vorhandenen Speichervolumens. Daraus folgt bereits, dass die Alarm- und Reaktionszeit in diesem Beispiel erheblichen Einfluss darauf haben, ob der Rohrbruch zu einer Unterbrechung der Wasserversorgung führt.⁵

Die Befüllung des HB 3 aus dem HB 2 wurde zu den Zeiten berücksichtigt, in denen sie stattfindet – jedoch nur solange der HB 2 mehr als zu 50% gefüllt ist. Danach schaltet die Pumpe automatisch ab.

⁴ Bei geringem Versorgungsdruck, Unterdruck, Entdecken von Wasseraustritten, bei Schäden wie Straßeneinbrüchen oder überfluteten Kellern kann es zu Meldungen aus der Bevölkerung kommen, wenn die Person, die entsprechende Feststellungen macht, das WVU informiert.

⁵ Ohne die vor einigen Jahren installierte Durchflussüberwachung wäre der Alarm erst bei Unterschreiten eines Grenzwasserspiegels im Hochbehälter abgegeben worden. Bei einem üblichen Grenzwert von 50% des maximalen Wasserspiegels wäre der Hochbehälter dann 49 Minuten nach Abgabe des Alarms leer gelaufen gewesen.

In Tabelle 1 werden die bis zum vollständigen Leerlaufen des HB 2 ermittelten Zeitdauern ohne sowie mit Rückspeisung aus HB 3 dargestellt. Die Rückspeisung wurde während der 2. Stunde nach Ereignisbeginn mit 17,3 m³/h, während der 3. bis 8. Stunde mit 37,4 m³/h angesetzt. Dieser Ansatz entspricht exakt den Mengen, die während des tatsächlich statt gefundenen Ereignisses zurückgespeist wurden. Anschließend wurde keine Rückspeisung mehr angenommen, da die Kapazitäten des HB 3 ebenfalls endlich sind und dieser vorrangig der Versorgung der Zone 3 dient.

Tabelle 1: Ermittelte Zeitdauern bis zum Leerlaufen des HB 2 aus Bild 1 mit Simulation eines Auftretens des Rohrbruchs jeweils zur vollen Stunde. Die Spalten „Dauer 1“ wurde ohne, die Spalten „Dauer 2“ mit der oben beschriebenen Rückspeisung berechnet.

Rohrbr.	Dauer 1	Dauer 2	Rohrbr.	Dauer 1	Dauer 2	Rohrbr.	Dauer 1	Dauer 2
(Uhr)	(hh:mm)	(hh:mm)	(Uhr)	(hh:mm)	(hh:mm)	(Uhr)	(hh:mm)	(hh:mm)
0	8:38	14:19	8	5:39	11:49	16	3:16	15:09
1	8:31	14:19	9	5:42	12:17	17	1:48	13:48
2	8:05	13:57	10	4:16	10:39	18	4:00	14:46
3	6:41	12:30	11	2:48	8:58	19	8:42	15:09
4	5:56	11:47	12	3:42	10:58	20	6:42	14:01
5	5:08	11:00	13	4:53	17:08	21	1:55	12:13
6	4:43	10:39	14	6:12	17:47	22	8:51	14:03
7	5:01	11:03	15	4:43	16:28	23	9:17	14:54

Tabelle 1 zeigt, dass die im schlechtesten Fall zur Reparatur zur Verfügung stehende Zeit (bezogen auf den Beginn des Rohrbruchs) durch die Rückspeisung von ca. 1 ³/₄ auf etwa 9 Stunden erhöht wird. Besonders zu beachten ist, dass bei der Variante ohne Rückspeisung weder ein Rohrbruch zur Zeit des höchsten Verbrauchs (zwischen 7 und 8 Uhr) noch ein Rohrbruch zum Zeitpunkt des geringsten Behälterinhalts (21 Uhr), sondern ein Rohrbruch um 17 Uhr am schnellsten zum Leerlaufen des HB 2 und damit zum Ausfall der Wasserversorgung führt. Dieses gilt entsprechend auch für die Variante mit Rückspeisung, bei der ein Rohrbruch um 11 Uhr maßgeblich wird.

Hydraulisch gesehen liegen zwei unterschiedliche Systeme vor: Vor Schließen der Armaturen neben der Wasserentnahme der Bevölkerung der Rohrbruch mit der maximal möglichen Ausflussmenge, verbunden mit erheblichem Druckabfall (evt. auch Unterdruck) in größeren Teilen der Versorgungszone. Anschließend durch die nach Schließen der Armaturen nicht mehr nutzbaren Leitungsabschnitte ein völlig anderes hydraulisches Restsystem, hier mit der konkreten Randbedingung, dass der HB 2 nicht mehr auf dem üblichen Weg gefüllt werden kann. Bei Betrachtung der Kostenseite stellen sich auf Grund des Beispiels u.a. Fragen bezüglich des finanziellen Nutzens der durchflussabhängigen Alarmierung sowie der Rückspeisemöglichkeit aus HB 3 in HB 2, durch deren Kombination ein Leerlaufen des HB 2 und damit eine Unterbrechung der Wasserversorgung vermieden wurde. Verallgemeinert kann man entsprechende Kosten- Nutzenrechnung für einen längeren Zeitraum von z.B. 20 Jahren sowie für die nach dem Rohrbruch ergänzte Absperrarmatur (vgl. Bild 1) anstellen.

3. Stand der Technik

3.1 Hydraulische Simulation

Für die hydraulische Simulation von Betriebszuständen von Trinkwasserversorgungsnetzen stehen diverse Netzanalyseprogramme zur Verfügung. Diese bilden das reale Netz mit Knoten und Strängen⁶ ab, berücksichtigen den Wasserbedarf innerhalb des Netzes, Einspeisungen, Pumpen, die Wasserspeicherung in Behältern und ermitteln die Flussverteilung im Netz sowie die Druckhöhen an den einzelnen Knoten. Mit nahezu allen Programmen können Tagesganglinien der Einspeisungen, des Pumpenbetriebs, der Verbräuche, Flussverteilungen und Druckhöhen berechnet werden. Spezialanwendungen sind in der Lage, weitergehende Fragestellungen wie Druckstoßberechnungen, Rohrbrüche, Wasserqualitätsuntersuchungen (konstant bleibender Parameter wie z.B. Härte oder Nitrat sowie veränderlicher Parameter wie z.B. Chlor) oder die oft komplexe Anlagensteuerung zu bearbeiten.

Stationäre Berechnungen bilden lediglich eine Momentaufnahme des Netzzustandes ab. Quasistationäre Berechnungen verketteten mehrere stationäre Berechnungen und berücksichtigen z.B. den zeitlichen Verbrauch im Laufe der Zeit, Einspeisungen aus Brunnen und Wasserwerke ins Netz sowie Zu- und Abflüsse der Speicherbehälter. Typische quasistationäre Berechnungen erfolgen z.B. über einen Verbrauchstag. Druckstoßberechnungen dagegen erfordern sehr kurze Berechnungsschritte während des Ereignisses.

Zur Verminderung der Rechenzeit sind Netzvereinfachungen sinnvoll bzw. erforderlich wie z.B. von Deuerlein (2006) beschrieben.

Obwohl in obigem Beispiel der Rohrbruch modelltechnisch lediglich an einem Strang auftrat, musste in der Praxis dennoch in 5 Strängen der Durchfluss unterbunden werden. Dies liegt daran, dass bei der Netzmodellierung die Knoten in aller Regel bei Verzweigungen, Änderungen des Leitungsdurchmessers, -werkstoffs etc., Entnahmepunkten oder Bauwerken gesetzt werden. Die Absperrarmaturen sind jedoch – wenn vorhanden – nahezu immer neben den Verzweigungen angeordnet. Sobald bei der Simulation von Rohrbrüchen die zu schließenden Armaturen vom Programm automatisch erkannt werden sollen, sind die Armaturen modelltechnisch wie z.B. von Walski et al. (2006) beschrieben zu berücksichtigen.^{7 8}

3.2 Bewertungssysteme für Wasserrohrnetze, Zuverlässigkeitsanalysen

Ziel der Bewertungssysteme (Mischner et al. 2006, siehe auch DVGW 2006a) ist, an Hand von Schadensstatistiken etc. den wirtschaftlich optimalen Zeitpunkt zur Erneuerung einer Rohrleitung anzugeben. Dabei werden die mit dem Alter ansteigende Häufigkeit von Rohrbrüchen und Leckagen⁹ einschließlich jeweils deren Reparaturkosten und Wasserverluste auf

⁶ Stränge sind Leitungsabschnitte. An Strängen werden die Druckverluste und die Durchflüsse berechnet. Knoten begrenzen und verbinden die Stränge, an Knoten werden die Drücke ermittelt.

⁷ Nur so können mit vertretbarem Aufwand z.B. Rohrbrüche in allen Strängen ab einer festgelegten Nennweite (z.B. 150 mm) automatisch simuliert werden.

⁸ In der Praxis sind Absperrarmaturen z.T. schwergängig oder gar nicht mehr funktionsfähig; außerdem können sie je nach Lage im Verkehrsraum schwer oder gar nicht zugänglich (z.B. zugeparkt) sein. Diese Sachverhalte können ggf. zur Erhöhung der Berechnungsgenauigkeit mit unterschiedlichen Kennungen berücksichtigt werden.

⁹ In diesem Zusammenhang sollen Rohrbrüche als Ereignisse betrachtet werden, bei denen der Wasserverlust so hoch ist, dass unverzügliche Reparatur erforderlich ist (hoher Wasserverlust, geringer oder fehlender Netzdruck). Als Leckagen werden dagegen kleinere Undichtheiten bezeichnet, die vorwiegend durch den ständigen Wasserverlust Kosten verursachen, wegen der Gefahr, dass bei anderweitigen Netzentleerungen an diesen Stellen Schmutz in die dann drucklose Leitung gelangen kann, aber gesucht und repariert werden müssen.

der einen Seite mit den Kosten für Leitungserneuerungen verglichen. Als Nebenbedingung gestatten einige Programme, die hydraulische Bedeutung einer konkreten Leitung mit in die Ermittlung des optimalen Rehabilitationszeitpunktes aufzunehmen. So gestatten z.B. die Programme Failnet-Reliab (Cemagref Bordeaux), RelNet (TU Brunn) und Aquarel (SINTEF Trondheim) die Ermittlung der betroffenen Gebiete, wobei lediglich bei Aquarel die Hochbehälterinhalte und eine durchschnittliche sowie maximale Reparaturzeit berücksichtigt werden können (vgl. Eisenbeis et al. 2002, 2003 und 2004).¹⁰

3.3 Kosten

Auf der Kostenseite werden die direkten Reparatur- und Erneuerungskosten für Rohrleitungen z.B. von den zuvor genannten Bewertungssystemen erfasst. Für die Maschinen- und Elektrotechnik liegen ebenfalls Berechnungsmethoden vor (vgl. DVGW 2006b).

Ein Ansatz der American Water Works Association (2002) unterscheidet zwischen den Kosten, die dem WVU direkt entstehen (Rechtsansprüche, Wasserverluste, Verkehrssicherung, Reparatur, Ersatzwasserversorgung, Ersatzanlagen), den regelmäßigen sozialen Kosten (Verkehrsstaus infolge von Rohrbrüchen und deren Reparatur, finanzielle Folgen der Versorgungsunterbrechung für die Kunden) sowie seltenen sozialen Kosten (Gesundheit, Überflutungsschäden an Gebäuden und Autos, fehlende Löschwasserversorgung). Sämtliche genannte Einzelkosten können mit Hilfe der beigefügten Exceldateien quantifiziert werden. Ohne Verknüpfung dieses Ansatzes mit einem hydraulischen Programm müssen z.B. die Anzahl der betroffenen Anwesen, Häufigkeit und Dauer der Versorgungsunterbrechungen etc. jeweils von Hand in die Excel-Dateien eingetragen werden. Dieses Vorgehen ist allenfalls bei Betrachtung einzelner Leitungen praktikabel. Sollen ganze Netze betrachtet werden, muss eine Koppelung an Programme erfolgen, die Zuverlässigkeitsanalysen ermöglichen.

4. Geplante Weiterentwicklung

4.1 Zielsetzung

Die „Allgemeinen Versorgungsbedingungen Wasser“ (AVBWasserV 1980) legen fest:

Das Wasserversorgungsunternehmen (WVU) ist verpflichtet, Wasser im vereinbarten Umfang jederzeit am Ende der Anschlussleitung zur Verfügung zu stellen. Dies gilt nicht soweit zeitliche Beschränkungen zur Sicherstellung der öffentlichen Wasserversorgung erforderlich oder sonst vertraglich vorbehalten sind und soweit und solange das Unternehmen durch höhere Gewalt oder sonstige Umstände, deren Beseitigung ihm wirtschaftlich nicht zugemutet werden kann, gehindert ist.

Daraus ergibt sich, dass eine hohe Versorgungssicherheit unter der Randbedingung der Wirtschaftlichkeit gefordert wird. Hier nicht explizit genannt, aber ebenfalls einzuhalten sind Randbedingungen bezüglich der Wasserqualität und der Nachhaltigkeit. Letztlich führt der Zielkonflikt zwischen hoher Versorgungssicherheit zu möglichst geringen Kosten dazu, dass bei nahezu allen betrieblichen Fragestellungen die möglichen Varianten entsprechend bewertet werden müssen.

¹⁰ Programme wie Relnet, Aquarel und Failnet-Reliab ermitteln relativ pauschal den Anteil der Versorgungsunterbrechungen (z.B. 0,4%). Dabei werden weder die noch nutzbaren Behältervolumina noch die Tatsache berücksichtigt, dass z.B. der Ausfall einer Leitung lediglich tagsüber bei höherem Wasserverbrauch zu Versorgungsunterbrechungen führen kann.

4.2 Ermittlung von Häufigkeit und Dauer von Unterbrechungen der Wasserversorgung

Jedes Bauteil einer Wasserversorgung von der einzelnen Rohrleitung über Behälter, Pumpen, Armaturen, Maschinen- und Elektrotechnik sowie Stromversorgung und Telekommunikationsinfrastruktur haben jeweils spezifische Ausfallwahrscheinlichkeiten. Während Rohrbrüche jederzeit möglich sind, können gewisse Schäden z.B. an Pumpen nur während deren Betriebszeiten auftreten. Das Ausfallrisiko der Stromversorgung hängt z.B. von den unterschiedlichen Tages- und Jahreszeiten und der Witterung ab.

Ob der Ausfall eines Bauteils letztlich zu einer Unterbrechung der Wasserversorgung führt, ist beispielsweise abhängig vom Vorhandensein direkter Ersatzsysteme (z.B. bei Pumpen meist vorhanden), den Alarm-, Reaktions-, Reparatur- und Normalisierungszeiten, den Wasserverlusten infolge von Rohrbrüchen oder z.B. nach Ausfall der Steuerung überlaufenden Behältern, der Lage der vorhandenen (und funktionsfähigen) Absperrarmaturen und den in Notfällen einsetzbaren Ersatzsysteme (z.B. stationäre oder mobile Notstromaggregate, oberirdisch verlegbare Notleitungen, Rückspeisungen, Notbrunnen, Handsteuerungen entfernter Außenstationen).

Mit dem zu erstellenden Programm soll dann für jedes Bauteil, welches ausfallen kann, unter Beachtung der oben genannten Punkte berechnet werden, ob dessen Ausfall zu Einschränkungen oder Unterbrechungen der Wasserversorgung führt und in diesem Fall das betroffene Gebiet sowie die zugehörige Dauer ermittelt werden.

Die Berechnungen bauen auf einer quasistationären Berechnung des vorhandenen Systems auf, bilden die in der realen Anlage des WVU implizierte Steuerung ab und simulieren z.B. die Auswirkungen der Ereignisse jeweils zur vollen Stunde.

In den Berechnungen müssen z.B. bei Rohrbrüchen die Wasserverluste und der verminderte Netzdruck vor sowie das verbliebene Netz nach Schließen der Absperrarmaturen für die dann noch versorgten Kunden jeweils für unterschiedliche hydraulische Systeme berücksichtigt werden.

Setzt man für die einzelnen Bauteile Ausfallwahrscheinlichkeiten an, die z.B. für Rohrleitungen aus Programmen zu deren Rehabilitation (ggf. ergänzt um die Wahrscheinlichkeit der Beschädigung bei anderweitigen Bauarbeiten etc.) oder allgemein aus Schadensstatistiken (vgl. DVGW 1998) oder Literaturangaben entnommen werden können, so erhält man als Integral aus Ausfallwahrscheinlichkeiten und den Auswirkungen des Ausfalls letztlich für jeden Netzknoten Angaben über Häufigkeit und Dauer des Ausfalls der Wasserversorgung.

Die Darstellung besonders gefährdeter Gebiete zeigt ggf. schnell den Handlungsbedarf auf.

Mittels einer getrennten Auswertemöglichkeit für die verschiedenen Tagesstunden können die Tageszeiten ermittelt werden, während der Schadensereignisse besonders häufig zu Problemen führen. Dies wird vielfach erste Hinweise für mögliche Gegenmaßnahmen geben, insbesondere, wenn Änderungen im Anlagenbetrieb bereits zu deutlichen Verbesserungen führen.

Zur Verringerung der Rechenzeit sind geeignete Verfahren der Netzvereinfachung anzuwenden. Aus Vereinfachungsgründen wird für die Standardberechnungen angenommen, dass immer nur ein Bauteil gleichzeitig ausfallen kann. Außerdem können Ausfallberechnungen auch auf bestimmte Komponenten (z.B. Leitungen ab einem festzulegenden Minstdurchmesser) vorgesehen werden.

Zur Berechnung konkreter Szenarien reicht es dann aus, die Ausfallwahrscheinlichkeit eines oder auch mehrerer gleichzeitig ausfallender Bauteile auf 1, die aller anderen Komponenten auf 0 zu setzen.

Durch diverse Modifikationen, z.B. von Alarm-, Reaktions- und Reparaturzeit, können z.B. die sich aus der konkreten Anlagensteuerung und –überwachung ergebenden maximalen Reparaturzeiten ermittelt werden. Im Falle unbefriedigender Ergebnisse können mögliche Abhilfemaßnahmen bzgl. deren Wirksamkeit untersucht werden. Zusätzlich können große Umbauten zuvor geplant werden; so kann z.B. der optimale Beginn von Umbauarbeiten und der dann zur Verfügung stehende Zeitraum ermittelt werden. Weiter werden Übungen oder Simulationen von Gefahrenereignissen ermöglicht. Tatsächlich aufgetretene betriebliche Sondersituationen oder Störfälle können nachvollzogen werden. Durch Änderung von Eingangsparametern können auch z.B. die Einflüsse der Witterung, der Wochentage, der Verfügbarkeit von Personal, Geräten und Ersatzteilen etc. bewertet werden.

4.3 Kosten

Die bestehenden Ansätze für Investitions- und Betriebs-, sowie Wartungs- und Reparaturkosten und der Kosten und Schäden, die das WVU betreffen, können übernommen werden.

Eine Berücksichtigung der durch Versorgungsunterbrechungen entstehenden Kosten für Industrie, Handwerk, Gewerbe, öffentliche Einrichtungen soll dem Anwender über geeignete Programmierung durch die Möglichkeit der Eingabe ihm geeignet erscheinender Parameter ermöglicht werden. Mit der geplanten Anbindung an ein Geoinformationssystem (GIS) können z.B. bei entsprechender Ortskenntnis für die einzelnen Knoten unterschiedliche Ansätze getroffen werden. So kann zwischen Wohnbevölkerung und Gewerbe/Industrie unterschieden und auch z.B. der zeitlich variable Wasserbedarf¹¹ berücksichtigt werden. Analog zum Ansatz der American Water Works Association (2002) wird die Möglichkeit vorgesehen, außer den zeitabhängigen auch von der Dauer der Versorgungsunterbrechung unabhängige Kosten (z.B. für Herunterfahren und Wiederinbetriebnahmen von Maschinen und Prozessen in der wasserabhängigen Industrie) zu berücksichtigen.

Bei Wohngebäuden können die Kosten¹² – zumindest in Industriestaaten mit eher geringen Unterschieden beim Wasserverbrauch innerhalb der Bevölkerung – ggf. vereinfacht proportional zu der Wassermenge, die nicht entnommen werden konnte, angesetzt werden.

Allgemein sind unangekündigte problematischer als angekündigte Versorgungsunterbrechungen, daher wird dem Anwender die Möglichkeit gegeben, hier unterschiedliche Werte vorzugeben.

4.4 Vulnerabilitätsmodellierung

Mit der Vulnerabilitätsmodellierung werden die durch ein hydraulisches Netzanalyseprogramm ermittelten Häufigkeiten und Dauern von Versorgungsunterbrechungen mit den daraus resultierenden Folgekosten für das WVU und dessen Kunden zusammengeführt.

Als Ergebnisse erhält man die Bereiche des Versorgungssystems, in denen die Wahrscheinlichkeit von Versorgungsunterbrechungen besonders hoch sind, die Gebiete, in denen durch den zeitweisen Ausfall der Versorgung die höchsten Kosten entstehen, die Auswirkungen des

¹¹ So benötigt der Bäcker Wasser vorwiegend in den frühen Morgenstunden, der Friseur tagsüber, die Kneipe eher abends/nachts, der durchgehend produzierende Industriebetrieb rund um die Uhr.

¹² Ansätze sind vom Benutzer zu wählen. Im Umkehrschluss kann man auch fragen, welcher jährlichen Wasserpreiserhöhung ein Privathaushalt zustimmen könnte, wenn durch dadurch finanzierte Baumaßnahmen z.B. Anzahl oder Dauer der Versorgungsunterbrechungen um ein bestimmtes Maß reduziert werden könnten.

Ausfalls von Bauteilen bzgl. Versorgungsunterbrechungen und Kosten und für die Knoten jeweils Angaben, bei welchen Ereignissen die Versorgung ausfallen kann.

Nach Erkennen der Schwachstellen eines Systems können mögliche Abhilfemaßnahmen untersucht werden. Letztlich ist dann die Maßnahme bzw. das Maßnahmenpaket zu wählen, wodurch mittel- bis langfristig die Summe der Kosten für das WVU und der der Allgemeinheit entstehenden Kosten minimiert wird.

Letztlich geht der vorgeschlagene Ansatz über das hinaus, was in den bisher vorliegenden Programmen zur Netzanalyse bzw. in Bewertungssystemen für Wasserrohrnetze möglich ist.

So sollen die Auswirkungen von Maßnahmen zur Reduktion der Alarm-, Reaktions- und Reparaturzeiten sowie zur Verringerung der Ausfallwahrscheinlichkeit von Komponenten (Leitungen, Pumpen etc., z.B. deren Ersatz) bewertet werden. Gleiches gilt für die Optimierung der Anlagensteuerung (hinsichtlich Energiekosten **und** Ausfallrisiko), Schaffung von Redundanzen, Anschaffung und Einsatz von Ersatzanlagen wie z.B. Notstromaggregaten und Maßnahmen wie z.B. die vorgestellten Rückspeisemöglichkeiten, die bei betrieblichen Extremsituationen die Wahrscheinlichkeit von Unterbrechungen der Wasserversorgung verringern.

Zusätzlich ist der Konflikt zwischen Wasserqualität (geringe Verweildauern in Wasserbehältern sowie geringe Leitungsdurchmesser sind anzustreben) und Versorgungssicherheit (Speicherung größerer Mengen in Behältern und insbesondere für die Löschwasserversorgung größere Leitungsdurchmesser) zu lösen. Falls beim Strombezug Hoch- und Niedrigtarifzeiten zu berücksichtigen sind, so gibt es ebenso Konflikte zwischen niedrigen Energiekosten (Betrieb von Pumpen etc. möglichst ausschließlich nachts, tagsüber Abwirtschaften des in Behältern gespeicherten Wassers) einerseits und hoher Versorgungssicherheit (Vorhalten ausreichender Behältervolumina) andererseits.

4.5 Anmerkungen bezüglich der Betriebsorganisation der WVU

Die Aufgabe der Wasserversorgungsunternehmen besteht darin, jederzeit die benötigte Trink- sowie oft auch Löschwassermenge mit ausreichendem Druck und in einwandfreier Qualität bei einem möglichst geringem Wasserpreis zu liefern, ohne die Instandhaltung der Anlagen zu vernachlässigen. Daraus resultierende Zielkonflikte umfassen z.B. Fragen der unternehmensinternen Ablauforganisation (z.B. Mehrspartenbetrieb, vgl. Fassnacht et al. 2006), der Vorhaltung von Personal, Geräten und Ersatzteilen, der Organisation des Bereitschaftsdienstes, der Vergabe von Arbeiten an Dritte bzw. des Zusammenschlusses kleinerer WVU, der Vorsorge für Sonderfälle wie größere Störfälle, Stromausfall, Naturkatastrophen, Terror und Sabotage. Angaben zur Organisation des Bereitschaftsdienstes sowie zur Vorbereitung auf Störfälle und Naturkatastrophen können den Arbeitsblättern und Hinweisen des DVGW (DVGW 2003, DVGW 2002) entnommen werden. Nicht zuletzt hat das Technische Komitee Wasserverteilung des DVGW das Risikomanagement als einen der künftigen Themenblöcke mit hoher Priorität definiert (Zenz et al. 2007).

Die im Rahmen der Betriebsorganisation in Frage kommenden Alternativen führen häufig außer auf der Kostenseite auch zu Konsequenzen bzgl. des Ausfallrisikos, z.B. durch dann andere Reaktions- und Reparaturzeiten.¹³

¹³ Ein simples Beispiel dafür wäre das Schließen eines Betriebshofes eines größeren WVU. Die Kosten für das WVU würden höchstwahrscheinlich sinken, Häufigkeit und Dauer von Versorgungsunterbrechungen z.B. durch längere Anfahrtszeiten von einem anderen Betriebshof steigen.

4.6 Ausfallberechnungen bei Naturkatastrophen-Szenarien

Diese Szenarien bauen berechnungstechnisch auf den oben beschriebenen betrieblichen Szenarien auf. Anlagen des WVU sind u.a. direkt betroffen bei Hochwasser (Überschwemmung von Brunnen oder Wasserwerken bzw. der Zerstörung von Brückenleitungen oder parallel zu Flüssen verlegten Leitungsabschnitten), Sturm (entwurzelte Bäumen reißen Strom- und Steuerkabel ab) und Erdbeben (zerstörte Leitungen, infolge von Bränden erhöhtem Löschwasserbedarf). Zusätzlich dazu ist ein großflächiger Ausfall der allgemeinen Infrastruktur (z.B. Strom, Telekommunikation, Verkehrswege) möglich.¹⁴

Im Vergleich zu den oben beschriebenen betrieblichen Szenarien sind die Annahmen für Alarm-, Reaktions- und Reparaturzeiten sowie ggf. Wasserbedarf zu ändern. So können Alarmmeldungen bei Ausfall von Telekommunikation und/oder betriebseigener Übertragungswege (Steuerkabel) nicht immer abgegeben werden, das Erreichen der Schadstellen sowie von Material und Geräten sowie Beschaffung nicht selbst vorgehaltener Ersatzteile ist unmöglich oder erschwert, Bagger etc. von Baufirmen werden für andere Arbeiten benötigt und sind nicht verfügbar; Reparaturtrupps der EVUs und Telekommunikationsfirmen sind überlastet; eigenes Personal ist ggf. verletzt oder aus anderen Gründen nicht verfügbar; Hilfe von Nachbarunternehmen ist nicht möglich, da diese selbst Schäden reparieren müssen.

In Schadensfällen (z.B. Rohrbruch) ist das sich ergebende Restnetz nach Schließen der noch zugänglichen Absperrarmaturen oft anders als bei normalen Verhältnissen. Wird z.B. von einem Hochwasser führenden Fluss eine Brücke mit angehängter Brückenleitung zerstört, so sind in der Regel die beidseits der Brücke im Vorlandbereich angebrachten Absperrarmaturen wegen Überflutung nicht mehr zugänglich, so dass wesentlich größere Gebiete abgesperrt und daraus folgend wesentlich mehr Armaturen geschlossen werden müssen.

In manchen Fällen (Bränden nach Erdbeben, Reinigungsarbeiten nach Hochwasserereignissen¹⁵) erhöhen Naturkatastrophen den Wasserbedarf.

Zusätzlich dazu sind die möglichen Maßnahmen der Katastrophenvorsorge (vgl. u.a. DVGW 2002) wie das Vollhalten der Wasserbehälter, ggf. vorbeugende Außerbetriebnahme besonders gefährdeter Leitungsabschnitte, vorbeugender Antransport von Geräten und Material zu voraussichtlichen Einsatzstellen und die Erhöhung des verfügbaren Personals – in jedem Fall oder in Variantenberechnungen – zu berücksichtigen.

Bei Katastrophenszenarien wird man eher den Ausfall bestimmter Bauteile vorgeben.

Bei einer interdisziplinären Bearbeitung von Großschadensereignissen z.B. in einer Forschergruppe, in der z.B. andere Fachleute Ausfälle der Strom-, Telekommunikations- und Verkehrsinfrastruktur untersuchen, kann das Programm die Auswirkungen (einschließlich des zeitlichen Verlaufs) auf die Wasserversorgung bestimmen bzw. während der Katastrophe dazu beitragen, die Reaktionen des WVU zur Schadensminimierung zu optimieren.

¹⁴ In manchen Fällen sind die Übergänge zwischen betrieblichen Szenarien und Naturkatastrophen fast fließend. Als sicher sehr extremes Beispiel wird ein Rohrbruch an einer schon im Sommer schwer zugänglichen Stelle in einem Steilhang im alpinen Raum bei 1-2 Meter Schneehöhe und einer Temperatur von -10°C angeführt.

¹⁵ So ergibt sich für jeden Schlauch, mit dem z.B. Straßen gereinigt werden, bei einer Entnahmemenge von 5 l/s (= 18 m³/h) und einer angenommenen Nutzungsdauer von 10 Stunden täglich ein Wasserbedarf von 180 m³/d. Dagegen verbrauchen 1.000 Einwohner mit einem spezifischen täglichen Wasserbedarf von 125 l lediglich 125 m³/d.

Literatur

- AVBWasserV Verordnung über Allgemeine Bedingungen für die Versorgung mit Wasser vom 20. Juni 1980. <http://www.gesetze-im-internet.de/avbwasserv/index.html>. Zitiert am 22.05.07.
- American Water Works Association (AWWA), AWWA Research Foundation (2002) Costs of Infrastructure Failure.
- Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik <http://www.bsi.de/fachthem/kritis/index.htm>. Zitiert am 25.05.07.
- Deurerlein J. (2006) Efficient supply network management based on linear graph theory, Fachbeitrag auf dem 8th Annual Water Distribution System Analysis Symposium; Cincinnati, Ohio, USA.
- DVGW¹⁶ (1998) DVGW-Merkblatt W 395 „Schadensstatistik für Wasserrohrnetze“.
- DVGW (2000) DIN 2000 „Zentrale Trinkwasserversorgung; Leitsätze für Anforderungen an Trinkwasser, Planung, Bau, Betrieb und Instandhaltung der Versorgungsanlagen; Technische Regel des DVGW“.
- DVGW (2002) DVGW-Hinweis W 1050 „Vorsorgeplanung für Notfälle in der öffentlichen Trinkwasserversorgung“.
- DVGW (2003) DVGW-Arbeitsblatt GW 1200 „Grundsätze und Organisation des Bereitschaftsdienstes für Gas- und Wasserversorgungsunternehmen“.
- DVGW (2006a) DVGW-Arbeitsblatt W 400-3 „Technische Regeln Wasserverteilungsanlagen (TRWV) Teil 3: Betrieb und Instandhaltung“.
- DVGW (2006b) DVGW-Merkblatt W 618 (Entwurf) „Lebenszykluskosten für Förderanlagen in der Trinkwasserversorgung“.
- Eisenbeis P., Le Gat Y., Poulton M. (2002) Schadensvorhersagemodelle und hydraulische Zuverlässigkeitsmodelle als Entscheidungshilfe bei der Sanierung – Fachbeitrag auf der 1. CARE-W Konferenz Computergestützte Rehabilitation von Wassernetzen CARE-W, Dresden, Deutschland, 101-111.
- Eisenbeis P., Laffrèchine K., Le Gauffre P., Le Gat Y., Røstum J., Tuhovcak L., Valkovic P. (2003) WP2 Description and Validation of technical tools D4 Report on Tests and Validation of Technical Tools. <http://www.care-unife.it/pdf/D3.pdf>. Zitiert am 10.05.2007.
- Eisenbeis P., Poulton M., Laffrèchine K., Le Gauffre P. (2004) WP2 Description and Validation of technical tools D5 Guidelines for the use of technical tools. <http://www.care-unife.it/pdf/D5.pdf>. Zitiert am 10.05.2007.
- Fassnacht A., Hannemann H., Hildebrandt R., Schiffmann L., Tietke D., Schulz W. (2006) Erwerb, Sicherung und Ausbau der Mehrspartenqualifikation. – energie wasser-praxis 11/2006:50-53.
- Mischner J., Roscher H. (2006) Vergleich von Bewertungssystemen für Wasser- und Gasrohrnetze. – energie wasser-praxis 3/2006:80-85.
- Peerenboom J. (2001) Infrastructure Interdependencies: Overview of Concepts and Terminology. NSF Workshop, June 2001. http://pnwer.org/pris/peerenboom_pdf.pdf. Zitiert am 10.05.2007.
- Walski, T.M., Weiler, J.S., Culver, T. (2006) Using criticality analysis to identify impact of valve location. – Fachbeitrag auf dem 8th Annual Water Distribution Systems Analysis Symposium, Cincinnati, Ohio, USA.
- Zenz, T., Gröschl F. (2007) Betriebliche Themenstellungen im Fokus. - energie wasser-praxis 4/2007:69.

¹⁶ DVGW: Deutsche Vereinigung des Gas- und Wasserfaches e.V. Technisch-wissenschaftlicher Verein.

Massenbewegungen am Xiangxi-Fluss im Staubereich des Drei-Schluchten-Staudammes, China

David Kallen¹, Joachim Rohn², Dominik Ehret¹

¹Universität Karlsruhe (TH), Forschungszentrum Umwelt (FZU), Lehrstuhl für Angewandte Geologie (AGK), Adenauerring 20, 76128 Karlsruhe, Deutschland, E-Mail: Kallen@agk.uni-karlsruhe.de, Telefon: +49(0)721/6085465

²Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Angewandte Geologie, Schloßgarten 5, 91054 Erlangen, Deutschland

1. Einführung

Jedes Jahr fordern Massenbewegungen weltweit zahlreiche Todesopfer und verursachen immense volkswirtschaftliche Schäden. Allein in China starben im Jahr 2006 161 Menschen, 55 wurden verletzt und 39 als vermisst gemeldet. Die Zahl der durch die Katastrophen obdachlos gewordenen Menschen beträgt ca. 9200. In China entstand ein volkswirtschaftlicher Schaden von umgerechnet 1,2 Mrd. US\$. (Zanetti, 2007).

Das Graduiertenkolleg Naturkatastrophen finanziert ein Projekt, um Methoden zur Erstellung regionaler Gefahrenhinweiskarten für die Verteilung von Massenbewegungen zu entwickeln. Hierfür wurde ein Arbeitsgebiet im Distrikt Xinshan (Hubei-Provinz, China) ausgewählt. Das Projekt erfolgt in enger Zusammenarbeit mit der *Faculty of Engineering* der *China University of Geosciences (CUG), Wuhan, PR China*.

Gefahrenhinweiskarten zeigen Bereiche, die potentiell von Massenbewegungen bedroht sind, geben aber keine Auskunft über die Eintrittswahrscheinlichkeit (Risiko). Zu diesem Zweck wurde das Gebiet geologisch und geotechnisch kartiert. Die gewonnenen Daten dieser Kartierungen werden mit Geoinformationssystemen verarbeitet. Anhand statistischer Verfahren werden Modelle für die Verteilung der potentiellen Massenbewegungen erstellt. Ziel ist es, diese Gefahrenhinweiskarten in Zukunft auch für andere Gebiete mit ähnlichen geologischen Gegebenheiten entwickeln zu können.

Die Kenntnis von der Art und der Verteilung der potentiellen Massenbewegungen in diesem Gebiet ist besonders wichtig, da durch den Einstau des Drei-Schluchten-Staudammes der Wasserspiegel um 115 m auf 175 m über NN erhöht wird. Dadurch gehen der Bevölkerung großflächig Siedlungs- und Agrarräume verloren. Da die Umsiedlung in nahe gelegene Gebiete erfolgte, muss nun untersucht werden, ob die besiedelten Bereiche durch die Erhöhung des Wasserspiegels rutschungsgefährdet sind.

Im Gegensatz zum Vorfluter (Yangtze-Fluss) sind die Gegebenheiten in den Bereichen der Nebenflüsse noch wenig erkundet. Deshalb besteht hier ein großer Forschungsbedarf.

2. Lage des Arbeitsgebietes

Das Arbeitsgebiet befindet sich in der zentral-chinesischen Provinz Hubei und erstreckt sich entlang des Xiangxi-Fluss, welcher von Norden her dem Yangtze-Fluss zuströmt (Abb. 1). Im Arbeitsgebiet bildet der Xiangxi-Fluss einen Teil des Reservoirs des Drei-Schluchten-Staudammes. Etwa 100 km südöstlich des Arbeitsgebietes befindet sich die Stadt Yichang. Die größte Siedlung innerhalb des Arbeitsgebietes ist die Distrikthauptstadt Gaoyang (Abb. 1), die Ende 2006 aufgrund des Einstaus um etwa 1 km verlegt wurde. Das Arbeitsgebiet erstreckt sich über eine Fläche von etwa 130 km².

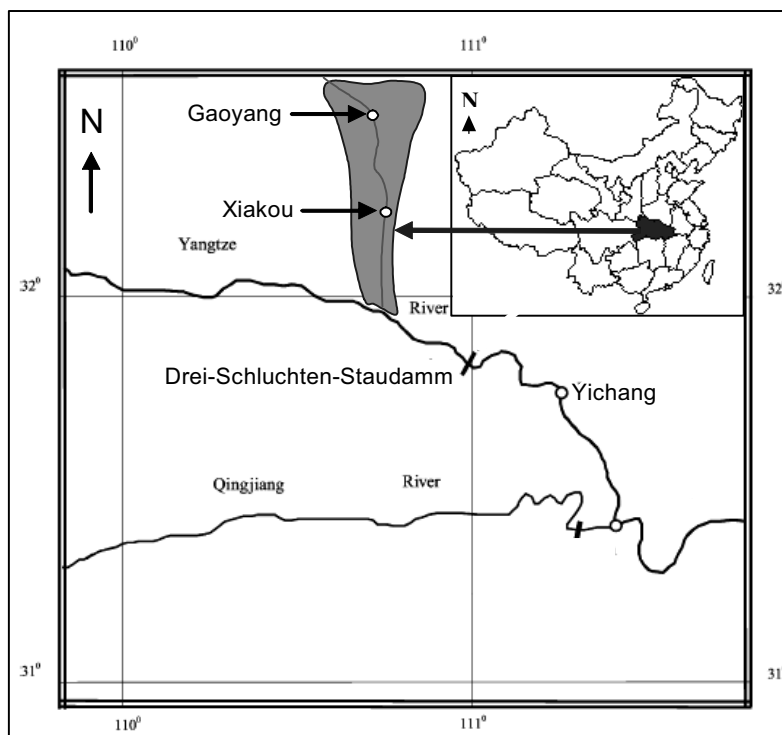


Abbildung 1: Das untersuchte Gebiet (grau dargestellt) entlang des Xiangxi-Flusses. Der kleine Kartenausschnitt rechts oben verdeutlicht die Lage des Arbeitsgebietes innerhalb Chinas. Markiert ist hierbei die Provinz Hubei (verändert nach XIAO et al. 2001).

3. Geologische Kartierung

Bei der geologischen Kartierung des Arbeitsgebietes im Maßstab 1:20 000 wurden die unterschiedlichen Gesteinseinheiten kartiert, beschrieben und ihre Gefügewerte dokumentiert. Der Verlauf der Störungszonen wurde auch in der Karte vermerkt. Die geologische Situation ist in der geologischen Karte in Abb. 2 dargestellt.

Die im Arbeitsgebiet anzutreffenden, aufgeschlossenen Gesteinseinheiten weisen silurische bis jurassische Alter auf. Es handelt sich ausnahmslos um sedimentäre Gesteine.

Die silurischen Gesteine (S1-2) bestehen aus grau-grünem Siltstein mit tonreicheren Lagen. Die Gesteine weisen eine ausgeprägte Bankung im cm- bis dm-Bereich und eine hohe Anzahl an Klüften auf, wodurch sie stark zerlegt sind. Sie besitzen im Arbeitsgebiet eine Mächtigkeit von etwa 1000 m.

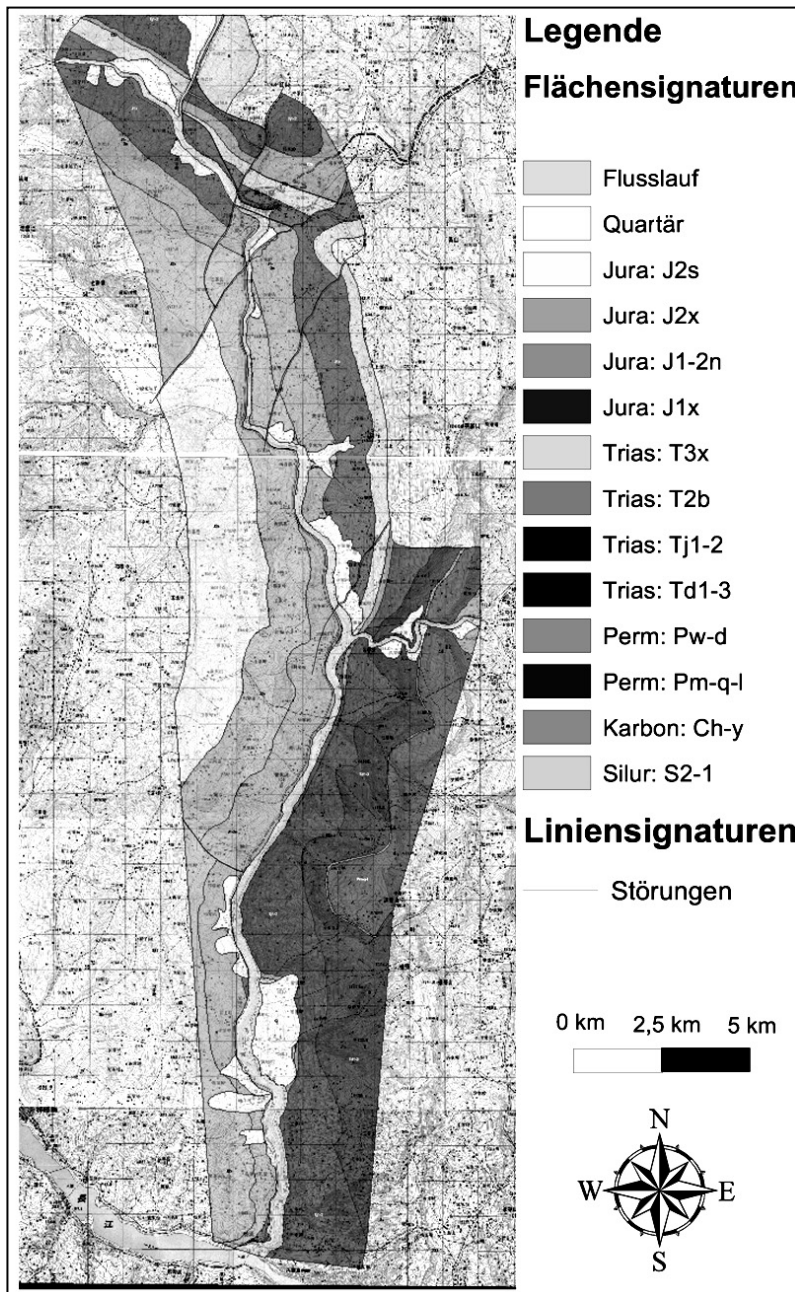


Abbildung 2: Verkleinerter Ausschnitt der geologischen Karte im Maßstab 1:20.000.

Die Schichten des Devons sind im Gebiet nicht anzutreffen, da die silurischen Gesteine im gestörten Kontakt zum Karbon vorliegen (Bureau of Geology and Mineral Resources of Hubei Province 1999, Yang et al. 1986).

Die Einheiten des Karbons (Ch-y) sind nur in einem Bereich am westlichen Rand des Kartiergebietes aufgeschlossen. Es handelt sich dabei um einen grauschwarzen, mikrokristallinen Kalkstein mit einer Mächtigkeit von mindestens 90 m.

Die im Hangenden des Karbons folgenden permischen Schichten bestehen auch aus grauem, mikrokristallinem Kalkstein, mit z.T. verkieselten Lagen. Innerhalb der permischen Schichten können zwei Einheiten (Pm-q-l und Pw-d) unterschieden werden. Die hangende Schicht weist zahlreiche Bänder mit schwarzem Hornstein auf. Die Gesamtmächtigkeit des Perms beträgt im Arbeitsgebiet etwa 950 m.

Die Trias kann man in vier Einheiten unterteilen. Die beiden Einheiten im Hangenden (Td1-3 und Tj1-2) bestehen aus braun-grauen Siltsteinen mit sandigen, tonigen und z.T. auch kalkigen Lagen. Die beiden Schichten werden anhand eines Bandes aus oolithischem Kalkstein unterschieden, welches sich im Top der unteren Schicht befindet. Die darunter liegenden Schichten bestehen aus grauem Siltstein mit Lagen mikrokristallinem Dolomits und vereinzelt tonigen Lagen (T2b und T3x). Die hangende Schicht (T2b) weist einen größeren Anteil an tonigen Lagen auf. Ihre Mächtigkeit summiert sich im Gebiet auf etwa 1700 m.

Die über der Trias liegenden jurassischen Gesteine werden in vier Einheiten eingeteilt (J1x, J1-2n, J2x und J2s). Die unterste Schicht (J1x) ist ein Silstein mit Lagen aus dunklen Tonsteinen, die reich an organischem Material sind, und Lagen aus Kohle. Die darüber folgenden Schichten setzen sich aus grau-grünem Siltstein, welcher alternierend mit rotvioletttem, stark tonigem Siltstein wechselt, zusammen. Die mittlere der drei Lagen (J2x) weist mächtige Bän-

ke aus Sandstein auf, anhand derer die Einheiten unterschieden werden können. Die Gesamtmächtigkeit der vier Einheiten beträgt im Arbeitsgebiet über 5000 m.

Als quartäre Sedimente treten fluviatile Ablagerungen im Bereich des Xianxi-Flusses und Hangschutt auf. In der Karte verzeichnet wurden nur Bereiche mit einer quartären Überdeckung von mindestens 2 m.

Das Arbeitsgebiet wird durch das Störungssystem im nördlichen Teil in drei Gebiete mit ähnlichen Gefügewerten unterteilt. Die Schichten im Bereich südlich des großen Störungssystems fallen nach Westen ein ($275^\circ \pm 10^\circ$). Der Einfallswinkel variiert von 45° bis 55° . Die zentrale Scholle zwischen den beiden großen Störungen ist etwas rotiert und weist so eine Einfallrichtung von ca. $250^\circ \pm 10^\circ$ auf. Durch die Rotation des Blockes erhöht sich der Einfallswinkel auf durchschnittlich $50 - 60^\circ$. Der Teil im Norden wurde noch weiter rotiert, so dass die Einfallrichtung hier $230 \pm 10^\circ$ beträgt. Durch die Rotation des Blockes verringert sich der Einfallswinkel in diesem Bereich aber auf etwa $30 - 40^\circ$.

Das Streichen der beiden Störungssysteme beträgt 30° und 110° , sie verlaufen also fast senkrecht zueinander. Das Störungssystem mit dem Streichen von 30° hat Störungsflächen mit einem Einfallswinkel von etwa $50 - 60^\circ$. Die Störungsflächen fallen nach WNW ein. Im anderen Störungssystem (Streichen 110°) fallen die Störungsflächen etwas steiler ein. Ihre Einfallswinkel betragen zwischen $75 - 80^\circ$ und fallen nach SSW hin ein.

4. Geotechnische Kartierung

Die geotechnische Kartierung dient zur Darstellung der Verteilung der Massenbewegungen im Arbeitsgebiet. Dabei werden die Gesteine nach ihren lithologischen und mechanischen Eigenschaften, die für die Bildung von Massenbewegungen verantwortlich sind, eingeteilt und klassifiziert.

Die Gesteine wurden in Festgesteine, veränderlich feste Gesteine und Lockergesteine unterteilt. Geotechnisch signifikante Strukturen wie Steilkanten und Felssturzmassen sind in der Karte zusätzlich aufgenommen.

Da die Einheiten in diesem Bereich sehr homogen sind und keine lateralen Wechsel aufweisen, fallen die Grenzen der Bereiche mit den Schichtgrenzen zusammen. Abbildung 3 zeigt die geotechnische Karte.

Quartäre Ablagerungen in diesem Gebiet bestehen aus Hangschutt, Blockschutthalden von Felsstürzen oder fluviatilen Ablagerungen. Diese Ablagerungen sind unverfestigt und zählen zu den Lockergesteinen. Sie kommen in Mächtigkeiten bis maximal 15 m vor. Wie bei der geologischen Karte wurden in der geotechnischen Karte alle Bereiche mit Lockergesteinen dargestellt, die eine Mächtigkeit von mindestens 2 m aufweisen.

Die veränderlich festen Gesteine umfassen alle Einheiten des Jura, eine Einheit aus der Trias (T2b) und die silurischen Schichten (siehe Abb. 1). Diese Gesteine sind Siltsteine, welche Schichten mit variablen Tongehalten in alternierender Wechsellagerung enthalten. Sie sind in diesem Gebiet sehr deutlich gebankt und weisen stark ausgeprägte Klüftung auf. Die Klüftung ist sehr engstehend, wodurch die Gesteine stark aufgelockert sind. Alle Rutschungen im Arbeitsgebiet liegen in den Bereichen dieser veränderlich festen Gesteine.

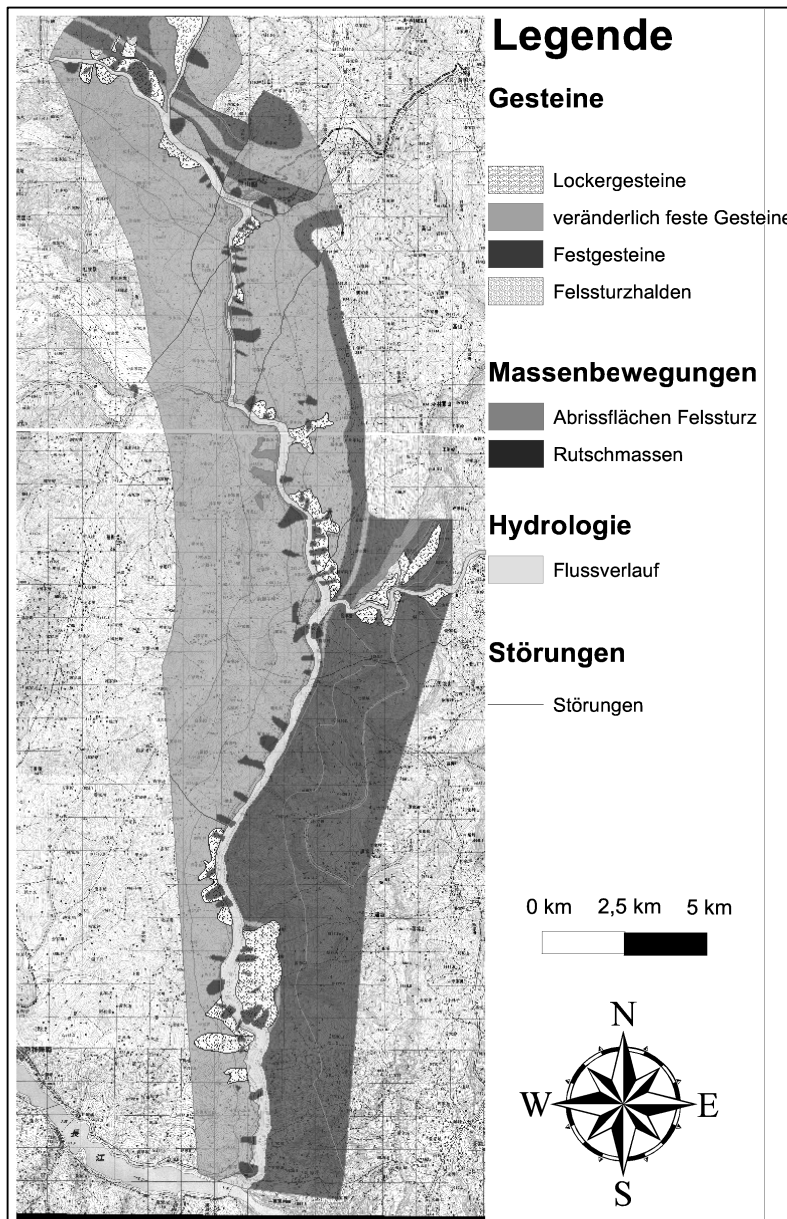


Abbildung 3: Verkleinerter Ausschnitt der geotechnischen Karte im Maßstab 1:20.000.

Die Festgesteine bestehen aus standfesten, massigen Kalken der Trias und des Perms. Auch sie weisen eine deutliche Bankung und ausgeprägte Klüftung auf. Die Massenbewegungen im Bereich der festen Gesteine Karbon, Perm und Trias mit Ausnahme des T2b sind ausschließlich Felsstürze. Diese treten in Bereichen mit erosiver Übersteilung der Topographie auf, da sich dort Steilkanten ausbilden können.

5. Untersuchung der Rutschungsmechanismen

Für die Entstehung von Massenbewegungen wurden 3 Mechanismen gefunden. Die schematische Darstellung dieser Mechanismen zeigt Abbildung 4.

In den Bereichen der Steilkanten entstehen Felsstürze. Diese treten überwiegend in den Bereichen der Festgesteine auf, da diese durch ihre Kompetenz für die Aus-

bildung von Steilkanten geeignet sind (Abb. 4. links). Auch in nicht besiedelten Gebieten stellen Felsstürze eine große Gefahr dar, da sie bei einem Sturz in den Fluss Flutwellen auslösen können. Diese Flutwellen können bei entsprechender Größe verheerende Folgen haben, wie z.B. die Katastrophe in Vajont 1963 beweist. Dort löste eine Massenbewegung in einen Stausee eine Flutwelle aus, die über 2000 Menschenleben forderte. Ein weiterer Mechanismus ist die Bewegung von Lockergestein, wobei als Gleitbahn die Grenze zum anstehenden Gestein fungiert (Abb. 4 Mitte). Am westlichen Ufer des Flusses führt eine Kombination verschiedener geotechnischer und geologischer Gegebenheiten zur Ausbildung eines 3. Massenbewegungsmechanismus. Hier fallen die Schichten annähernd hangparallel ein, sodass die Schichtgrenzen potentielle Gleitflächen bilden (Varnes & Cruden 1996). Scherversuche mit Probenmaterial aus Bohrungen in die Scherzonen ergaben Reibungswinkel von durchschnittlich ca. 28° (Central Southern China Electric Power Design Institute 2005), die deutlich unter dem Winkel der Schichtneigung (45-55°) liegen. Durch die Erosion des Flusses wurde die Hangstabilität zusätzlich verringert und Massenbewegungen ausgelöst. Des Weiteren wird durch

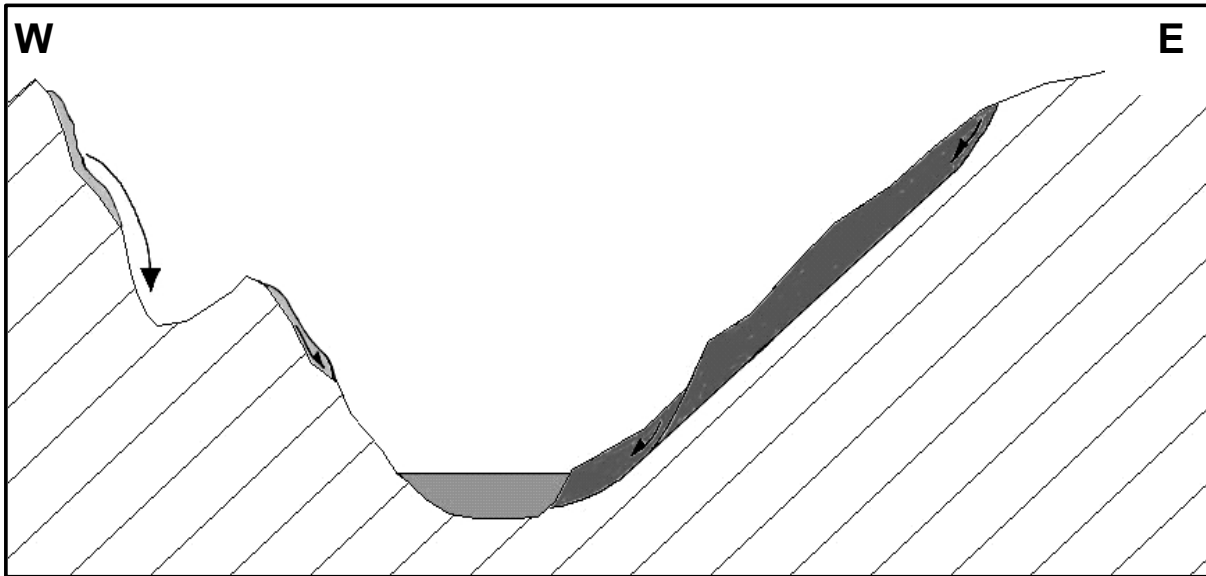


Abbildung 4: Darstellung der Rutschungsmechanismen im Arbeitsgebiet anhand eines schematischen E-W-Schnittes. Links: Ausbildung einer Steilkante durch erosive Übersteilung (früheres Flussniveau) und Fallweg eines potentiellen Felssturzes. Diese Steilkanten können sich nur innerhalb der Sandsteinbänke im Jura (J2x) ausbilden. Mitte: lockere Gesteine rutschen auf dem anstehenden Gestein. Rechts: hangparallele Schichtung und Erosion des Flusses am Hangfuß ermöglichen die Ausbildung von schichtparallelen Gleitflächen. Die schräge Schraffur stellt die Schichtung des veränderlich festen Gesteins dar.

den Anstieg des Wasserspiegels der Hangwasserspiegel erhöht, wodurch die Hänge wahrscheinlich zusätzlich an Stabilität einbüßen werden. Die gefundenen Massenbewegungen haben z.T. sehr tief liegende Gleitflächen und können Längen von über 550 m erreichen. Innerhalb des Gebietes wurden Gleitflächen in Tiefen von bis zu 40 m gefunden (Abb. 5)

Eine typische Massenbewegung in lockeren Gesteinen ist in Abb. 5 dargestellt. Diese Rutschung wurde als Beispiel gewählt, da sie die größte Rutschung mit diesem Mechanismus im Gebiet darstellt. Zusätzlich handelt es sich dabei um die Rutschung mit dem größten Forschungsbedarf, da sie sehr aktiv ist und große Teile der Ortschaft Xiakou erfasst. Die Bewegungsrate ist bisher noch nicht gemessen worden, deutliche Risse in Mauerwerk und Strasse weisen jedoch auf aktive Bewegungen im Untergrund hin. Bei dieser Rutschung wird versucht, die Bewegung konstruktiv zu stoppen oder zumindest signifikant zu verlangsamen. Dies soll dadurch erreicht werden, dass in der Rutschmasse eine Reihe von Bohrpfählen gesetzt wurde. Diese sollen die Rutschmasse drainieren und die Gleitfläche inaktivieren. Durch die Drainage soll der Rutschmasse Wasser entzogen und somit der Porenwasserdruck erniedrigt werden. Dadurch wird versucht, die treibenden Kräfte zu verringern. Die Bohrpfähle erhöhen zudem die rückhaltenden Kräfte.

6. Ergebnisdiskussion

Die Massenbewegungen im Arbeitsgebiet werden nach den 3 oben genannten Mechanismen unterteilt. Alle Rutschungen liegen in den Bereichen der veränderlich festen Gesteine mit oder ohne quartäre Bedeckung und sind an die direkten Uferbereiche des Flusses gebunden.

Aufgrund der im Gebiet herrschenden Lithologie wird es in drei Teilbereiche unterteilt: der nördliche Teil ist durch zahlreiche Störungen charakterisiert, im zentralen Teil stehen an beiden Seiten des Flusses veränderlich feste Gesteine an und im südlichen Teil stehen fast nur am westlichen Ufer veränderlich feste Gesteine an (Abb. 2).

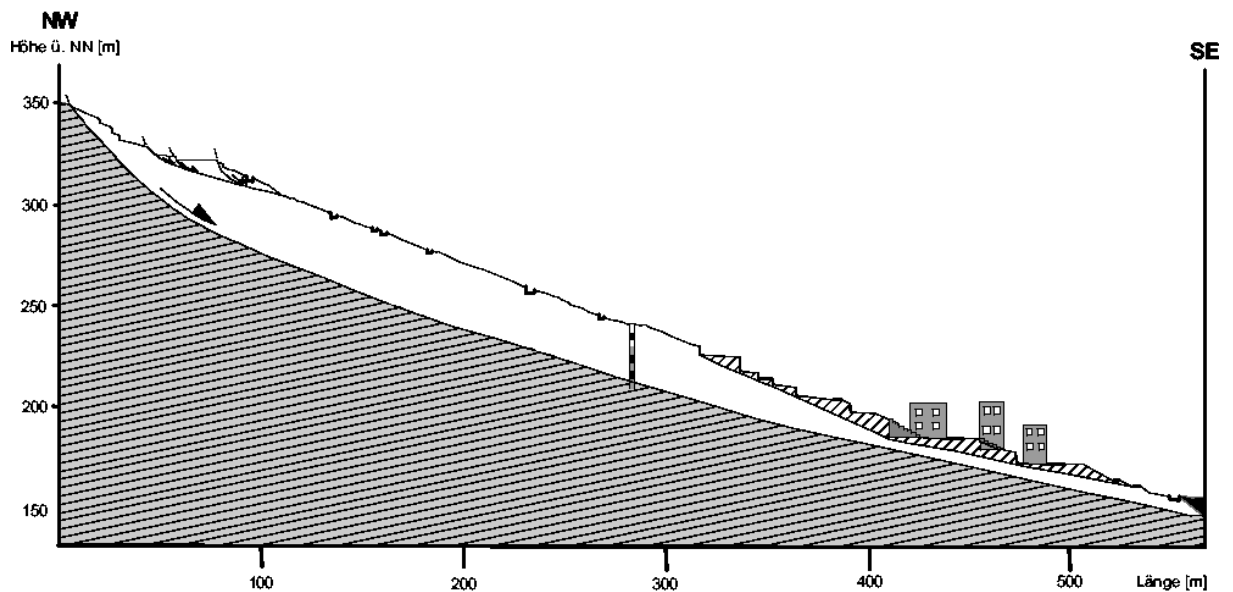


Abbildung 5: Geotechnischer Profilschnitt (NW-SE) einer Rutschung im Lockergestein. In der Mitte der Rutschung erkennt man die Bohrpfähle, welche senkrecht zum Profil angeordnet sind. Diese sind oberhalb der Ortschaft Xiakou gesetzt worden, um eine Drainage der Rutschmasse sowie eine Erhöhung der rückhaltenden Kräfte zu erreichen. Grau schraffiert dargestellt ist das anstehende Gestein, wobei die Schraffur dem Einfallen der Schichten entspricht. Weiß dargestellt ist die Rutschmasse und die weiße, schraffierte Fläche stellt den bautechnisch veränderten Bereich der Ortschaft Xiakou dar. Am unteren rechten Rand (schwarz) kann man eine künstliche Auffüllung erkennen. Dabei handelt es sich um ein Tal, das vor dem Einstau des Staudammes zur Landgewinnung künstlich aufgefüllt wurde.

Dadurch ergeben sich verschiedene Verteilungen der Rutschungen (Abb. 3). Im nördlichen Teil im Bereich der Stadt Gaoyang entstehen zahlreiche Rutschungen in unmittelbarer Nähe zu den großen Störungszonen. Diese Störungen verursachen eine Auflockerung des Gesteinsverbandes (J1x, J1-2n, S2-1). Diese Rutschungen gleiten schichtparallel ab.

Im zentralen Teil treten die Rutschungen an beiden Ufern auf, da auf beiden Seiten die veränderlich festen Gesteine anstehen. In Bereichen mit anstehendem Jura (J2x) liegen die Rutschungen verstärkt am östlichen Ufer. Diese Einheit des Jura ist kompetenter und verwitterungsresistenter als die anderen Einheiten des Jura (J1x, J1-2n und J2s). Daher bilden sich die Rutschungen nur am östlichen Ufer aus, wo sie hangparallel gleiten können.

Im südlichen Teil sind Rutschungen überwiegend am westlichen Ufer zu finden. Dabei handelt es sich um Rutschungen im Bereich quartärer Bedeckungen oder der Bewegung von verwittertem anstehendem Gestein des Jura (J1-2n). In einem kleinen Bereich des östlichen Ufers stehen veränderlich feste jurassische Gesteine (J1x) an. Dort kommt es aufgrund der hangparallelen Schichtung zur Ausbildung von Rutschungen mit sehr mächtigen Rutschkörpern. In Bereichen mit Steilkanten kommt es an beiden Seiten des Flusses zu Felsstürzen. Die wichtigsten Faktoren für die Entstehung der Massenbewegungen in diesem Gebiet sind also die lokal vorherrschende Lithologie und deren Gefügewerte im Verschnitt mit der Fließrichtung des Flusses.

7. Ausblick

Diese gewonnenen Daten sollen nun mit Hilfe eines statistischen Modells verarbeitet werden, um ein Modell für die Verteilung von potentiellen Massenbewegungen zu erhalten. Mittels ArcGIS sollen verschiedene Datenebenen erstellt und diese in Raster unterteilt werden. Für

jede dieser resultierenden Rasterzellen soll dann eine Wahrscheinlichkeit berechnet werden, ob diese Zelle Teil einer potentiellen Rutschung sein kann. Dies wird anhand einer regressiven Analyse durchgeführt, in welcher den Datenebenen verschiedene Einflussfaktoren zugeordnet werden (Juang et al., 1992).

In einem ersten Schritt wird das Modell auf möglichst wenig Datenebenen beschränkt. Dabei handelt es sich um die Datenebenen für Schichtung (Raumlage der Schichtflächen), Klüftung (Raumlage der Klüftflächen), Abstand zu Störungen, digitales Höhenmodell (Raumlage der Geländeoberfläche in jedem Raster), Gesteinseigenschaften und die Fließrichtung des Vorfluters. Ist das Modell fertig gestellt, soll in einem weiterführenden Schritt eine Verbesserung des Ergebnisses durch das Hinzufügen von weiteren Datenebenen erzielt werden. Als weitere Datenebenen kommen dabei z.B. das dem Vorfluter zuströmende Gewässernetz, die verschiedenen Bewuchsarten, Hangexposition oder Niederschlagsmengen in Betracht. Die Validierung erfolgt dabei anhand der Kartiererergebnisse, also den in der Realität vorhandenen Rutschungen. Es muss aber berücksichtigt werden, ob die Verbesserung des Modells durch weitere Datenebenen wirklich in Relation zur Verbesserung der Ergebnisse steht. Schließlich soll eine einfache und schnelle Methode gewonnen werden, Gefahrenhinweiskarten für große Gebiete ohne viel Aufwand erstellen zu können.

Literatur

- Bureau of Geology and Mineral Resources of Hubei Province (1999) Regional Geology of Hubei Province. - Geological Publishing House, BeiJing (China).
- Central Southern China Electric Power Design Institute (2005) Survey report of Jia Jia Dian landslide in Three Gorges Reservoir, Hubei Province, (China).
- Juang C. H., Lee D. H., Scheu C. (1992) Mapping slope failure potential using fuzzy sets. – J. Geot. Eng. 118: 475 – 494
- Varnes D. M., Cruden D. J. (1996) Landslide types and processes.- In: Turner A. K., Schuster, R. L. (Eds.) Landslides: Investigations and Mitigation
Transportation Research Board, Special Report 247:36-71, Washington (D.C.)
- Xiao X. Y., Lee C. F., Wang Y. S. (2001) Particle size distribution of interlayer shear zone material and its implications in geological processes – a case study in China.- Engineering Geology 66:221–232
- Yang Z., Chen Y., Wang H. (1986) The geology of China.- 64–148, Oxford University press, New-York
- Zanetti A., Schwarz S., Lindemuth A. (2007) Natur- und Man-made-Katastrophen im Jahr 2006: tiefe versicherte Schäden.- Schweizerische Rückversicherungsgesellschaft, Economy research and consulting: SIGMA 2/2004:17–20

Online-Informationen zur Mobilisierung der Bevölkerung bei Hochwasser

Thorsten Ulbrich¹, Charlotte Kämpf¹, Jürgen Ihringer¹

¹Universität Karlsruhe (TH), Institut für Wasser und Gewässerentwicklung, Bereich Wasserwirtschaft und Kulturtechnik, Kaiserstraße 12, 76131 Karlsruhe, Deutschland, Email: ulbrich@iwg.uni-karlsruhe.de, Telefon: +49(0)721/6083248

Kurzfassung

Um die Schäden großer Hochwasserereignisse zu begrenzen müssen Behörden sich auf eine effektive Kommunikation verlassen. Die zunehmende Verbreitung neuer Medientechnologien wie Internet und Mobilfunk bieten die erforderlichen Möglichkeiten die Vulnerabilität der hochwasserbedrohten Bevölkerung zu verringern.

Wir untersuchen das Potential von Online-Informationen um die Effizienz von Warnungen und Hochwasserinformation zu steigern. Dazu werden folgende Forschungsfragen bearbeitet:

- Welche Informationen sind für Hochwasser relevant?
- Welche Vorteile und Nachteile hat das Internet gegenüber anderen Medien?
- Welches technische Medium ist am besten zur Verbreitung von Informationen zu Hochwasser geeignet?
- Welche Informationen sind verfügbar, also was kennen die Nutzer bereits?
- Wie werden Daten dargestellt? Ist die Online-Information ansprechend gestaltet?
- Wie können die Darstellung und das Verständnis der Informationen optimiert werden?

Kritische Punkte der Prävention und Bewältigung von Naturkatastrophen sind Koordination und Kommunikation aller Beteiligten. Für ein effektives Katastrophenmanagement ist der Austausch von verbalen und visuellen Informationen zwischen Behörden, Wissenschaft, Journalisten, betroffenen Anwohnern und Grundbesitzern essentiell. Warnungen, kurzfristig und langfristig relevante Hochwasserinformationen müssen effizient über technische Medien kommuniziert werden, um betroffene Anwohner zu angemessenem Handeln zu motivieren. Dies stellt eine besondere Herausforderung an die Online-Informationen zu Hochwasser der verantwortlichen Behörden dar, welche die Resilienz verbessern wollen.

Stichworte

Hochwasser, Mitigation, Resilienz, Vulnerabilität, Risikokommunikation, Medienanalyse, Online-Information

1. Einleitung

Hochwasser ist die häufigste und schadensreichste Naturkatastrophe in Europa und weltweit die teuerste (Berz 2005). Für den Klimawandel warnt der soeben erschienene IPCC Report: *“Globally the potential for flood production is projected to increase with increases in local average temperature over a range of 1-3°C, but above this it is projected to decrease.”* Deshalb stehen die verantwortlichen Behörden auch in Mitteleuropa vor der Herausforderung diesen Schäden vorzubeugen. Dabei sind sie auf die Kooperation mit allen Beteiligten, vor allem aber mit den betroffenen Anwohnern angewiesen. Der Schlüssel zu einer effektiven

Schadensminderung liegt hierbei in der optimalen Kommunikation von leicht verständlichen, kurzfristig und langfristig orientierten Hochwasserinformationen, um die Betroffenen rechtzeitig zu vorsorgenden Handlungen zu mobilisieren und bei der Vermeidung und Minderung von Hochwasserschäden zu unterstützen. Dabei müssen alle 4 Phasen (siehe: Abbildung 1) langfristig vor, kurzfristig vor, während und nach dem Ereignis einbezogen werden.

Das Internet eröffnet der Informationsgesellschaft diverse Anwendungsfelder und immer neue Möglichkeiten der Kommunikation. Es erlaubt vor allem auch eine Kombination von verschiedenen Medien, wie es sie vorher nie gab (Becker 2004). Heute ist schon gut jeder zweite Deutsche „online“, auch in der bislang weniger vertretenen, älteren Generation nimmt die Zahl der „Onliner“ schnell zu, und das Internet ist längst nicht mehr neu und unbekannt (TNS Infratest: (N)onlineratlas).

Hochwasserinformationen werden von verantwortlichen Behörden schon seit über 10 Jahren im World Wide Web dargestellt, doch haben sich die Möglichkeiten der Kommunikation und das Verhalten der Nutzer in dieser Zeit grundlegend geändert. In diesem Zusammenhang ist es sehr interessant und vielversprechend sich der Thematik der Online-Information zu Hochwasser zu widmen. Die neuen Entwicklungen im Internet und steigenden Nutzerzahlen lassen auf ein erhebliches Potential schließen den Hochwasserschutz kostengünstig zu optimieren und die Vulnerabilität der hochwasserbedrohten Bevölkerung gegen Naturkatastrophen zu reduzieren, das heißt ihre Resilienz zu erhöhen. Dazu werden folgende Fragen bearbeitet:

- Welche Informationen sind für Hochwasser relevant?
- Welche Vorteile und Nachteile hat das Internet gegenüber anderen Medien?
- Welches technische Medium ist am besten zur Verbreitung von Informationen zu Hochwasser geeignet?
- Welche Informationen sind verfügbar, also was kennen die Nutzer bereits?
- Wie werden Daten dargestellt? Ist die Online-Information ansprechend gestaltet?
- Wie können die Darstellung und das Verständnis der Informationen optimiert werden?

Diese Forschungsfragen werden im folgenden schrittweise beantwortet. Zunächst werden „hochwasserrelevante Informationen“ zusammengefasst und die Vor- und Nachteile des Internets, insbesondere zur Verbreitung von Hochwasserinformationen diskutiert. Anschließend wird in einer „Analyse offizieller Hochwasser Websites“ der Status Quo und die Verfügbarkeit von Informationen im Internet und deren Darstellung untersucht. Schließlich werden „Verbesserungspotential und Anforderungen an die Online-Information zu Hochwasser“ diskutiert, um Möglichkeiten zu finden die Darstellung und das Verständnis der Online-Informationen zu optimieren.

2. Hochwasserrelevante Informationen

Zunächst soll hier geklärt werden, welche Medien zur Vermittlung von Informationen zu Hochwasser relevant sind und für die betroffene und interessierte Bevölkerung von Nutzen sein können und welche Medien für ihre Verbreitung geeignet sind. Dabei wird zunächst zwischen generell relevanten Informationen unterschieden und Informationen, die dem Kreislauf des Hochwasserschutz zuzuordnen sind, der hier in 4 Phasen unterteilt wird (siehe Abbildung 1).

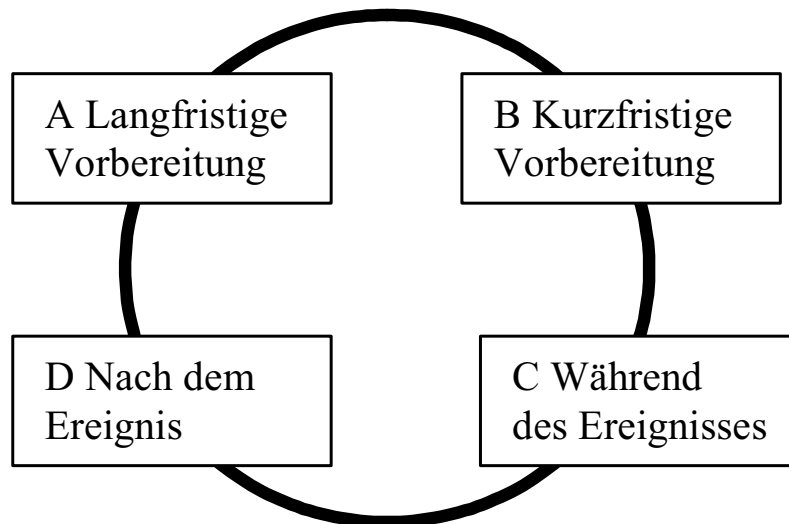


Abbildung 1: Kreislauf des Hochwasserschutzes.

Informationen, die für die Hochwasserthematik generell relevant sind:

- Wo ist welche Information verfügbar? (Verweise auf Informationsquellen zu verwandten Themen und Behörden)
- Allgemeine Informationen zu Hochwasser (Prozess, Entstehung, Häufigkeit)
- Fachinformationen zu Teilthemen (z.B. Abflussmodelle, Hochwasserstatistik, Unsicherheiten)
- Behördliche Vorsorge, staatliche Schutzmaßnahmen, technischer Hochwasserschutz und Planungen
- Ansprechpartner und Verantwortliche der Behörden
- Rechtslage
- Aufmerksamkeit hochhalten bzw. Thema auf die Agenda setzen

Dem Kreislauf des Hochwasserschutzes können folgende Informationen zugeteilt werden:

A: Informationen, die langfristig vor dem Eintritt eines Hochwasserereignis relevant sind:

- Informationen zur Selbsthilfe: Vorsorgemaßnahmen, finanzielle Vorsorge
- Gefährdungslage (Überschwemmungsgebietskarte, Hochwassergefahrenkarte, historische Ereignisse, Extremwetterereignisse)

B: Informationen, die kurzfristig vor dem Hochwasserereignis relevant sind:

- Informationen zur Selbsthilfe: Schadensvorsorge und -begrenzung
- Wetterbericht, insbesondere Niederschlagsvorhersage
- Warnung vor dem Ereignis (hochwasserträchtige Großwetterlage, Niederschlagsereignis, Wellenablauf)

C: Informationen, die während des Hochwasserereignisses relevant sind:

- Informationen zum Hochwasserverlauf (Wasserstand, Abfluss und Prognosen)
- Einschränkungen (Straßensperren, Verspätungen, Betriebsausfälle)

- Konkrete Gefahren (Kontamination, Deichschwachstellen und -brüche, Überflutung von Gebäuden und Infrastruktur, Evakuierungen)

D: Informationen, die nach dem Hochwasserereignis relevant sind:

- Informationen zur Selbsthilfe: Reparatur, Beseitigung der Schäden
- Spendenkonten
- Informationen zum Unterstützen des Lernprozesses / gesammelte Erfahrung (historische Ereignisse, Was passiert bei welchem Pegelstand?, Erfolge und Misserfolge des Hochwasserschutzes)

Der Vorteil des Internets bei der Verbreitung von Informationen zu Hochwasser ist einerseits die vielfältige Einsetzbarkeit und die Integration anderer Medien. Andererseits kann es relativ direkt Experten mit Betroffenen verbinden und schnell, oft automatisch, auf geänderte Situationen reagieren. Es bietet nützliche Navigationshilfen wie Suchfunktionen und ist –außer bei Serverüberlastung- immer verfügbar, wenn ein Empfangsgerät bereitsteht.

Der Schwachpunkt des Internets als Medium zur Hochwasserinformation ist vor allem die Verbreitung: Obwohl 56% der Deutschen das Internet nutzen und ihre Zahl rasch zunimmt (TNS Infratest: (N)onlineratlas), nutzt die Mehrheit das Internet nicht täglich. Außerdem zählt im akuten Fall vor allem, dass das WWW alleine über keinen Push-Modus verfügt, also eine Warnung nur dann herausgeben kann, wenn die Betroffenen bereits selber danach suchen. Deshalb kann das Internet bei der akuten Hochwasserwarnung nicht erste Informationsquelle in der Kette sein, sondern dient zur Bestätigung und Konkretisierung von bereits erhaltenen Warnungen. Die erste Warnung muss durch andere Medien, wie Radio, Fernsehen oder SMS-Warndienste erfolgen, diese können dann wiederum auf offizielle Websites verweisen.

3. Analyse offizieller Hochwasser Websites

Um den Status Quo festzustellen, insbesondere häufige Mängel und besonders gelungene Umsetzungen von Warnungen wurde eine Analyse der offiziellen Websites zu Hochwasser in mehreren europäischen Ländern durchgeführt (Deutschland, Österreich, Schweiz, Tschechien, Niederlande, Schottland, England und Wales). Hierzu wurde eine Heuristik zur Bewertung erarbeitet, die folgende Kategorien unterscheidet:

- **Inhalte:** Welche hochwasserrelevanten Informationen und zusätzlichen Informationen sind online verfügbar?
- **Darstellung:** Wie werden die Informationen, insbesondere auf Pegelkarten, Hochwassergefahrenkarten und Graphiken dargestellt?
- **Zugang:** Wie sind die Seiten im Internet aufzufinden, wie gestaltet sich die Navigation auf der Seite und wie kann der Nutzer mit der Behörde in Kontakt treten?
- **Readability:** Wie attraktiv ist die Seite gestaltet und werden Design, Sprache und Übersichtlichkeit den Anforderungen gerecht?

Weiter wurden aus mehrerer Kriterien die Kategorien **Effektive Warnung** und **Nutzerfreundlichkeit** zusammengesetzt und bewertet.

Mit Hilfe einer Multi Kriterien Analyse wurden 22 offizielle deutsche, österreichische und schweizerische Hochwasser-Websites anhand dieser 4 Kategorien und 70 Kriterien vergli-

chen. Das Ergebnis zeigt robuste Unterschiede im Ranking und in der Qualität der Websites und ist gegenüber veränderten Gewichtungen der Kriterien relativ tolerant.

In Anwendung von Eleanor Roschs (1973) Prototypentheorie lassen sich hier 2 Prototypen unterscheiden: Prototyp A umfasst umfangreiche Informationen meist auf der Hauptseite der zuständigen Landesbehörde. Prototyp B beschränkt sich auf eine knappe, aber übersichtliche Darstellung der wichtigsten Informationen. Ausschließlich eine informationsreiche Website (Prototyp A) mit allen Informationen übersichtlich und nutzerfreundlich zu gestalten, gelingt nur bei wenigen Ausnahmen. Websites mit wenigen Kerninformationen (Prototyp B) sind meistens gut umgesetzt. Eine Kombination einer übersichtlichen Website für die wichtigsten Informationen und einer weiteren Website mit zusätzlichen Informationen ist selten, aber meist gut gelungen.

Online-Informationen zu Hochwasser unterscheiden sich insbesondere in Hinsicht auf folgende Kriterien:

- Definition und Erläuterung von Fachbegriffen
- Menge der Inhalte
- Zusatzinformationen für interessierte Laien und Experten
- Technologien zur Verbreitung der Informationen, insbesondere der Warnung (WAP, UMTS, Email, Telefon)
- Navigation
- Handlungsempfehlungen und Informationen zu Selbstschutz (Eigenvorsorge)
- Mehrsprachigkeit der Websites

Generell gut gelöst war die Verfügbarkeit und Auffindbarkeit von Pegelkarten mit Informationen zu den Pegeln und der Gebrauch einer Sprache, die für eine breite Leserschaft verständlich ist. Kontaktinformationen waren stets gegeben und die Glaubwürdigkeit der Websites war fast immer hoch einzustufen.¹

4. Verbesserungspotential und Anforderungen an die Online-Informationen zu Hochwasser

Der Webdesigner sieht sich bei der Erstellung einer offiziellen Hochwasserwebsite zahlreichen Anforderungen gegenüber. Im Folgenden werden einige wichtige Anforderungen und Möglichkeiten zur effektiveren Gestaltung der Online-Information diskutiert.

4.1 Heterogenität der Nutzer

Für wen soll die Hochwasserseite erstellt werden? Wer gehört zur Zielgruppe? Gibt es Abschnitte auf den Seiten, die fast nur von Experten gelesen werden und andere Teile nur für Laien? Wie sollen Webmaster mit Nutzern umgehen, die sowohl unerfahrene, zugezogene Hochwasserlaien als auch erfahrenen Experten sein können? Mark Pearrow wiederholt stets „Know Thy User.“ Im Prinzip ist es ganz einfach: Eine Website sollte immer für den „Dümmsten Anzunehmenden User“ (DAU) aus der Zielgruppe gestaltet werden.

¹ Nach den Kriterien zu Web Credibility des Stanford Persuasive Technology Lab.

4.2 Auffinden und Bekanntmachen der Internetseiten

Der Bekanntheitsgrad und die „Auffindbarkeit“ ist für Hochwasser Online-Informationen im Fall eines drohenden Hochwassers von entscheidender Bedeutung, um durch frühe Warnung Hochwasserschäden vorzuzorgen. Jedoch ist dies selten in ausreichendem Maß gegeben. Hinzu kommen schwer einprägsame URLs. Eine Möglichkeit dies zu verbessern, ist in konkreten kritischen Lagen mit Hilfe anderer Medien die relevanten URLs zu verbreiten. Aber auch die „Auffindbarkeit“ lässt sich mit wenig Aufwand beim Erstellen der Website derart verbessern, dass die Seite bei konventionellen Suchmaschinen im oberen Bereich angezeigt wird. Auch gut platzierte Links von der Landesseite oder themenverwandten Seiten können die Suche deutlich verkürzen.

4.3 Die 4 Phasen des Kreislaufs des Hochwasserschutzes

Eine gute Hochwasserseite sollte sich immer auf alle 4 Phasen des Kreislauf des Hochwasserschutzes beziehen und nicht nur –wie es oft der Fall ist- auf den akuten Hochwasserfall. Eine Möglichkeit der Optimierung besteht darin zentrale Inhalte der Homepage zu wechseln oder Shortcut-Links in den Vordergrund zu stellen, je nachdem ob ein Hochwasser erst langfristig droht, sich ankündigt, abläuft oder die Schäden beseitigt werden müssen.

4.4 Den Betroffenen helfen

Pegelstände, Vorhersagen und Entwicklungen werden teilweise sehr gut dargestellt und mitgeteilt. Oft sind zwar zusätzliche Informationen zu Management, Bau und Planung von Hochwasserschutzmaßnahmen online verfügbar, aber wichtige Handlungsempfehlungen und Informationen zu Selbsthilfe und Eigenvorsorge sind selten. Genau hier liegt aber ein großes, bislang kaum genutztes Potential Hochwasserschäden zu verringern. Dies sollte viel stärker im Vordergrund der Online-Information der Behörden stehen. Beispielhaft für die Unterstützung der Selbsthilfe mit Online-Informationen ist der Internetauftritt des Niederösterreichischen Zivilschutzes (www.noezsv.at), die offiziellen Hochwasserwebsites in Großbritannien, sowie die Seiten der Hochwasserschutzzentrale der Stadt Köln (www.hochwasserinfo-koeln.de). Auch NGOs, wie etwa die Bürgerinitiative Hochwasser Altgemeinde Rodenkirchen (www.hochwasser.de) und in Großbritannien das National Flood Forum (www.floodforum.org.uk) unterstützen die Behörden beim Ausbau von Resilienz.

4.5 Welche Inhalte müssen und können vorhanden sein?

Die Frage, die sich der Webdesigner einer Hochwasserwebsite ganz zu Anfang stellen sollte, ist: Welche Inhalte sollen auf den Seiten dargestellt werden? Hierbei liegt ein Problem darin, dass nicht alles, was man online darstellen kann, auch dargestellt werden sollte. Teilweise verwirren Inhalte, stören die Ordnung und Übersichtlichkeit oder verschwenden Platz und Speicherkapazität. Experten fällt es oft schwer, die Zielgruppe zu identifizieren und richtig einzuschätzen, das heißt sich in sie hinein zu versetzen. Was der Experte auf einer Hochwasserseite sehen will, nützt dem betroffenen Laien vielleicht nicht und umgekehrt. „*The beginning of failure is to let these engineers and programmers wholly design a product that is meant for use by the masses*” (Pearrow 2000). Mit Blick auf Zielgruppe, Absicht und Kontext ist der nächste Schritt dieser Arbeit verschiedene Stakeholder, insbesondere betroffene Anwohner als potentielle Nutzer, nach ihren Wünschen und Erwartungen an die Online Information zu befragen (siehe Abschnitt 5).

4.6 Readability: Nutzerzentrierte Gestaltung

Eine gute „Readability“ ist in allen 4 Phasen des Kreislaufs des Hochwasserschutzes wichtig. Eine angenehme, übersichtliche und zweckmäßige Gestaltung der Seiten ist zielführend, sowohl für die Nutzung während des Hochwasserereignisses, wenn es darum geht, dass wenig Zeit durch das Suchen der benötigten Information verloren geht, als auch vor und nach dem Hochwasserereignis, wenn es darum geht den User nicht zu verlieren, sondern das Interesse für die Inhalte der Website zu fördern. Viele kleine und große Mängel in der Gestaltung -etwa bei der Übersichtlichkeit, Verständlichkeit der verwendeten Sprache, Funktionalität und Relevanz der Informationen- können dem Nutzer die Motivation, sich weiter auf dieser Website über Hochwasser zu informieren nachhaltig verderben.

4.7 Navigation und einfach überschaubare, intuitiv verständliche Ordnungsprinzipien

Eines der auffälligsten Mankos schlecht gestalteter Hochwasserwebsites und eines der wichtigsten Kriterien der Gestaltung ist die Navigation. Die Themen müssen einfach überschaubar dargestellt und intuitiv verständlich geordnet sein. Jede Information sollte dort liegen oder verlinkt sein, wo sie der User intuitiv suchen würde.

4.8 Möglichkeiten zur Optimierung

Um die Information zu Hochwasser in Deutschland zu optimieren, bietet es sich an auf die Möglichkeiten der neuen Internet Technologien zurückzugreifen. So wäre es zum Beispiel denkbar, hochwassergefährdete Orte mit hohem Wiedererkennungswert mit Webcams auszustatten, die während eines Hochwasserereignisses als Indikator dienen. Ergänzend kann für wichtige Pegel aufgelistet werden, was sich bei welchem Wasserstand ereignet.² Fatima Basic, William Cartwright und John Handmer (2005) stellen in ihrem Model FWIS für bestimmte Pegelstände des Ortes Myrtleford in Victoria, Australien vorab berechnete Hochwasserereignisse in einer Online-Grafik dar. Sie können so lokal die Gefährdung und mögliche Überschwemmungshöhen einzelner Gebäude visualisieren.

Perspektiven eröffnen auch die neuen Entwicklungen, die oft als Web 2.0 zusammengefasst werden. Web 2.0 erlaubt mehr Interaktivität. Der interessierte User kann Inhalte selbst gestalten oder vorschlagen. Themenbezogene administrierte Webforen, Chatrooms oder Discussion Boards -an denen sich neben hochwasserbetroffenen Bürger auch verschiedene Experten beteiligen- sind mögliche Anwendungen. Auch „traditionellere“ Webanwendungen wie FAQs oder große übersichtliche Linklisten und Branchenkataloge können noch deutlich häufiger und besser eingesetzt werden.³

Um die Glaubwürdigkeit zu erhöhen ist es vorteilhaft, wenn sich die Behörde auf der Website selbst vorstellt. Auch themenbezogene Werbung schadet der Glaubwürdigkeit nicht (Fogg 2003).

Eine Regel, die für kommerzielle Websites gilt und auch für offizielle Websites umgesetzt werden sollte, ist das Durchführen von Usability Tests zur Überprüfung der Funktionalität und Verständlichkeit der Website durch die Zielgruppe selber (Pearrow 2000 / Nielson 1999). Die Vulnerabilität hochwasserbedrohter Bürger kann durch eine offizielle nationale Website zu Eigenvorsorge und Selbstschutz bei Hochwasserereignissen reduziert werden.

² Am Pegel Köln setzt die Hochwasserschutzzentrale Köln dies um (www.hochwasserinfo-koeln.de/pegel.php)

³ Die Bürgerinitiative Köln Rodenkirchen bietet dies an (www.hochwasser.de/index.php?id=191)

Durch eine Kombination des Internets mit anderen Medien kann die Online-Information ergänzt werden, um ihre Schwächen etwa in der Warnung oder den Mangel des persönlichen Gespräches auszugleichen. Hierzu bietet sich an, einen bundesweiten SMS-Warndienst einzurichten, der bei Überschreitung vorher definierter kritischer Pegelwertes automatisch SMS versendet. Weiter kann eine Telefonhotline, nach Vorbild der FLOODLINE in Großbritannien aufgebaut werden.

5. Weitere Schritte

Im nächsten Schritt werden Interviews mit Stakeholdern der Behörden, des Katastrophenschutzdienstes und verantwortlicher Webmaster, sowie Focus Group Interviews mit betroffenen Bürgern durchgeführt. Hierdurch wollen wir unter anderem erfahren, welche Informationen von den Anwendern benötigt und verstanden werden.

Auf der Basis der Ergebnisse der Interviews und obigen Überlegungen werden verbesserte Testwebsites erstellt. Diese sind auf effiziente Kommunikation optimiert (Auswahl, Anordnung und Darstellung der Informationen, insbesondere Darstellung der Informationen mit Bildern und Grafiken). Durch rekursive, schrittweise Überarbeitung der Testwebsites und Usability Tests soll so ein Optimum der Online-Information gefunden werden. Zuletzt soll so eine ideale Hochwasserinformations- und -warnwebsite gestaltet werden.

6. Diskussion

Das Internet eröffnet neue technische Möglichkeiten für die Hochwasserwarnung und Information. Mit Blick auf ein sich wandelndes Klima mit gestiegenen Häufigkeiten von Starkregenereignissen und Hochwassern einerseits und einer zunehmenden Verbreitung andererseits ist dies sehr wichtig für eine Entwicklung hin zu mehr Resilienz. Gerade in Kombination mit anderen Medien, etwa Mobilfunk, Radio und Fernsehen zur Warnung und Printmedien für komplexe Informationen kann die Vulnerabilität von Flussanrainern deutlich reduziert werden. Dies muss allerdings Hand in Hand gehen mit einem konstant hohen Bewusstsein der Gefährdungssituation. Doch dies können Online-Informationen nicht alleine leisten, sondern nur in Verbindung mit vielen anderen lokalen und regionalen Medien. Für einen nachhaltigen Hochwasserschutz sind Maßnahmen essentiell, die das Bewusstsein der Gefährdung auch durch längere hochwasserfreie Zeitabschnitte hindurch aufrechterhalten.

Danksagung

Hiermit danke ich meinen Kollegen am IWG und im Graduiertenkolleg „Naturkatastrophen“ für viele engagierte Diskussionen, sowie der DFG für die Finanzierung eines Stipendiums.

Literatur

- Becker, Rainer (2004): Medienphilosophie. Diskurs? Begriff? Neues Paradigma? Vom Scheitern eines Diskursanalytischen Versuchs. In: Sic et non. Zeitschrift für Philosophie und Kultur im Netz. www.sicetnon.org/content/mzth/pdf/Medienphilosophie-diskurs.pdf (Stand Mai 07)
- Basic, Fatima, William Cartwright, John Handmer (2005): Communicating Flood Risks to the Public through Visualisation in Scientific Computing. In: Proc. 22nd Int. Cartographic Conf., (11-16 July, A Coruna, Spain 2005) 2790-2796.
- Berz, G. (2005): Climate Change-Modest Warming, Dramatic Effects. In: Munic Re (2005) (Hrsg): *Weather Catastrophes and Climate Change. Is There Still Hope for Us?*, München; 98-105

- Fogg, B.J., Marshall, J., Laraki, O., Osipovich, A., Varma, C., Fang, N., Paul, J., Rangnekar, A., Shon, J., Swani, P., & Treinen, M. (2001). What makes Web sites credible? A report on a large quantitative study. Proc. *CHI'01, Human Factors in Computing Systems*, 61-68.
- Ihringer, Jürgen (2004): Regionalisierte Hochwasserabflüsse—Hydrologische Grundlagen zum Leitfaden Bemessungshochwasser. Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik (IWK) der Universität Karlsruhe (TH), Rot am See.
- IPCC WGII (2007) (HRSG): Working Group II Contribution to the Intergovernmental Panel on Climate Change. Fourth Assessment Report. Climate Change 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability. Summary for Policymakers, Genf, Exeter (www.ipcc-wg2.org, Stand Mai 07)
- Kaempf, Charlotte, Andreas Kron, Jürgen Ihringer (2005): Design von Simulationswerkzeugen für die Praxis des Hochwassermanagements. In: H. Nacken et al. (Hrsg.): *Entscheidungsunterstützung in der Wasserwirtschaft – Von der Theorie zum Anwendungsfall*. Tag d. Hydrologie März 2005, Aachen, Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung H. 10.05, 157 – 163
- Nielsen, Jakob (2000): Designing Web Usability, Indianapolis, Indiana
- Pearrow, Mark (2000): Web Site Usability Handbook, Rockland, Massachusetts
- Rosch, E. Heider (1973). "Natural categories", *Cognitive Psychology* 4, 328 - 350
- Tapsell, Sue. M., Penning-Rowsell, E. C., Tunstall, S. M. and Wilson, T. L. (2002): Vulnerability to flooding and preparedness: what can be done and how?, In: *Flood events - are we prepared? Proc. Final workshop on the OSIRIS project*, Berlin, März 2003

Websites

- TNS Infratest, (N)onliner Atlas, Studie zur Nutzung des Internets, <http://www.nonliner-atlas.de>
- National Flood Forum, <http://www.floodforumorg.uk> (Stand 05.07)
- Bürgerinitiative Hochwasser Köln Rodenkirchen, <http://www.hochwasser.de> (Stand Mai 07)
- Hochwasserschutzzentrale Köln, <http://www.hochwasserinfo-koeln.de> (Stand Mai 07)
- HVZ Baden-Württemberg, Hochwasserzentralen in Deutschland und Nachbarländern, <http://www.hochwasserzentralen.de> (Stand Mai 07)
- Niederösterreichischer Zivilschutzverband, <http://www.noezsv.at> (Stand Mai 07)
- Stanford Persuasive Technology Lab, <http://credibility.stanford.edu> (Stand Mai 07)

Experimentelle Untersuchung des Versicherungsverhaltens bei Hochwasserrisiko – über die Notwendigkeit und die Ziele des Computereperiments *SimFlood*

Ferdinand Zahn¹, Ute Werner¹

¹Universität Karlsruhe (TH), Lehrstuhl für Versicherungswissenschaft, 76131 Karlsruhe, Deutschland, E-Mail: f.zahn@fbv.uni-karlsruhe.de, Telefon: +49(0)721/6086788

Kurzfassung

Das deutsche Versicherungssystem für Elementarrisiken ist denkbar schlecht gegen das Hochwasserrisiko aufgestellt. Aufgrund fehlender Versicherungsnachfrage befindet sich der Versicherungsmarkt für Überschwemmungsrisiken in einem labilen Zustand. Zudem lastet der Großteil des gesamtgesellschaftlichen Hochwasserrisikos unabgesichert auf den Bürgern. Der Klimawandel übt zusätzlichen Druck auf das bestehende Versicherungssystem aus, mit der Gefahr, dass sich der labile Zustand weiter destabilisieren könnte. Angesichts der ohnehin hohen, ungesicherten Risikolasten, wäre eine weitere Destabilisierung des privaten Versicherungsmarktes bei gleichzeitig steigendem Risiko ein äußerst kritischer Zustand. Ein politisches Bestreben sollte daher sein, die Versicherungsnachfrage sowie -dichte zu erhöhen, um einerseits die Vulnerabilität der Gesellschaft zu senken und andererseits die Finanzierung der Risikolasten effizient zu gestalten. Um dieses Ziel zu erreichen, ist es notwendig, das Vorsorge- und Versicherungsverhalten bei Katastrophenrisiken besser zu verstehen, als die Entscheidungstheorie dazu gegenwärtig in der Lage ist. Mit Hilfe eines experimentellen Computerspiels Namens *SimFlood* soll daher das Versicherungsverhalten von hochwassergefährdeten Hauseigentümern untersucht werden.

Der Aufbau des vorliegenden Beitrags gestaltet sich wie folgt: Er beschreibt in den Abschnitten 1 bis 5, weshalb es aus volkswirtschaftlicher und entscheidungstheoretischer Sicht notwendig ist, das Versicherungsverhalten bei Katastrophenrisiken genauer zu verstehen. In Abschnitt 6 erklärt er das Forschungsvorhaben sowie das experimentelle Entscheidungsspiel *SimFlood*. Der Beitrag endet im Ausblick mit einer Zusammenfassung der angestrebten Forschungsziele.

Stichworte

Hochwasserrisiko, Versicherungsnachfrage, Prospect Theory, experimentelle Verhaltensforschung, Computerspiel-Experiment

1. Gesamtwirtschaftliche Belastungen durch Naturkatastrophen

Naturkatastrophen stellen ein Problem dar, und zwar nicht nur für die vielen Individuen, die ihre Lebensgrundlagen durch ein Erdbeben, einen Sturm oder ein Hochwasser verlieren. Naturkatastrophen wirken sich immer auch auf die gesamte Gesellschaft aus und können ein gesellschaftliches System im Ganzen langfristig erschüttern. Dies hat uns bspw. 2004 die Tsunamikatastrophe in Asien auf erschütternde Weise vor Augen geführt. Vor Augen geführt wurde uns 2005 durch Hurrikan Katrina aber auch, wie anfällig selbst reiche Industriestaaten gegenüber extremen Naturgewalten sind und dass eine gesamte Region eines Industriestaates in ihrer wirtschaftlichen Entwicklung zurückgeworfen werden kann.

Selbst für Deutschland kann mit der Elbeflut von 2002 ein Beispiel aus jüngster Vergangenheit genannt werden. Die Flutkatastrophe verursachte in den betroffenen Regionen Deutschlands einen volkswirtschaftlichen Gesamtschaden von 9,1 Mrd. €. Obwohl die Versicherungsdichte in diesen Regionen als überdurchschnittlich gilt¹, waren nur etwa 1,8 Mrd. € der Schäden versichert (Münchener Rück 2003). Zum Glück der Betroffenen befand sich das Land derzeit im Wahlkampf. Die amtierende Regierung unter Bundeskanzler Schröder zeigte sich vor Bundestagswahl 2004 überaus generös. Der Bund allein steuerte 5,0 Mrd. € zur Schließung der weit klaffenden Finanzierungslücke von etwa 7,3 Mrd. €² bei, was negative gesamtwirtschaftlichen Folgen nach sich zog (Schwarze und Wagner 2004). Um den immens hohen Finanzierungsbedarf ad hoc zu decken, wurde die zweite Stufe der für 2003 geplanten Steuerreform um ein Jahr verschoben, die Körperschaftssteuer um 1,5 % angehoben und Mittel im bestehenden Haushalt umgeschichtet (BMF 2002).

Es ist davor zu warnen, anzunehmen, der Staat werde bei der nächsten Katastrophe von ähnlich verheerendem Ausmaß in gleicher großzügiger Weise den betroffenen Bürgern und Gemeinden beim Wiederaufbau ihrer Lebensgrundlage unter die Arme greifen. Trotz der neuerdings konjunkturell verbesserten Situation ist und bleibt die Haushaltslage von Bund, Länder und Kommunen aufgrund der enorm hohen Schuldenlasten äußerst angespannt. Einen Spielraum für großzügige staatliche Wiederaufbauhilfen wird es daher in absehbarer Zeit nicht geben. Es muss deshalb davon ausgegangen werden, dass bei einer nächsten Flutkatastrophe die betroffenen Bürger und Gemeinden eine weitaus höhere Last des Wiederaufbaus selbst zu tragen haben werden. Sollte zudem eine Region Deutschlands getroffen werden, deren Versicherungsdichte im Bundesdurchschnitt liegt, wird der Anteil an unversicherten Bürgern weit aus höher liegen. Die Finanzierungslücke würde dann noch größer ausfallen.

2. Die Problematik des Hochwasserrisikos

Das Hochwasserrisiko ist unter allen Elementarrisiken³ in Deutschland als besonders problematisch anzusehen. Im Gegensatz zum Erdbeben-, Erdrutsch oder Lawinenrisiko kann das Hochwasserrisiko theoretisch jeden Haushalt treffen. Nahezu überall können extreme Niederschlagsereignisse Sturzfluten mit lokalen Überschwemmungen oder Rückstaueffekte im Kanalisationssystem auslösen (Hausmann 1998). Im Gegensatz zum Sturmrisiko⁴, ist das Hochwasserrisiko in Deutschland kaum versichert. Laut dem Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV) sind bundesweit, mit Ausnahme von Baden-Württemberg und den neuen Bundesländern, nur etwa 6% des privaten Wohnbestandes und etwa 10 % des Hausra-

¹ Die Versicherungsdichte in den ostdeutschen Gebieten ist im Bundesvergleich überdurchschnittlich hoch, da in den Gebieten der früheren DDR Elementarrisiken automatisch mitversichert waren. Nach der Wende haben viele Haushalte ihren alten Versicherungsschutz beibehalten. Nach einer Umfrage in den vom August-Hochwasser betroffenen Regionen Sachsens und Sachsen-Anhalts waren rund 50% der befragten Haushalte gegen Hochwasser versichert (DKKV 2003).

² Die staatlichen Kompensationen zur Wiederaufbau- und Soforthilfe beliefen sich, ohne die Summe der privaten Spenden, die Versicherungsleistungen und die einzelnen zusätzlichen Zuweisungen aus den Haushalten der Länder zu berücksichtigen, auf etwa 9,8 Mrd. €. Davon übernahm der Bund etwa 5 Mrd. €, Länder und Kommunen etwa 3,6 Mrd. € und die EU etwa 1,2 Mrd. € (BMF, 2002). Die 9,1. Mrd. € volkswirtschaftliche Schäden, die die Elbeflut verursachte, wurden damit bei weitem überkompensiert.

³ Zu den Elementarrisiken zählen Naturereignisse, wie Vulkanausbrüche, Erdbeben, Erdsenkungen, Erdrutsche, Lawinen, Schneedruck, Stürme, Hagel, Starkregen und Hochwasser, die den Menschen bedrohen.

⁴ Sturm- sowie Feuerschäden werden in Deutschland traditionell von der Wohngebäudeversicherung abgedeckt, die in aller Regel von den Banken zur Kreditabsicherung verlangt wird. Die Versicherungsdichte gegen das Sturmrisiko ist daher in Deutschland relativ hoch. Nahezu die Hälfte aller Sturmschäden der vergangenen 30 Jahre war versichert (Münchener Rück 2005).

tes gegen Überschwemmungsschäden versichert.⁵ Dabei ist das Schadenpotential von Überschwemmungen vergleichsweise hoch.⁶ Das durchschnittliche Schadenvolumen von Hochwasserereignissen liegt bei etwa 420 Mio. € im Jahr. Versichert sind dagegen durchschnittlich nur etwa 88 Mio. € (Münchener Rück 2005). Sollte das Hochwasserrisiko etwa durch die zu erwartende Effekte des Klimawandels tatsächlich in Häufigkeit und Schadenausmaß zunehmen, so wird sich bei gleich bleibendem Vorsorgenniveau die Vulnerabilität der Gesellschaft deutlich erhöhen.⁷

Nochmals zusammengefasst: Das Schadenpotential sowie das mittlere jährliche Schadenvolumen sind in Deutschland im Vergleich zu allen anderen Elementarrisikoarten relativ hoch und werden sich den Prognosen zufolge weiter verschärfen. Gleichzeitig sind die Versicherungsdichte und die Versicherungsnachfrage äußerst gering. Die Vulnerabilität in Form nicht abgesicherter Hochwasserrisiken dürfte damit weiter steigen.

3. Die Mängel des deutschen Versicherungssystems

In Deutschland ist das Hochwasserrisiko über die erweiterte Elementarschadenversicherung⁸ versicherbar. Sie kann im Rahmen der privaten Hausrat- und Wohngebäudeversicherung gegen eine Zusatzprämie freiwillig abgeschlossen werden. Das Versicherungssystem von Elementarrisiken basiert somit auf einer rein privatwirtschaftlichen Lösung, ohne Versicherungszwang und ohne staatliche Rückendeckung in Form einer staatlich garantierten Ausfalldeckung. Dieses System scheint jedoch nicht geeignet zu sein, den gesellschaftlichen Anforderungen einer optimalen Risikoallokation gerecht zu werden. D.h. es scheint mit Hilfe des Systems nicht zu gelingen, die Risikolasten zu den kleinst möglichen gesellschaftlichen Kosten in der Gesellschaft zu verteilen.

3.1 Marktunvollkommenheiten

Aufgrund der niedrigen Versicherungsnachfrage ist der Ausgleich im Risikokollektiv gering. Dadurch wird die Schadenlast je Kollektivmitglied, in Form der Prämie, relativ teuer. Dies wiederum führt dazu, dass die Solidargemeinschaft besonders für die weniger gefährdeten potentiellen Versicherungsnehmer weiter an Attraktivität verliert. Es kommt zu einer sogenannten „negativen Risikoauslese“, d.h. es fragen tendenziell die gefährdeteren Versicherungsnehmer Versicherungsschutz nach, so dass die Solidargemeinschaft weiter schrumpft und sich die Prämie weiter verteuert. Die Versicherungsunternehmen wehren sich vor einer Konzentration von ausschließlich gefährdeten Versicherungsnehmern in ihrem Versicherungspool unter anderem durch den Ausschluss der gefährdetsten Versicherungsobjekte, wodurch sich das Kollektiv abermals verringert. In letzter Konsequenz pendelt der Versicherungsmarkt in ein Gleichgewicht, in dem die gefährdetsten Objekte keinen Versicherungsschutz erhalten und viele der weniger gefährdeten potentiellen Versicherungsnehmer keinen Versicherungsschutz wollen. So bildet nur ein kleiner Kreis an relativ gefährdeten Versiche-

⁵ Persönl. Gespräch mit Herrn Schönberger vom GDV am 27.07.05

⁶ 18% der seit 1970 registrierten Katastrophenereignisse waren Überschwemmungen, die allerdings 42% aller volkswirtschaftlicher Schäden verursachten (Münchener Rück 2005).

⁷ Simulationsberechnungen der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) lassen vermuten, dass allein aufgrund des Klimawandels das Hochwasserrisiko in Süddeutschland zunehmen wird, vgl. Hennegriff et al. (2006).

⁸ Die erweiterte Elementarschadenversicherung bietet einen gebündelten Versicherungsschutz gegen Elementarrisiken. Sie schließt automatisch, neben der Deckung der Hochwasserrisiken, auch die Deckung von Erdbeben-, Erdbeben-, Erdsenkungs-, Schneedruck-, Lawinen-, und Vulkanausbruchrisiken ein.

rungsnehmern zu relativ hohen Prämien eine Solidargemeinschaft. Eine Situation, die sich in der deutschen Realität widerspiegelt.

Dieser Zustand verschärft sich zudem dadurch, dass eine geringe Versicherungsdichte im Katastrophenfall ungeheuren Druck auf die jeweils amtierende Regierung ausübt die Betroffenen zu entschädigen. Staatliche Entschädigungszahlungen wirken weiter nachfragemindernd.

Das hier skizzierte Dilemma ließe sich nur durch eine höhere und breiter gestreute Nachfrage nach Versicherungsschutz durchbrechen. Bei einer flächendeckenden Versicherungsdichte könnten die Versicherungsunternehmen ihre Prämien senken und die Versicherungsbedingungen lockern.⁹

3.2 Anpassungsdruck durch den Klimawandel

Sollte das Hochwasserrisiko angesichts des Klimawandels tatsächlich auch in Deutschland zusätzlich steigen¹⁰, stellt sich die Frage, wie sich das Zusammenspiel aus Nachfrage und Angebot auf dem Versicherungsmarkt entwickelt. Es ist gut möglich, dass sich der oben skizzierte labile Zustand des Versicherungsmarktes verschlechtert, wenn sich aufgrund der Risikozunahme die Versicherungsbedingungen weiter verschärfen und sich die Prämien in stärkerem Ausmaß verteuern, als sich die Wahrnehmung und die Versicherungsbereitschaft der potentiellen Versicherungsnehmer anpassen kann. Die Folge einer solchen Entwicklung wäre ein weiterer Rückgang der Versicherungsnachfrage, damit eine weitere Selektion und Verkleinerung des Risikokollektivs mit abermals steigenden Prämien. Im Extremfall käme es zu einem Zusammenbruch des privaten Versicherungsmarktes für Elementarrisiken mit extremen staatlichen Belastungen im Katastrophenfall.

Da die Risikolasten aufgrund der geringen Versicherungsdichte gegenwärtig ohnehin schon stark unterfinanziert sind, entsteht durch die befürchteten Auswirkungen des Klimawandels eine zusätzliche Notwendigkeit, die Vorsorgebereitschaft in der Gesellschaft zu erhöhen und ihre Vulnerabilität zu senken. Diese Notwendigkeit verschärft sich, sollte die Versicherungsnachfrage auf die Risikozunahme kaum reagiert und der private Versicherungsmarkt infolge des Zusammenspiels von Angebot und Nachfrage daraufhin zusammenbricht.

4. Theoretischer Klärungsbedarf

Aus entscheidungstheoretischer Sicht besteht bei dem beobachtbaren Versicherungsverhalten großer Klärungsbedarf. Keiner der beiden gängigsten Entscheidungstheorien, weder die Erwartungsnutzentheorie noch die Prospect Theory, kann das Versicherungsverhalten bei Katastrophenrisiken beschreiben oder sich das gegenwärtig zu beobachtende Vorsorgeverhalten erklären.¹¹

⁹Hausmann (1998) illustriert exemplarisch, dass bei einer Solidargemeinschaft der gesamten Bevölkerung die Prämien etwa um den Faktor 20 tiefer liegen könnten, als bei einem Risikokollektiv, das sich nur auf die Hochgefährdeten beschränkt.

¹⁰Neben dem Klimawandel werden für die Zunahme des Hochwasserrisikos in Deutschland vor allem zwei weitere Ursachen verantwortlich gemacht. Zum Einen erhöht die weiter voranschreitende Urbanisierung und die damit einhergehende Versiegelung von Bodenflächen das Hochwasserrisiko, vgl. hierzu BMU (2002). Zum anderen lässt die weitere Intensivierung von Kapital und Technik die Vulnerabilität der Gesellschaft steigen, vgl. hierzu Münchener Rück (1999).

¹¹Der Prospect Theory nach bewertet ein Entscheider eine Risikosituation, indem er die bewertete Eintrittswahrscheinlichkeit, $w(\pi)$, des möglichen Ereignisses mit dem bewerteten Schadenausmaß des Ereignisses, $U(L)$, potenziert. Die Prospect Theory stellt damit eine Verallgemeinerung der Erwartungsnutzentheorie dar, nach der der Entscheider die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadenereignisses stets mit Eins bewertet. Für eine Ein-

Eine Versicherungsentscheidung lässt sich als Wahl zwischen zwei Risikosituationen interpretieren. Abstrakt dargestellt hat ein Eigentümer bei der Versicherungsentscheidung die Wahl zwischen zwei Risikosituationen. Er muss sich entscheiden, ob er eine Situation, in der mit kleiner Wahrscheinlichkeit ein bestimmtes Ereignis mit einem relativ großen Schaden eintritt, einer Situation, in der mit 100 %iger Sicherheit ein Ereignis mit einem relativ geringen Schaden (in Form einer Prämie) eintritt, vorzieht.

Angenommen der Entscheider ist im Stande dem Ergebnis einer Risikosituation und allen sich ihm bietenden alternativen Risikosituationen einen Wert beizumessen, so besteht für ihn immer noch das Problem, auch die Gefahr, also die Wahrscheinlichkeit eines Ereigniseintritts, aller in Frage kommenden Risikosituationen in Relation zueinander zu bewerten. Die klassische Erwartungsnutzentheorie nimmt vereinfachend an, dass jeder Entscheider die Wahrscheinlichkeit eines beliebigen Risikos einer beliebigen Risikoart so beurteilt, dass seine Wahrnehmung und seine Bewertung stets der tatsächlichen Eintrittswahrscheinlichkeit entsprechen. Mit dieser Annahme setzt die Erwartungsnutzentheorie gleichzeitig voraus, dass die Entscheidungsträger die tatsächlichen Eintrittswahrscheinlichkeiten der Risikosituationen kennen, mit denen sie sich konfrontiert sehen. Sie behauptet damit, dass die Entscheider mit Wahrscheinlichkeiten *rational* umgehen, d.h. dass sie sich stets allen sie betreffenden Risiken bewusst sind und die Gefahren in der Höhe wahrnehmen, bewerten und beurteilen, die sie tatsächlich auch einnehmen.

Die Prospect Theory geht an dieser Stelle einen entscheidenden Schritt weiter. Gemäß der Prospect Theory bewertet ein Entscheidungsträger eine Risikosituation, indem er sowohl die Gefahr des Risikoeintritts als auch das Schadensmaß des möglichen Ereignisses persönlich bewertet. Tversky und Kahneman (1992) konnten zeigen, dass die Entscheider die Eintrittswahrscheinlichkeiten in der Regel allerdings über- oder unterschätzen. Sie zeigten zudem, dass die Höhe der Gefahrenbewertung von der Höhe der jeweils betrachteten Eintrittswahrscheinlichkeit abhängt. Risiken mit niedrigen Wahrscheinlichkeiten (Risiken mit Eintrittswahrscheinlichkeiten von etwa 0,05 bis 0,6) werden überschätzt. Risiken mit hohen Wahrscheinlichkeiten (Risiken mit Eintrittswahrscheinlichkeiten von etwa 0,6 bis 0,95) werden unterschätzt. Das bedeutet, dass bspw. unterschiedliche Risikoarten, die mit unterschiedlich hoher Wahrscheinlichkeit zu einem gleichen Ergebnis führen, paradox bewertet werden können.¹²

Versicherbare Überschwemmungsrisiken bewegen sich in einem Wahrscheinlichkeitsbereich unterhalb von 0,1. Für diesen Bereich ist die Bewertungsfunktion der Prospect Theory nicht definiert. Sie verläuft im Extrembereich nahe Null unstetig und kann einen Wert annehmen, der die tatsächliche Wahrscheinlichkeit sowohl unter-, als auch überschätzt (Kahneman und Tversky 1979:282ff)

Insgesamt sind vor allem drei Bedarfsfelder zu konstatieren, die es notwendig erscheinen lassen, das Entscheidungs- und Versicherungsverhalten bei Katastrophenrisiken- für Deutschland insbesondere das Versicherungsverhalten bei Hochwasserrisiko- näher zu betrachten.

führung in die Erwartungsnutzentheorie sei an dieser Stelle auf Zweifel und Eisen (2003) und für die Prospect Theory auf Kahnemann und Tversky (1979) bzw. auf Tversky und Kahneman (1992) verwiesen.

¹² Beispielhaft sei die unterschiedliche Risikobewertung im Luft- und Straßenverkehr genannt. Obwohl statistisch gesehen in Deutschland die Gefahr im Straßenverkehr zu verunglücken größer ist, als im Luftverkehr, ist Flugangst das weitverbreitetere Phänomen.

Aufgrund der fehlenden Versicherungsnachfrage ist der Versicherungsmarkt für Überschwemmungsrisiken in Deutschland unvollkommen, mit der Konsequenz, dass das gesamtgesellschaftliche Hochwasserrisiko unabgesichert auf den Bürgern lastet.

Der Klimawandel übt zusätzlichen Druck auf das bestehende Versicherungssystem aus. Je nachdem wie die Versicherungsnachfrage auf eine Risikozunahme reagiert, könnte sich das derzeitige labile System weiter destabilisieren. Angesichts der bestehenden ungesicherten Risikolasten wäre eine weitere Destabilisierung des privaten Versicherungsmarktes, bei gleichzeitig steigenden Risikolasten, ein äußerst kritischer Zustand.

Zu guter Letzt besteht aus entscheidungstheoretischer Sicht ein Interesse, das Entscheidungsverhalten bei Katastrophenrisiken in die theoretische Modellwelt einzuordnen.

Die Hauptursache, und damit auch das Ziel zur Lösung der beschriebenen Problematik, liegt auf der Hand: die Vorsorge- und Versicherungsbereitschaft ist zu niedrig. Ein politisches Bestreben sollte daher sein, die Versicherungsnachfrage sowie -dichte zu erhöhen, um einerseits die Vulnerabilität der Gesellschaft zu senken und andererseits die Finanzierung der Risikolasten gesellschaftlich gesehen möglichst kostengünstig zu gestalten. Um dieses Ziel zu erreichen, bedarf es eines besseren Verständnisses des Vorsorge- und Versicherungsverhaltens von Entscheidern.

5. Gründe für eine geringe Versicherungsnachfrage

Letztlich gibt es zwei Erklärungen für die geringe Vorsorge- bzw. Versicherungsnachfrage. Erstens, die Entscheidungsträger kennen die Gefahr nicht. Wer die Gefahr bzw. die Eintrittswahrscheinlichkeit eines negativen Ereignisses nicht kennt, der wird nur schwer dazu bereit sein, Geld für Schutzmaßnahmen auszugeben. Zweitens, der Entscheidungsträger kennt zwar die Gefahr, doch nimmt er sie subjektiv so wahr, dass er sie anders bewertet, als sie tatsächlich ausgeprägt ist. Dies kann dazu führen, dass ein Entscheider eine Gefahr unterschätzt, und er damit dem Schutz vor diesem Risiko einen geringeren Wert beimisst, als dem Schutz vor anderen nicht unterschätzten Risiken. Im Extremfall reicht die Unterschätzung eines Risikos bis zu seiner völligen Verdrängung, so dass ein Entscheider zwar die Kenntnis über die Existenz eines Risikos besitzen mag, jedoch kein Problembewusstsein entwickelt. In beiden Fällen ist es einleuchtend, dass die Zahlungsbereitschaft eines Entscheiders für Schutzmaßnahmen gering ausfällt bzw. ganz ausbleibt.

Da fehlende Information oder der „falsche“ Umgang mit Information der Grund für eine zu geringe Vorsorgebereitschaft zu sein scheint, ist die entscheidende Frage, wie denn genau der Umgang mit Informationen in diesem Zusammenhang funktioniert. Wie bewertet der Entscheider welche Art von Information und wovon hängt die Bewertung der jeweiligen Information ab? Wie sehr beeinflusst die Informationsbewertung die Beurteilung der Risikosituation und damit auch die Vorsorgebereitschaft?

6. Das Forschungsvorhaben

Um diesen Fragen nachgehen zu können, wurde ein Entscheidungsexperiment entwickelt, das die typische Versicherungsentscheidungssituation hochwassergefährdeter Entscheider simuliert, um ihre Gefahrenwahrnehmung und Zahlungsbereitschaft erfassen zu können.

6.1 Das Simulationsspiel *SimFlood*

Das Entscheidungsexperiment *SimFlood* wurde als Computerspiel entwickelt, in dem die typische Versicherungsentscheidungssituation eines hochwassergefährdeten Hauseigentümers simuliert wird. Ein Spieler wird in *SimFlood* in die Rolle eines hochwassergefährdeten Hauseigentümers versetzt, der sich zu entscheiden hat ob und zu welchem Preis er sein Eigenheim gegen das Überschwemmungsrisiko schützen möchte. Schützen kann ein Spieler sein Eigenheim, indem er mit Hilfe seines Rundeneinkommens eine Versicherung abschließt. Kauft sich ein Spieler keinen Versicherungsschutz, so spart er sich sein Rundeneinkommen auf, das ihm in Form von Spielpunkten gutgeschrieben wird. Die angesammelten Spielpunkte kann der Spieler gegen Ende des Spiels in einer Verlosung gewinnen (max. 500 €). Ereignet sich im Spiel ein Hochwasser, entstehen an dem Gebäude eines Spielers Schäden.¹³ Unversicherte Schäden muss ein Spieler unter Verwendung seines Rundeneinkommens reparieren lassen, so dass ihm das Ansammeln von Spielpunkten unter Umständen für einige Spielrunden verwahrt bleibt.

Aufgabe eines Spielers ist es, über mehrere Spielrunden hinweg die Überschwemmungsgefahr seiner Spielsituation einzuschätzen und sich in jeder Runde neu zu entscheiden, ob und zu welchem Preis er bereit ist, eine Hochwasserversicherung abzuschließen. Die Ausstattung an Informationen, auf deren Basis ein Spieler seine Einschätzungen und Entscheidungen trifft, variiert unter den Spielern. Insgesamt werden die Spieler in 12 sogenannte Risikogruppen eingeteilt. In jeder dieser Risikogruppen stehen den Spielern unterschiedlich Informationen zur Verfügung. Für jede Risikogruppe ist somit festgelegt, welche Informationsform, welche Informationsqualität und welche Informationsintensität die jeweiligen Spieler erhalten.

Allen Risikogruppen ist jedoch gemein, dass ein Spieler weder die Anzahl der zu spielenden Runden noch die Höhe der Versicherungsprämie in einer Spielrunde kennt. Die Prämien schwanken von Runde zu Runde zufällig um den Schadenerwartungswert der jeweiligen Spielsituation. Ein Spieler legt sich in jeder Runde fest, zu welchem Preis er maximal bereit ist, sich zu versichern. Liegt er mit seinem Kaufgebot über der im Anschluss bestimmten Prämie, erhält er als Gegenleistung für seine Zahlung Versicherungsschutz, ansonsten bleibt er unversichert.

Im Laufe des Spiels verändert sich die Gefahrensituation eines Spielers. Diese kann sich je nach der anfänglichen Gefahrenlage des Spielers verschärfen oder verbessern. Parallel zur Gefahrenänderung verändern sich die Prämien, so dass ein Spieler bereit sein muss sein Verhalten ebenfalls anzupassen, sofern er Versicherungsschutz zu kaufen wünscht.

Auf diese Weise wird über den Spielverlauf die Gefahrenwahrnehmung eines Spielers, sowie seine maximale Zahlungsbereitschaft in Abhängigkeit der Untersuchungsparameter erfasst. Zusätzlich werden von jedem Spieler Daten zu seiner Person, seiner Hochwassererfahrung und seiner Risikobereitschaft anonym erfasst. Bei der Anmeldung zur Spielteilnahme¹⁴ werden die Spieler gebeten, einen kurzen Online-Fragebogen zu beantworten. Die Erfassung dieser Daten dient dazu, die Teilnehmer gemäß der erfragten Merkmale in möglichst statistisch-

¹³ Das Spiel unterscheidet zwischen zwei Überschwemmungsereignissen: Einem periodischen Ereignis, das tendenziell häufiger, dafür aber mit einem geringen Schadenausmaß eintritt und einem episodischen Ereignis, das relativ selten, aber mit einem hohen Schadenausmaß eintritt. Für mehr Informationen siehe bitte auch auf www.simflood.de.

¹⁴ Die Teilnahme am Spiel steht jedem offen und wird vom Autor herzlichst begrüßt. Bei Interesse gelangen Sie über die Homepage www.simflood.de zur Anmeldung.

homogene Risikogruppen einteilen zu können. So werden die einzelnen Risikogruppen hinsichtlich der Untersuchungsparameter vergleichbar.

6.2 Ziele des Forschungsvorhabens

Mit Hilfe des Experiments soll das Versicherungsverhalten der Spieler angesichts drohender und folgenschwerer aber sehr seltener Hochwasserereignisse untersucht werden. Im Zentrum der Untersuchung stehen die Auswirkungen verschiedener Informationsquellen auf die Gefahrenwahrnehmung und die Zahlungsbereitschaft, sowie auf die hieraus ableitbare Risikoneigung und Gefahrenbewertung der Spieler (Abb. 1). Unterschieden werden statische von dynamischen Informationsquellen.

Unter „statische Informationsquellen“ sind

- ambigue Informationen, in Form einer ungenauen Beschreibung der Gefahrensituation im Spiel,
- genaue Informationen, in Form einer Gefahrenbeschreibung mit exakten Angaben zur Hochwasserwahrscheinlichkeit,
- und Informationen über eine Gefahrenänderung entsprechend der festgelegten Informationsqualität zusammengefasst.

Unter „dynamischen Informationsquellen“ werden

- direkte Erfahrungen, in Form eigener Hochwassererfahrung im Spiel,
- und indirekte Erfahrungen, in Form von Schaden- und Katastrophenmeldungen aus der Spielnachbarschaft, verstanden.

Das Spiel unterscheidet 12 Risikogruppen mit einer unterschiedlichen Ereignis- und Informationsdichte, sowie unterschiedlich hohen Prämien. D.h. je nach Risikogruppen sind die Spieler unterschiedlich mit Informationen zu ihrer jeweiligen Gefahrensituation, mit einer unterschiedlichen Anzahl an Ereignissen oder unterschiedlich hohen Prämien ausgestattet. Die Risikogruppen sind so konzipiert, dass sie hinsichtlich dieser Informationsparameter verglichen werden können.

Zudem wurde bei der Konzeption des Spiels darauf geachtet, dass ohne großen Mehraufwand auch die ökonomischen Parameter im Spiel veränderbar sind, um bei Bedarf auch ihren Einfluss auf das Versicherungs- und Wahrnehmungsverhalten der Spieler untersuchen zu können. Die Einteilung der Spieler in die Risikogruppen erfolgt mit Hilfe der im Online-Fragebogen erhobenen Daten.

7. Ausblick

Die Konstellation der Risikogruppen ermöglicht es, die Wirkungsweise verschiedener Informationsquellen auf das Wahrnehmungs- und Entscheidungsverhalten der Spieler zu untersuchen. Je nach Vergleichskombination der entsprechenden Risikogruppen lassen sich zudem Aussagen über die Wirkung der Informationsarten bei unterschiedlicher Qualität und Intensität treffen.

Das Forschungsvorhaben versucht mit Hilfe des Experiments im Wesentlichen drei Ergebnisse zu erzielen:

Erstens zielt die Untersuchung darauf ab, die Effektivität verschiedener Informationsquellen zu erfassen, mit denen sich die Gefahrenwahrnehmung und die Versicherungsbereitschaft hochwassergefährdeter Personen erhöhen lassen. Zweitens wird das Experiment Aussagen

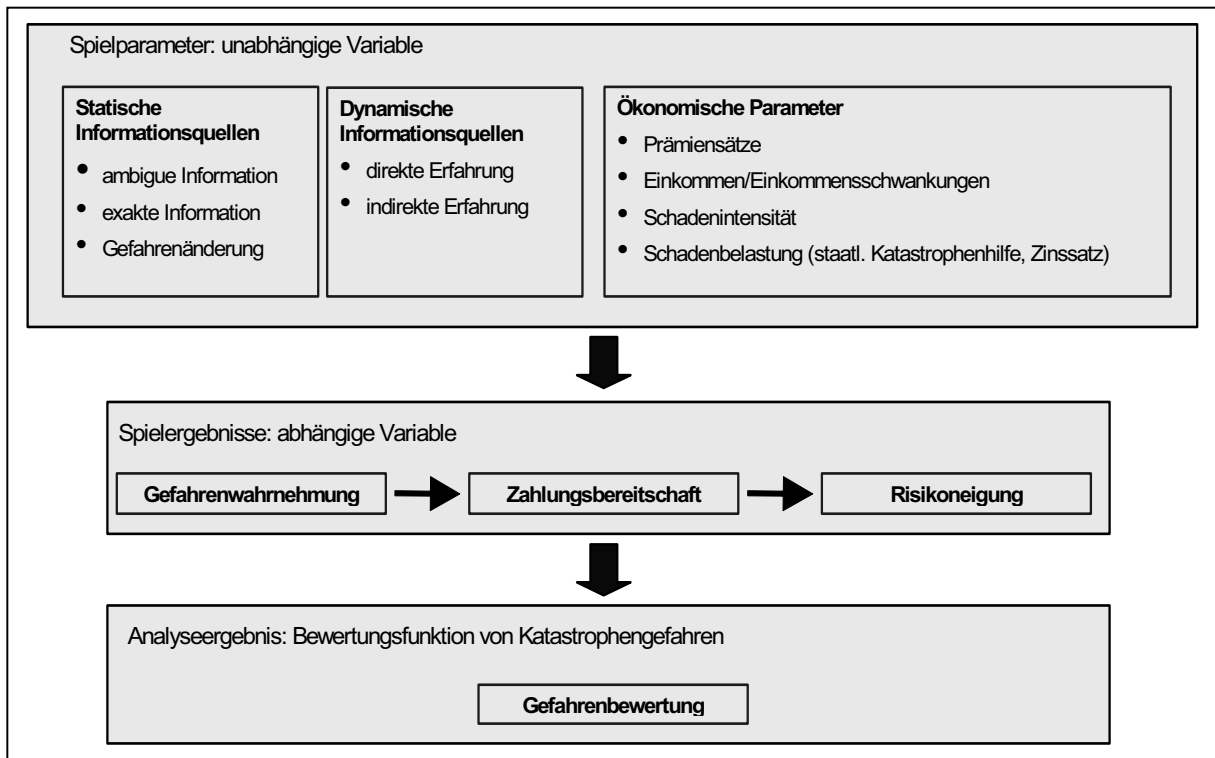


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Forschungsvorhabens.

über die Anpassungsfähigkeit hochwassergefährdeter Personen an eine sich ändernde Bedrohungslage liefern, sowie Erkenntnisse, wovon diese beeinflusst wird. Schließlich verfolgt das Projekt das Ziel, die Risikoneigung katastrophengefährdeter Personen auf eine Abhängigkeit vom Informationsniveau zu untersuchen und zu beschreiben. Als Frage formuliert, sollen mit Hilfe des Experimentes Antworten auf folgende vier Fragen gefunden werden:

- Frage I: Wie wirkt sich die Informationsausstattung auf das Entscheidungsverhalten der Probanden aus? D.h. welchen Einfluss übt welche Form der Information auf die Gefahrenwahrnehmung, auf die Versicherungsbereitschaft und auf das Anpassungsverhalten der Probanden nach einer Gefahrenänderung aus?
- Frage II: Wie wirkt sich insbesondere die Hochwassererfahrung auf das Entscheidungsverhalten der Spieler aus? D.h. welchen Einfluss üben die Häufigkeit der Ereignisse, sowie die Schadenhöhe auf die Gefahrenwahrnehmung, die Versicherungsbereitschaft und auf das Anpassungsverhalten der Spieler aus?
- Frage III: Wie sehr wirkt sich Hochwassererfahrung auf die Informationsverwertung der Spieler aus? D.h. entfalten Informationen über die Gefährdungslage je nach Hochwassererfahrung der Spieler eine unterschiedliche Wirkung?
- Frage IV: Wie lässt sich das Entscheidungsverhalten in Abhängigkeit der Informationsquellen beschreiben? D.h. unterscheidet sich die Gefahrenwahrnehmung von der Gefahrenbewertung und wovon hängt die Gefahrenbewertung ab? Inwieweit hängt die Risikoneigung der Spieler von der Art, der Qualität und der Intensität der verschiedenen Informationsvariablen ab?

Zudem verspricht das Forschungsvorhaben interessante Erkenntnisse über eine neuartige Methodik der Datenerhebung in Form eines experimentellen Computerspiels. Moderne Simulationsspiele beherbergen ein enormes Potential für die Verhaltensforschung. Beispielhaft für viele andere, frei zugängliche Online-Spiele, sei hier das Spiel *Second Life* genannt, in dem

der User eine zweite Identität in einer virtuellen Welt annimmt, um dort sein „gewünschtes Leben“ zu leben. Man stelle sich vor, bei der Anmeldung zu diesem Spiel würden persönliche Daten erfasst und zusammen mit sämtlichen Spielentscheidungen des Users in einer Datenbank gespeichert. Eine Firma könnte bspw. ein neues Produkt zunächst auf dem virtuellen Markt eines solchen Spiels platzieren, um so die Akzeptanz und die Zahlungsbereitschaft der zunächst virtuellen, aber potentiellen Kunden zu erforschen, und dies weltweit zu allen nur vorstellbaren, kulturellen Unterschieden.

Das hier vorgestellte Spielexperiment experimentiert mit diesen Mechanismen. Es versucht die Spieler in eine virtuelle, aber möglichst realistische Welt zu versetzen, um auf diese Weise Daten über die Gefahrenwahrnehmung und die Versicherungszahlungsbereitschaft der Spieler zu erlangen. Auch wenn die Umsetzung des Spiels relativ einfach gehalten wurde und auch die Spielwelt recht simpel ist, so konnte dennoch bei bisherigen Testversuchen eine erstaunlich hohe Identifikation der User mit der Spielwelt festgestellt werden. Dies lässt darauf hoffen, dass die Daten im Vergleich zu den sonst üblichen Formen der Datenerhebung eine relativ hohe Qualität besitzen.

Literaturverzeichnis

- Bundesministerium der Finanzen (BMF) (2002) Flutkatastrophe August 2002: Soforthilfe und Wiederaufbau, -Monatsbericht 09.2002. http://www.bundesfinanzministerium.de/lang_de/DE/Service/Downlads/Abt__I/Monatsbericht/14268__0,templateId=raw,property=publicationFile.pdf.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (2002) Hochwasserschutz und Flutkatastrophen, Hintergrundpapier, Berlin; <http://www.bmu.de/publikationen/doc/5093.php>.
- Deutsches Komitee für Katastrophenvorsorge e.V. (DKKV) (2003) Hochwasservorsorge in Deutschland: Lernen aus der Katastrophen 2002 im Elbgebiet. - Schriftreihe 29, Bonn.
- Hausmann P. (1998) Überschwemmungen: Ein versicherbares Risiko? – Schweizer Rückversicherungs-Gesellschaft, Zürich.
- Hennegriff W., Kolokotronis V., Weber H., Bartels H. (2006) Klimawandel und Hochwasser Erkenntnisse und Anpassungsstrategien beim Hochwasserschutz.- KA – Abwasser, Abfall 53/8:770-779.
- Kahneman D., Tversky A. (1979) Prospect Theory: An Analysis of Decision under Risk. – *Econometrica* 47/2:263-292.
- Münchener Rück (1999) topics 2000 Naturkatastrophen – Stand der Dinge, München. <http://www.munichre.com>.
- Münchener Rück (2003) topics 2002 Jahresrückblick Naturkatastrophen 2002, München. <http://www.munichre.com>.
- Münchener Rück (2005) Naturkatastrophen in Deutschland 1970-2004. – GeoRisikoForschung, München.
- Schwarze R., Wagner G. G. (2004) In the Aftermath of Dresden – New Directions in German Flood Insurance. - *Geneva Papers of Risk and Insurance* 29:154-169.
- Tversky A., Kahneman D. (1992) Advances in Prospect Theory: Cumulative Representation of Uncertainty. - *Journal of Risk and Uncertainty* 5:297-323.
- Zweifel P., Eisen R. (2003). *Versicherungsökonomie*. – 491 S., Springer, Berlin.

Probabilistisches Bemessungskonzept für das Versagen von Flussdeichen unter Berücksichtigung geotechnischer Gegebenheiten

Rainer Zesch¹, Ulrich Saucke¹, Theodoros Triantafyllidis¹, Andreas Bieberstein¹

¹Universität Karlsruhe (TH), Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik, Engler-Bunte-Ring 14, 76131 Karlsruhe, Deutschland, E-Mail: rainer.zesch@ibf.uni-karlsruhe.de, Telefon: +49(0)721/6082224

Kurzfassung

In diesem Beitrag wird aufgezeigt, wie Versagenswahrscheinlichkeiten von Flussdeichen bestimmt werden können. Es wird dargestellt, dass geotechnische Parameter maßgeblichen Einfluss auf die resultierende Versagenswahrscheinlichkeit nehmen. Hieraus folgt, dass geotechnische Gegebenheiten besonders zu untersuchen und zu berücksichtigen sind. Kriterien zur Bestimmung von Schwachstellen in Deichstrecken, an welchen die Versagenswahrscheinlichkeit zu ermitteln ist, werden erläutert. Ein Fehlerbaum verdeutlicht die Zusammenhänge zwischen einzelnen Versagensmechanismen. Die Vorgehensweise zur Bestimmung von Versagenswahrscheinlichkeiten wird anhand eines Beispiels erläutert.

Stichworte

Fehlerbaum, Flussdeich, Probabilistische Bemessung, Versagensmechanismus, Versagenswahrscheinlichkeit

1. Einleitung

Der Schutz vor Überschwemmung flussnaher Gebiete bei Hochwasser wird traditionell durch die Errichtung von Deichen gewährleistet. In der Vergangenheit war es üblich, nach einer Überschwemmung infolge eines Deichbruches oder einer Überströmung die Deichstrecken zu verstärken und zu erhöhen. Heutzutage werden Deiche für einen bestimmten Bemessungshochwasserstand ausgelegt und deren Aufbau und Geometrie entsprechend den maßgebenden Einwirkungen bemessen (DIN 19712). Trotzdem können Deiche keine absolute Sicherheit vor Überflutung bieten, da es immer wieder Hochwasserereignisse geben kann, für welche die Deiche nicht ausreichend bemessen sind.

In jüngster Vergangenheit gewinnen Aussagen über ein mit den Auswirkungen einer Maßnahme verbundenes Risiko zunehmend an Bedeutung. Mittels einer Risikoanalyse kann abgewogen werden, welche begleitenden Maßnahmen für eine Risikominimierung getroffen werden können. Voraussetzung für solche Risk-Assessment-Verfahren ist die Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadens, also der Versagenswahrscheinlichkeit sowie des Schadensumfanges.

Ziel des vorliegenden Beitrages ist es, ein Bemessungskonzept vorzustellen, welches die maßgebenden geotechnischen Versagensfälle von Flussdeichen behandelt und hieraus resultierende Versagenswahrscheinlichkeiten von Flussdeichen angibt. Hierfür werden die Grundlagen der probabilistischen Bemessung und ihr Zusammenhang mit Versagenswahrscheinlichkeiten dargelegt. Die zu berücksichtigenden Versagensmechanismen werden ebenso erläutert wie der zugrunde liegende Fehlerbaum. Ferner wird ein Ausblick zum weiteren Vorgehen gegeben.

2. Probabilistische Bemessung und Versagenswahrscheinlichkeiten

Kennzeichnendes Merkmal eines probabilistischen Bemessungskonzeptes ist die Berücksichtigung der Streuung von in die Bemessung eingehenden Parametern. Beispielsweise wird zur Ermittlung des Bemessungshochwasserstandes (BHW) auf Grundlage von langjährigen Abflussganglinien und unter Zuhilfenahme statistischer Werkzeuge der Abfluss des Bemessungshochwassers (BHQ) festgelegt und daraus der Bemessungshochwasserstand bestimmt. Diesem Wasserstand kann eine Auftretenswahrscheinlichkeit, die sogenannte Jährlichkeit, zugeordnet werden. Dies bedeutet, dass der Wasserstand im statistischen Durchschnitt ein Mal innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls überschritten wird. Auch die Festlegung der maßgebenden geotechnischen Bodenparameter des Deichuntergrundes sowie des Deichkörpers ist nicht frei von einer statistischen Betrachtung.

Hacking (vgl. Baecher et al. 2003) unterscheidet zwischen der „aleatorischen Unsicherheit“, der aus der natürlichen Variabilität physikalischer Größen bedingten Unsicherheit, und der „epistemischen Unsicherheit“. Unter ersterer versteht man beispielsweise die räumliche Streuung von Bodenkenngrößen ebenso wie eine gewisse Unsicherheit bei der Durchführung von Laborversuchen bezüglich ihrer Ergebnisse. Im Gegensatz dazu kann die „epistemische Unsicherheit“, die aus einem Mangel an Erfahrung und möglichen Modellfehlern resultiert, in einem probabilistischen Modell nicht abgebildet werden.

Solche den Parametern anhaftenden Unsicherheiten können in einem probabilistischen Bemessungskonzept für die Ermittlung von Versagenswahrscheinlichkeiten berücksichtigt werden. Hierfür ist die Kenntnis der stochastischen Größen für jeden Parameter erforderlich. Die einzelnen Mechanismen für ein Deichversagen sind miteinander gekoppelt. Ihre gegenseitige Abhängigkeit kann beispielsweise in einem Fehlerbaum visualisiert werden. Aus dieser Kopplung folgt, dass die Gesamtversagenswahrscheinlichkeit für das System unter Berücksichtigung aller Versagensmechanismen gemeinsam zu bestimmen ist. Die einzelnen Versagensketten sind dabei möglichst umfassend und genau zu beschreiben, um eine verlässliche Aussage zur Versagenswahrscheinlichkeit zu erhalten.

3. Schwachstellen

Die Untersuchungen zur Versagenswahrscheinlichkeit einer Deichstrecke sind an einzelnen potenziellen Schwachstellen zu führen. Die an diesen Querschnitten bestimmten Versagenswahrscheinlichkeiten können im Weiteren beispielsweise mittels Korrelationslängen auf größere Deichstrecken projiziert werden. Hieraus können Aussagen zu Versagenswahrscheinlichkeiten für einen Deichabschnitt als Ganzes abgeleitet werden.

Bieberstein et al. (2004) haben relevante Aspekte für die Bewertung von Hochwasserschutzdeichen unter geotechnischen Gesichtspunkten zusammengetragen. Sie unterteilen die zur Bewertung heranzuziehenden Parameter in die Kategorien Deichgeometrie, Aufbau des Deiches und Deichuntergrund (vgl. auch Schneider et al. 1997).

Darüber hinaus ist die zu bewertende Deichstrecke auf Besonderheiten zu untersuchen. Hierzu zählt in erster Linie Bewuchs mit Gehölzen auf und am Deich und der Zustand der Oberfläche bzw. Kulturschicht, insbesondere ihr Befall mit Wühltieren. Des Weiteren gilt es, besonderes Augenmerk auf Querungen und Einbauten im Deichkörper zu legen. Ebenso sind Fremdnutzungen, wie z. B. Fahrradwege, und Einrichtungen des sog. mobilen Hochwasserschutzes gesondert zu betrachten.

4. Versagensmechanismen und Fehlerbaum

Jeder Versagensmechanismus wird durch eine Grenzzustandsgleichung beschrieben. Hierbei werden die Einwirkungen den Widerständen gegenübergestellt. Zu einem rechnerischen Versagen kommt es, sobald die Einwirkung größer als der Widerstand ist. Ihre möglichen gegenseitigen Abhängigkeiten werden in einem Fehlerbaum visualisiert, wodurch sich auch komplexe Zusammenhänge veranschaulichen lassen (vgl. Abb. 1).

Der Fehlerbaumanalyse liegt die Frage zu Grunde, auf welche Art und Weise das Deichversagen zustande kommen kann. In einem Fehlerbaum ist das Systemversagen an der Spitze dargestellt, und die einzelnen Versagensmechanismen verzweigen sich in sogenannten „Versagensästen“ nach unten. Die Mechanismen sind durch logische Verknüpfungen miteinander verbunden. Im Folgenden wird der in Abbildung 1 dargestellte Fehlerbaum detailliert beschrieben.

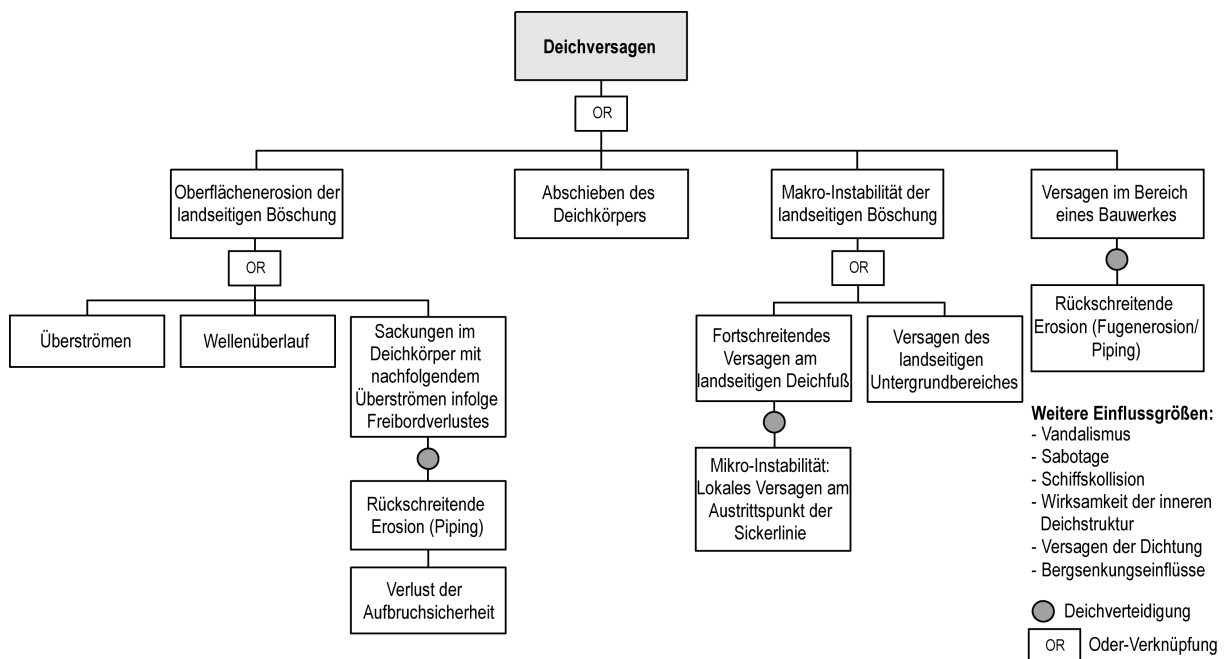


Abbildung 1: Fehlerbaum zum Versagen eines Flussdeiches.

Neben den hydraulischen Versagensmechanismen *Überströmen* und *Wellenüberlauf*, bei denen das über die Deichkrone tretende Wasser zu *Oberflächenerosion auf der landseitigen Böschung* führt, sind vor allem geotechnische Mechanismen maßgebend für das Versagen von Flussdeichen. Hierbei ist stets der Deichuntergrund in die Betrachtungen mit einzubeziehen.

Besonders im Bereich des landseitigen Böschungsfußes, aber auch weiter landeinwärts stellt das Versagen der bindigen Deckschicht einen relevanten (Start-)Mechanismus dar. Dem Mechanismus *Verlust der Aufbruchsicherheit* der bindigen Deckschicht am landseitigen Böschungsfuß liegt die Annahme zu Grunde, dass aufgrund des erhöhten hydraulischen Potentials an der Unterseite der bindigen Deckschicht diese aufbricht und damit Erosionswegigkeiten freigegeben werden (vgl. Abb. 2).

Die zugehörige Grenzzustandsgleichung lautet:

$$z = \gamma_1 \cdot d_1 - \gamma_w \cdot \left(H_w - p_{red} \cdot \frac{l_s}{100} - (GOK_{Land} - d_1) \right) \quad (1)$$

Die Bedeutung der einzelnen Parameter ist im Anhang zusammengestellt.

Nachfolgend kann sich die Erosion durch rückschreitende Kanalbildung in einer ggf. vorhandenen, vergleichsweise durchlässigen – meist feinsandigen – Schicht unter dem Deich fortsetzen, und es besteht die Gefahr, dass sich eine temporär standfeste Röhre bis zur Wasserseite ausbildet, so dass ein hydraulischer Kurzschluss (Erosionsgrundbruch) möglich ist. Beim Vorgang dieser *rückschreitenden Erosion* spricht man von Röhrenbildung, englisch „*piping*“. Bligh und Lane veröffentlichten empirische Untersuchungen über Versagensfälle von Stauwerken, beschrieben in Davidenkoff (1970). Beide entwickelten für den Erosionsmechanismus im Grenzbereich zu festen Berandungen an Bauwerken für unterschiedliche Erdstoffe einen Sickerwegquotienten, um diesen – multipliziert mit der Sickerweglänge – mit dem vorhandenen hydraulischen Potenzial zu vergleichen. Diese Vorgehensweise, insbesondere diejenige von Lane, der bei der Bestimmung der Sickerweglänge zwischen vertikalen und horizontalen Sickerstrecken unterscheidet, eignet sich auch für eine erste Abschätzung der Erosionsgefahr im Deichlager von kohäsionsbehafteten Deichkörpern bzw. unterhalb der bindigen Deckschicht.

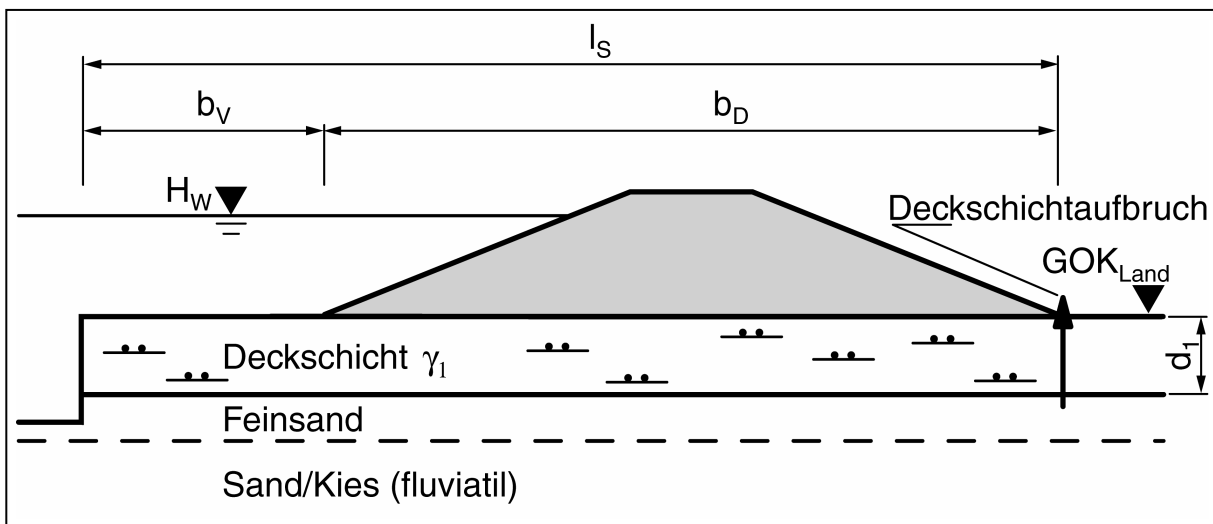


Abbildung 2: Versagensmechanismus Aufbruch – Prinzipskizze.

Bei genauerer Kenntnis des Deichuntergrundes (bodenmechanische Kenndaten von deichlagernahen erosionsanfälligen Schichtungen) empfiehlt sich die Verwendung des Erosionskriteriums nach Weijers et al. (1993) für eine kritische Potenzialdifferenz mit folgender Grenzzustandsgleichung:

$$z = h_{krit,We} - \Delta H \quad (2)$$

Dieses Kriterium berücksichtigt neben dem hydraulischen Potenzial und der Sickerweglänge auch den Aufbau und die Durchlässigkeit des Untergrundes (vgl. Abb. 3). Eine übersichtliche Zusammenstellung verschiedener Formen von Erosion und zugehöriger Kriterien zum Nachweis der Sicherheit gegen innere Erosion findet sich bei Saucke (2006) bzw. DWA 507 (2007).

In Folge der Ausbildung einer durchgehenden Röhre unterhalb der Deckschicht ist mit großen Strömungskräften und erheblichem Materialaustrag am landseitigen Austrittspunkt zu rechnen. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass im hier betrachteten Fall die sich durch Aufweitung bildende Röhre lediglich eine temporäre Standfestigkeit (Brückenbildung) aufweist und im Fortgang zum Nachbrechen der bindigen Deckschicht führt. Die durch den Materi-

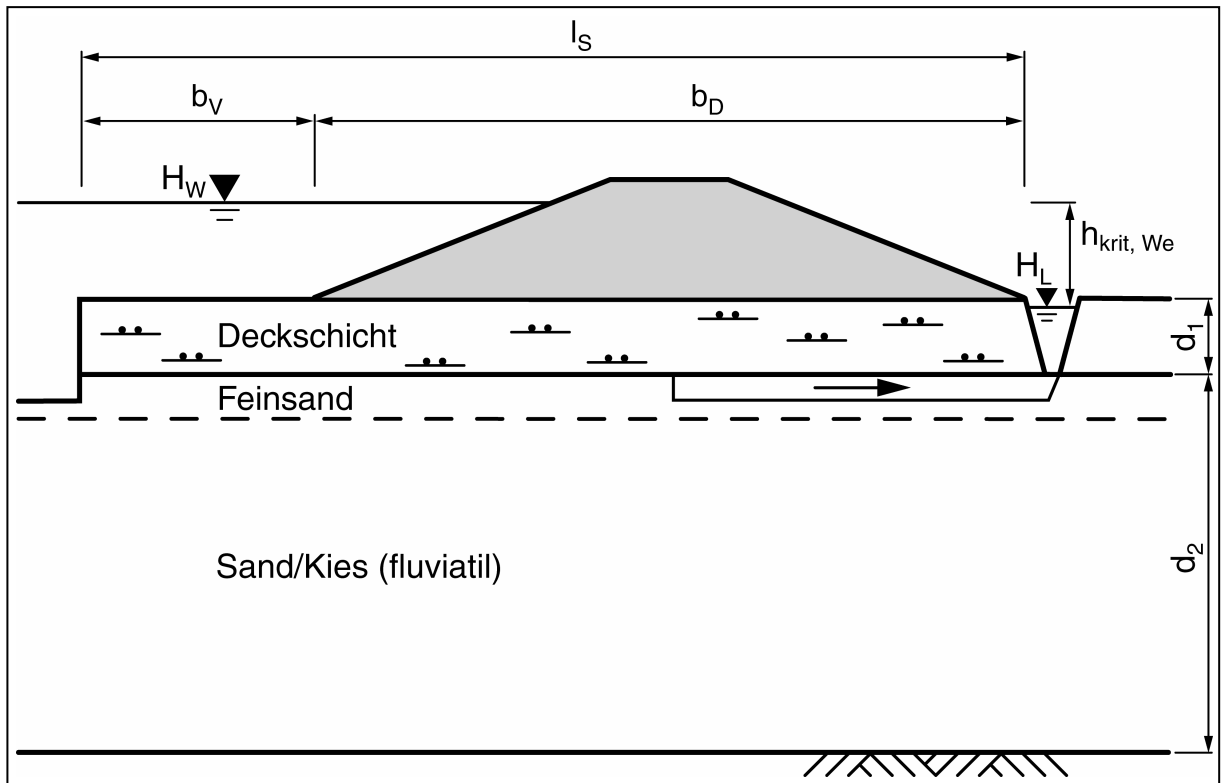


Abbildung 3: Kriterium von Weijers et al. (1993) – Definitionsskizze.

alentzug und das Zusammenbrechen der Röhre eintretenden – i. Allg. langsam ablaufenden, sich teils über mehrere Hochwasserperioden addierenden – Verformungen des Deichuntergrundes werden auf den Deichkörper übertragen, der mit seiner Auflast an den Einwirkungen des Vorgangs beteiligt ist. Schließlich resultieren hieraus *Sackungen an der Krone*. Sackt der Deichkörper um einen größeren Betrag als der vorhandene Freibord, so resultiert die Gefahr der Überströmung der Deichkrone sowie der landseitigen Böschung, was aufgrund der daraufhin eintretenden *Oberflächenerosion* schließlich das Versagen des Deiches nach sich ziehen kann. Zur Überprüfung, ob der Mechanismus *Sackung* maßgebend wird, kann die folgende Grenzzustandsgleichung zur Anwendung kommen:

$$z = (H_K - d_{2a} \cdot \zeta) - H_w \quad (3)$$

Zur Verdeutlichung des Mechanismus dient folgende Prinzipskizze (Abb. 4).

Ein Mechanismus, der direkt zum Versagen des Deiches führt, ist das *Abschieben des Deichkörpers*. Besonders bei geneigter Deichaufstandsfläche oder bei Deichen mit zentralem Dich-

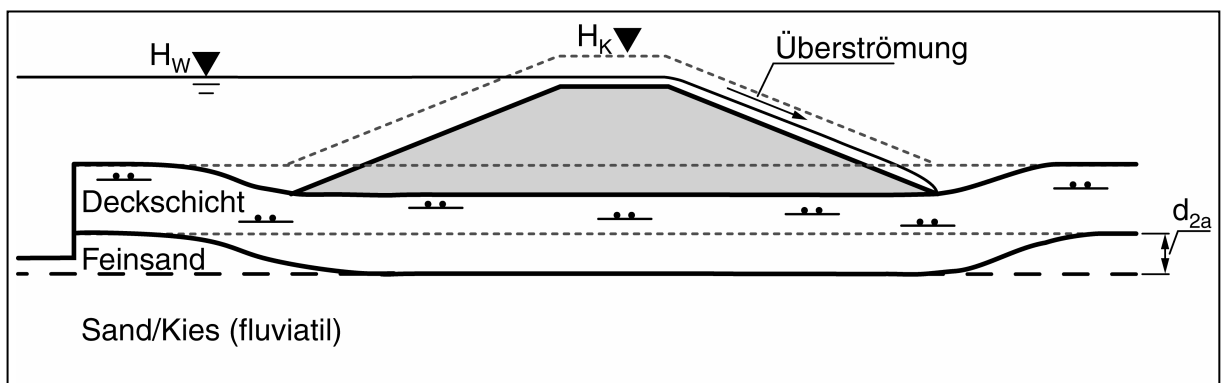


Abbildung 4: Versagensmechanismus Sackung – Prinzipskizze.

tungselement kann dieser Fall eintreten. Hierbei ist zu prüfen, ob der vorhandene Reibungswinkel in der Deichaufstandsfläche ausreicht, um dieses Versagen zu vermeiden.

Ist der Deichkörper über einen längeren Zeitraum eingestaut, bildet sich eine stationäre Sickerlinie aus. An ihrem Austrittspunkt auf der landseitigen Böschung kommt es möglicherweise zu einem *lokalen Versagen an der Oberfläche im Bereich der Sickerstrecke* (vgl. dazu Abb. 5, Gleitfuge 1). Diese lokalen Deformationen entwickeln sich im Bereich der landseitigen Böschung bei andauernder Durchströmung weiter und führen infolge weiterer – zunächst lokaler – Böschungsversagen zu einem progressiven Bruchverhalten. Die Schwächung der landseitigen Böschung kann somit zu einem Versagen des gesamten Böschungsbereiches führen, was im Fehlerbaum (vgl. Abb. 1) als *Makro-Instabilität* bezeichnet ist. Die zugehörige Gleitfuge wird meist vom Deichkronenbereich ausgehen und im Bereich des geschwächten Deichfußes enden, wie beispielhaft in Abbildung 5 mit Gleitfuge 2 dargestellt.

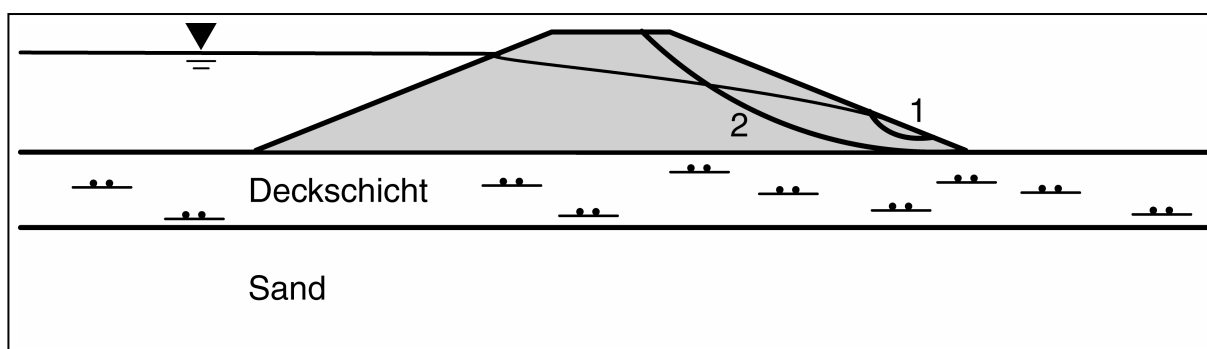


Abbildung 5: Versagensformen der landseitigen Böschung – Prinzipskizze.

Zusätzlich sind weitere Formen der maßgebenden Gleitfuge denkbar: Der anstehende Wasserdruck an der Unterseite der Deckschicht im Bereich des landseitigen Deichfußes begünstigt u. U. eine tiefe Gleitfuge. Nachfolgend ist ein *Versagen der landseitigen Böschung* anzunehmen, wie in Abbildung 6 dargestellt.

Eine gesonderte Betrachtung verlangt der Fall *Versagen im Bereich eines Bauwerkes*. Bauwerksberandungen stellen ebenso wie Leitungen, Düker oder sonstige Baulichkeiten besondere Problemstellen dar. Selbst bei technisch einwandfreier Konstruktion bedeuten sie eine potenzielle Schwachstelle als Ausgangspunkt für das Auftreten von Kontakterosion entlang von Bauwerksberandungen. Daher ist die Beurteilung von Deichstrecken mit Bauwerken äußerst komplex und bedarf tiefgehender geotechnischer Kenntnisse. Eine grobe Abschätzung kann mit dem Kriterium für das Problem der Kontakterosion von Lane (Davidenkoff 1970) gelingen, deren Ergebnisse jedoch hinsichtlich ihrer Plausibilität geotechnisch zu hinterfragen sind.

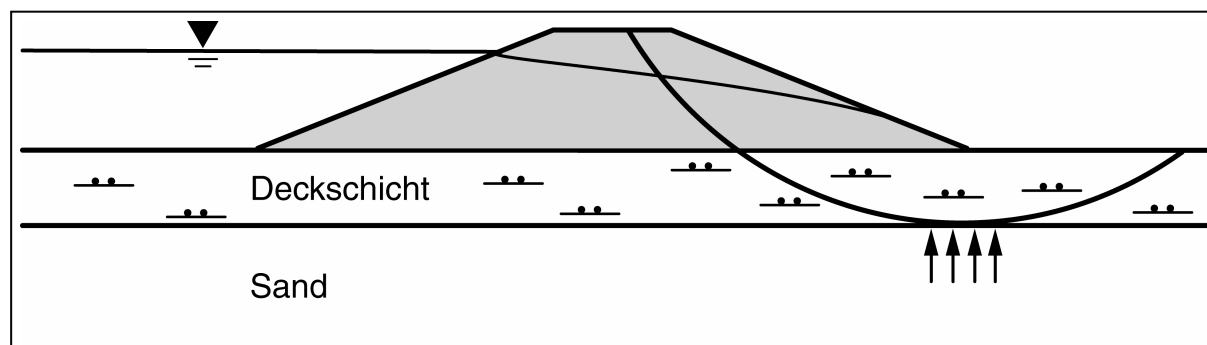


Abbildung 6: Versagen des landseitigen Untergrundbereiches mit tiefer Gleitfuge – Prinzipskizze.

5. Sensitivitätsanalyse

Beispielhaft wird nachfolgend im Rahmen einer Parameterstudie der Versagensart *Erosion* (vgl. Abb. 1) analysiert. Hierzu wird der Einfluss des Parameters Korndurchmesser d_{70} auf die Versagenswahrscheinlichkeit diskutiert. Die hierbei verwendeten Parameter mitsamt ihren statistischen Größen sind im Anhang aufgeführt. Die Bedeutung der Parameter zur Deichgeometrie kann Abbildung 2 bis Abbildung 4 entnommen werden.

Der Versagensart *Erosion* besteht aus den Versagensmechanismen *Verlust der Aufbruchsicherheit* (kurz: *Aufbruch*), *rückschreitende Erosion* (kurz: *Piping*) und *Sackungen im Deichkörper mit nachfolgendem Überströmen infolge Freibordverlust* (kurz: *Sackung*). Bei allen drei Versagensmechanismen geht der Parameter Wasserstand ein, so dass hierüber eine Kopplung der Mechanismen untereinander besteht. Diese Kopplung wurde in dem zugehörigen Rechenmodell berücksichtigt. Als Datengrundlage für das Diagramm in Abbildung 7 dienen Monte-Carlo-Simulationen mit jeweils 50 Mio. Experimenten.

In der Grafik in Abbildung 7 ist auf der Ordinate die Versagenswahrscheinlichkeit und auf der Abszisse der Korndurchmesser d_{70} aufgetragen. Die grauen Linien stehen jeweils für die Versagenswahrscheinlichkeit der einzelnen Mechanismen, wenn sie unabhängig voneinander betrachtet werden (ungekoppelt). Die durch Kreissymbole markierten Stellen geben die Wahrscheinlichkeiten für den Mechanismus Aufbruch wieder, die Quadrate kennzeichnen Piping und die Dreiecke den Mechanismus Sackung. Die Gesamtversagenswahrscheinlichkeit – also die Kopplung dieser drei Mechanismen – wird durch die schwarze Linie mit Kreuzen dargestellt. Die gestrichelte Linie kennzeichnet das Versagensniveau bei Überströmen, welches der Eintretenswahrscheinlichkeit einer Wasserspiegellage oberhalb der Deichkronenhöhe entspricht. Der grau hinterlegte Bereich gibt den Gültigkeitsbereich für das Kriterium von Weijers et al. (1993) an, der zwischen 0,1 mm und 0,5 mm liegt.

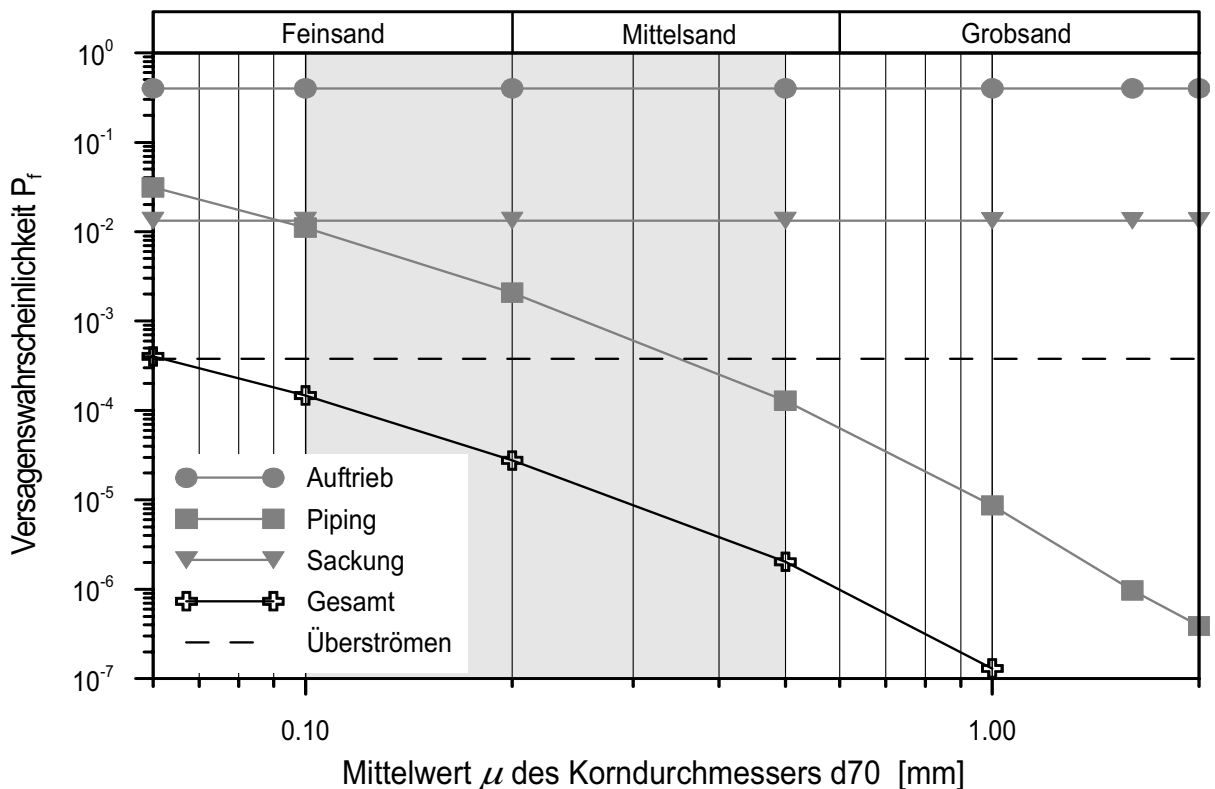


Abbildung 7: Einfluss des Korndurchmessers d_{70} auf die Versagenswahrscheinlichkeit P_f .

Man erkennt, dass der Parameter Korndurchmesser d_{70} nicht in die Grenzzustandsgleichungen der Mechanismen *Auftrieb* (Gleichung 1) und *Sackung* (Gleichung 3) eingeht und deren Versagenswahrscheinlichkeiten daher nicht beeinflusst werden. Bei Betrachtung der Grenzzustandsgleichung 2 (*Piping*) und des Verlaufs der zugehörigen Versagenswahrscheinlichkeit in Abbildung 7 wird ersichtlich, wie mit größer werdendem Material die Versagenswahrscheinlichkeit signifikant abnimmt.

Die Versagenswahrscheinlichkeit für die gekoppelten Mechanismen *Aufbruch* und *Piping* (nicht eingetragen) entspricht weitestgehend der Einzelversagenswahrscheinlichkeit für *Piping*. Ohne Berücksichtigung des Mechanismus *Sackung* liegt die Versagenswahrscheinlichkeit für den gekoppelten Mechanismus *Aufbruch* und *Piping* nahezu für den gesamten von Weijers et al. (1993) definierten Bereich über dem Versagensniveau für *Überströmen*. Die Integration des Mechanismus *Sackung* führt dazu, dass die Gesamtversagenswahrscheinlichkeit auch im Feinsandbereich geringer als die Versagenswahrscheinlichkeit für den Fall *Überströmen* ist. Dies entspricht den Beobachtungen aus der Realität, gemäß denen *Überströmen* den mit am häufigsten dokumentierten Versagensfall darstellt.

Im Ergebnis der dargestellten Sensitivitätsanalyse zeigt sich auf Grundlage der im Anhang aufgeführten Kennwerte sowie des Variationsbereichs der untersuchten Parameter durch Vergleich folgendes: Zum einen führen ungünstige Verhältnisse unterhalb der Deckschicht zu hohen Gesamtversagenswahrscheinlichkeiten im Versagensast Erosion. Zum anderen geht hieraus hervor, dass eine nur geringfügige Änderung des Korndurchmessers d_{70} in einer erheblichen Abnahme der Versagenswahrscheinlichkeit resultiert.

6. Einflussfaktoren

Neben den oben genannten Versagensmechanismen, denen sich jeweils eine Versagenswahrscheinlichkeit zuordnen lässt, gibt es weitere Einflussfaktoren auf die Gesamtversagenswahrscheinlichkeit eines Deiches. In diesem Zusammenhang sind die Einflüsse infolge Deichverteidigung, der instationären Durchfeuchtung und der Deichunterhaltung zu nennen.

Die Deichverteidigung ist Teil eines Alarmplanes, der im Hochwasserfall bei Überschreiten eines festgelegten Wasserstandes in Kraft tritt. Unter der Deichverteidigung sind Sofortmaßnahmen zur Aufrechterhaltung der Funktion von gefährdeten Deichstrecken zu verstehen.

Einige Ansatzpunkte der Deichverteidigung sind im Fehlerbaum in Abbildung 1 kenntlich gemacht und werden im Folgenden genauer erläutert:

- Sobald landseitig des Deiches ein Wasseraustritt festgestellt wird, sind u. U. geeignete Gegenmaßnahmen zu ergreifen. Wird zudem Materialaustrag beobachtet, kann durch den Bau einer Quellkade aus Sandsäcken der hydraulische Potenzialunterschied reduziert und der Vorgang der rückschreitenden Erosion somit gestoppt werden. Für solche „verhinderte“ Versagen lässt sich bislang allerdings keine Eintretenswahrscheinlichkeit angeben. Damit ist eine Berücksichtigung bei der Bestimmung der Versagenswahrscheinlichkeit derzeit noch nicht möglich.
- Ähnlich verhält es sich mit dem Einfluss der Deichverteidigung im Versagensast *Böschungsversagen*. Sobald ein Durchnässen des landseitigen Böschungsfußes festgestellt wird, kann durch Sicherungsmaßnahmen, z. B. durch Ballastierung mit Sandsäcken, eine Stabilisierung des Böschungsfußes erreicht werden und dadurch ein *Fortschreiten des Versagens* verhindert werden. Voraussetzung für das Ergreifen solcher Sicherungsmaßnahmen ist jeweils das rechtzeitige Erkennen des Problems, der folge-

richtige Rückschluss auf die Ursache und letztendlich die Entscheidung für wirksame Gegenmaßnahmen.

Anhand dieser kurzen Erläuterungen wird ersichtlich, dass eine quantitative Aussage über den Einfluss von Maßnahmen zur Deichverteidigung auf die Gesamtversagenswahrscheinlichkeit eines Deiches aufgrund der komplexen Entscheidungskette nicht ohne Weiteres möglich ist. Jedoch ist festzuhalten, dass Maßnahmen zur Deichverteidigung die Versagenswahrscheinlichkeiten i. d. R. nicht unerheblich reduzieren.

Ein weiterer entscheidender Einflussfaktor auf die Gesamtversagenswahrscheinlichkeit ist der initiale Zustand eines Deiches bezüglich seiner Feuchteverteilung. Bisher wird bei der Betrachtung der Versagensmechanismen meist von einem Zustand mit stationärer Sickerlinie ausgegangen. Untersuchungen und Simulationen haben gezeigt, dass es in Abhängigkeit einer Vielzahl von Parametern einen maßgeblichen Zeitraum erfordern kann, bis sich ein stationärer Durchströmungszustand einstellt. Neben der hydraulischen Durchlässigkeit des Deichbaustoffes ist der Feuchtegehalt des Bodens im Deichinneren von maßgebendem Einfluss auf die Zeitdauer zur Ausbildung eines stationären Durchströmungszustandes (Scheuermann 2005). Dieser Ausgangsfeuchtezustand kann durch ein vorangegangenes Hochwasserereignis oder durch anhaltende Niederschläge beeinflusst sein. Für eine realistischere Betrachtung von Versagenswahrscheinlichkeiten ist daher der Einfluss der instationären Durchfeuchtung zu berücksichtigen. Hierbei ist auch die Auswirkung der Charakteristik der Abflussganglinie in Bezug auf Scheitelhöhe und Einstaudauer zu quantifizieren, da in Abhängigkeit der hydraulischen Durchlässigkeit des Deichbaustoffes ein kurzzeitiger Volleinstau nicht zwangsläufig zur Ausbildung einer tragsicherheitsgefährdenden Durchfeuchtung führt.

Darüber hinaus spielt der Gesamtzustand des Deiches eine entscheidende Rolle hinsichtlich seiner Widerstandsfähigkeit. Aus diesem Grund werden Deiche regelmäßig in sogenannten „Deichschau“ begangen und mehr oder weniger intensiv und vollständig auf oben genannten Schwachstellen hin bewertet. Hierbei sind weitere Größen zu nennen, die die Versagenswahrscheinlichkeit beeinflussen, wie z. B. Beschädigungen am Deich, die verursacht sein können durch Vandalismus, Sabotage oder in Ausnahmefällen durch Schiffskollision. Auch nimmt die Wirksamkeit der inneren Deichstruktur Einfluss auf die Versagenswahrscheinlichkeit, ebenso wie ein Versagen von Dichtungs- oder Dränelementen. Gegebenenfalls darf auch der Einfluss der Bergsenkung, verursacht durch Untertagebergbau, nicht vernachlässigt werden.

7. Zusammenfassung und Ausblick

Mit diesem Beitrag wird das Verständnis geschaffen, wie aus der Betrachtung geotechnischer Zusammenhänge eine Versagenswahrscheinlichkeit für das System aus Deich und Untergrund abzuleiten ist. Hierzu wurde aufgezeigt, dass Untersuchungen zur Versagenswahrscheinlichkeit an Schwachstellen von Deichstrecken vorzunehmen sind und mit Hilfe welcher Kriterien Schwachstellen als solche eingegrenzt werden können. Ein probabilistisches Modell zur Ermittlung von Versagenswahrscheinlichkeiten wurde anhand eines Fehlerbaumes vorgestellt, und es wurde ein Berechnungsbeispiel für eine Sensitivitätsanalyse aufgezeigt. Daraus geht hervor, dass zum einen eine umfassende Betrachtung von Versagensabläufen zu einer realistischen Einschätzung der Versagenswahrscheinlichkeit führt. Zum anderen zeigt sich, dass die geotechnischen Gegebenheiten im Deich und im Untergrund die Versagenswahrscheinlichkeit maßgeblich beeinflussen.

Die Berücksichtigung weiterer Einflussfaktoren als die bereits im Fehlerbaum erläuterten stellt zum derzeitigen Stand noch Forschungsbedarf dar.

Literaturverzeichnis

- Baecher G. B., Christian J. T. (2003): Reliability and Statistics in Geotechnical Engineering. John Wiley & Sons Ltd, Chichester.
- Bieberstein A., Kast K. (2004): Technischer Hochwasserschutz: Effektive Sicherheits- und Bewertungsaspekte aus geotechnischer Sicht. Vorträge der Baugrundtagung 2004 in Leipzig, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V. (DGGT). VGE Verlag Glückauf Essen.
- Davidenkoff R. (1970): Unterläufigkeit von Stauwerken. Werner-Verlag, Düsseldorf.
- DIN 19712:1997-11: Flussdeiche. Beuth-Verlag, Berlin.
- DWA 507 (2007): Deiche an Fließgewässern. DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), Gelbdruck.
- Saucke U. (2006): Nachweis der Sicherheit gegen innere Erosion für körnige Erdstoffe. Geotechnik 29, 1, S. 43-54.
- Scheuermann A. (2005): Instationäre Durchfeuchtung quasi-homogener Erddeiche. Veröffentlichungen des Instituts für Bodenmechanik und Felsmechanik der Universität Fridericiana in Karlsruhe, 164, Karlsruhe.
- Schneider H., Schuler U., Kast K., Brauns J. (1997): Bewertung der geotechnischen Sicherheit von Hochwasserschutzdeichen und Grundlagen zur Beurteilung von Sanierungsmaßnahmen. Mitteilungen der Abteilung Erddammbau und Deponiebau am Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik, Universität Karlsruhe, Heft 7.
- Weijers J. B. A., Sellmeijer J. B. (1993): A new model to deal with the piping mechanism. – In: Filters in Geotechnical and Hydraulic Engineering. Proceedings of the First International Conference “Geo-Filters”, Karlsruhe. Balkema, Rotterdam.

Anhang

Tabelle 1: Übersicht über die Eingangsparameter und ihre statistischen Größen.

Parameter	Abk.	Einheit	μ	COV	Verteilung
Wichte Deckschicht	γ_1	kN/m ³	19	0,05	normal
Mächtigkeit Deckschicht	d_1	m	2	0,3	normal
Druckabbau	ρ_{red}	m/100m	0,3	0,5	lognormal
Wasserspiegellage	H_W	mNN	17,993	0,0259	exponential
GOK Landseite	GOK_{Land}	mNN	16,2		deterministisch
Sickerweglänge	l_s	m	45		deterministisch
Kronenhöhe	H_K	mNN	21,2		deterministisch
Dichte Wasser	ρ_w	kg/m ³	1000		deterministisch
Dichte Sand	ρ_s	kg/m ³	1700		deterministisch
Bettungswinkel	θ_s	°	41		deterministisch
Koeff.-White	η	-	0,25		deterministisch
kin. Viskosität Sickerwasser	ν	m ² /s	$1,31 \cdot 10^{-6}$		deterministisch
Korndurchmesser d_{70}	d_{70}	mm	0,2	0,15	lognormal
Mächtigkeit Aquifer	d_2	m	20	0,1	lognormal
dyn. Viskosität Sickerwasser	μ	kg/(s·m)	$1,31 \cdot 10^{-3}$		deterministisch
Porosität Sand	n	-	0,41		deterministisch
Mächtigkeit Feinsand	d_{2a}	m	1	0,1	normal
Sackungsfaktor	ζ	-	1,6	0,1	lognormal

Schwerpunkt „Bewältigung“

Finanzierung von Schäden aus Naturkatastrophen unter Einsatz von Mikrofinanz-Institutionen und -Instrumenten

Claas Menny

Universität Karlsruhe (TH), Institut für Finanzwirtschaft, Banken und Versicherung, Lehrstuhl für Versicherungswissenschaft, Kronenstraße 34, 76133 Karlsruhe, Deutschland, E-Mail: Claas.Menny@fbv.uni-karlsruhe.de, Telefon: +49(0)721/6086788

Kurzfassung

Naturkatastrophen verursachen ökonomische Kosten. Diese Kosten entstehen einerseits direkt durch die Schäden, die durch die Einwirkung der Naturgewalt entstehen und andererseits in der Folgezeit durch indirekte Effekte, wie z.B. dem Ausfall der Transport- und Versorgungsinfrastruktur, wodurch wirtschaftliche Tätigkeiten zum Erliegen kommen und wodurch Wirtschaftsleistung verloren geht.

In Berichten und Studien über die Auswirkungen von Naturkatastrophen finden sich Hinweise darauf, dass kleine und Kleinstunternehmen (KKU) eine wesentlich höhere Anfälligkeit gegenüber extremen Naturereignissen als größere Unternehmen haben. Es wird vermutet, dass Kapitalmangel ein wichtiger Faktor für das Scheitern von KKU ist und dass ein verbessertes Angebot an Mikrofinanzdienstleistungen die Wahrscheinlichkeit der ökonomischen Erholung dieser Unternehmen steigert. Aufgrund der vermuteten Erdbebengefahr und aufgrund der starken Prägung der städtischen Ökonomie durch KKU, hat sich Istanbul als Forschungsstandort angeboten.

1. Einführung

Für Istanbul wird bis 2034 mit einer Wahrscheinlichkeit von $66\% \pm 25\%$ ein Erdbeben mit einer Stärke von VIII (zerstörende Wirkung) oder stärker auf der modifizierten Mercalli-Skala prognostiziert (Parsons 2004). Aufgrund dieser sehr hohen Gefahr ist es sinnvoll, Maßnahmen zur Bewältigung der drohenden Katastrophe zu planen und zu implementieren. Istanbul ist das kulturelle und ökonomische Zentrum der Türkei. Nach einer Studie der Columbia Universität gibt es in Istanbul ca. 50.000 Unternehmen. Davon sind 46.000 (92,5%) Kleinstbetriebe mit bis zu 9 Mitarbeitern (Grava et al. 2002). Über 27600 (60%) dieser Unternehmen liegen in stark erdbebengefährdeten Gebieten.

Dass kleine und Kleinstunternehmen anfälliger gegenüber Naturkatastrophen sind als größere Unternehmen (Runyan 2006), (Dahlhamer et al. 1996) hat sich bei dem schweren Erdbeben 1999 in der Türkei in der Region Kocaeli 80 km östlich von Istanbul gezeigt. Weltbankmitarbeiter haben einige Monate nach dem verheerenden Beben festgestellt, dass kleine Unternehmen im Verhältnis zu größeren Unternehmen wesentlich größere Verluste an Umlaufmitteln, Anlagevermögen und Mitarbeitern erlitten hatten. Infolge des Erdbebens stellten ca. 20.000 kleine- und Kleinstunternehmen die Arbeit ein, 140.000 Menschen verloren ihren Arbeitsplatz. Große Unternehmen hingegen erlitten meist nur relativ moderate Schäden, welche größtenteils durch Versicherungen gedeckt waren. (Akgiray et al. 2004).

2. Die Vulnerabilität von KKU

Begründet wird die höhere Vulnerabilität von KKU damit, dass diese Unternehmen weniger Ressourcen haben als größere Unternehmen, um die Folgen von extremen Ereignissen zu

kompensieren (Tierney et al. 2000). Größere Unternehmen besitzen z.B. meist besseren Versicherungsschutz. Des Weiteren haben sie im Allgemeinen eine bessere Risikodiversifikation. Ein verletzter Mitarbeiter kann von einem anderen vertreten werden, eine zerstörte Maschine kann durch eine andere ersetzt werden, wenn Betriebsstätten von der Katastrophe betroffen sind, besteht häufig die Möglichkeit auf andere Betriebsstätten auszuweichen. Kleinere Unternehmen haben begrenzte Mittel. Der Versicherungsschutz ist häufig mangelhaft, Risikodiversifikation existiert oft nicht. Wenn Kernmitarbeiter ausfallen oder die Betriebsstätte zerstört wird, kann dies zu vollständigen und langfristigen Geschäftsausfällen führen.

Mittlere, kleine und Kleinstunternehmen

Definition von mittleren, kleinen und Kleinstunternehmen

Typ	Beschäftigte	Umsatz (Mio.€)	Bilanzsumme (Mio.€)
Mittelgroße Unternehmen	<250	≤50	≤43
Kleinunternehmen	<50	≤10	≤10
Kleinstunternehmen	<10	≤2	≤2

Quelle: Amtsblatt der Europäischen Union, L 124, 2003.

Die Bedeutung von kleinen und Kleinstunternehmen (KKU) für die Innovationsfähigkeit und die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit von Volkswirtschaften wurde lange Zeit vernachlässigt. Zunehmend wird jedoch ihre große Bedeutung anerkannt.

In der EU gibt es ca. 23 Mio. kleine Unternehmen mit bis zu 50 Mitarbeitern. Das sind 99,7 % aller Unternehmen. In ca. 70.000 der Unternehmen der EU (0,3%) arbeiten mehr als 250 Mitarbeiter. 91.5% aller Unternehmen (21 Mio.) sind Kleinstunternehmen mit unter 10 Mitarbeitern. Zu dieser Kategorie der Kleinstunternehmen gehören auch selbständige Einzelunternehmer und Familienbetriebe ohne weitere Angestellte.

Nach Schätzungen stellen mittlere, kleine und Kleinstunternehmen etwa 75 Millionen Arbeitsplätze in der EU, was 2/3 der Gesamtbeschäftigung entspricht. Sie erzeugen beinahe 60% des Bruttoinlandproduktes (UEAPME, 2006).

In der theoretischen Idealwelt der Ökonomie sollte es jeglichen Unternehmen möglich sein, Kredite zur Finanzierung ihrer Pläne zu erhalten, Ersparnisse mit Verzinsung anzulegen und Risiken durch Versicherungen abzusichern. Ein Vergleich der am Markt angebotenen Finanzprodukte anhand verschiedener Methoden der Investitionsrechnung erlaubt es dem vollständig rational handelnden Unternehmer, diese optimal zu kombinieren, um bei angemessener Risikoabsicherung eine optimale Rendite zu erzielen. Während große Unternehmen tatsächlich komplexe betriebswirtschaftliche Überlegungen anstellen, um das Risiko zu minimieren und die Rendite zu maximieren, gibt es für KKU verschiedene Gründe, warum ihr Investitions- und Versicherungsverhalten oft suboptimal ist. Neben lückenhaftem Wissen über die verschiedenen Optionen ist das Finanzdienstleistungsangebot für KKU vielfach mangelhaft. Ein Kernproblem sind Transaktionskosten, welche verhindern, dass bestimmte Produkte am Markt angeboten werden. Um einen Kreditvertrag, bzw. eine Versicherungspolice vorzubereiten oder auch um Sparkonten zu verwalten ist Arbeitsaufwand notwendig. Dafür fallen Personalkosten an. Der Arbeitsaufwand ist dabei relativ unabhängig von der jeweiligen Versicherungs-, Kredit- oder Sparsumme. Dementsprechend fällt er bei kleinen Beträgen verhältnis-

mäßig stärker ins Gewicht und kann den Vertragsabschluß prohibitiv verteuern. Ein weiterer Grund für eine Unterversorgung mit Kreditmitteln sind oftmals mangelnde Sicherheiten auf Seite der KKV. Die Banken sind häufig nicht bereit diese Risiken zu tragen. Für Katastrophenversicherungen gilt, dass Naturkatastrophen Kumulrisiken sind. Im Katastrophenfall sind viele Versicherungsnehmer zugleich betroffen. Für Versicherungen besteht daher die Gefahr großer Verluste, weshalb oftmals solche potentiell kostenintensiven Risiken nicht versichert werden. Wegen der genannten Gründe ist es für KKV trotz ihrer großen Bedeutung für die Wirtschaftsleistung eines Landes meist wesentlich schwieriger, Zugang zum Kapitalmarkt zu bekommen, als für größere Unternehmen. Verschärft tritt das Problem in Ländern mit schwächer entwickelten Volkswirtschaften auf. Wachstumspotentiale bleiben dadurch ungenutzt. Ein Ansatz, diese Problematik anzugehen ist die Einführung angemessener Finanzmaßnahmen.

3. Mikrofinanzierung

Mikrofinanzierung (Microfinance) hat sich als Sammelbezeichnung für Finanzprodukte für kleine und Kleinstunternehmen weltweit durchgesetzt. Der allergrößte Anteil der Mikrofinanzprojekte umfasst Mikrokredit-Projekte, aber auch Versicherungs- und Sparprodukte für Kleinstunternehmen werden vermehrt angeboten. Die allermeisten Mikrofinanzprojekte werden zumindest in der Startphase subventioniert. Da der Markt gewünschte Dienstleistungen nicht bereitstellt, wird durch Zuzahlungen an die Mikrofinanzanbieter dieses Angebot forciert. Ob ein solcher Ansatz für Istanbul lohnend wäre und welche Kosten er verursachen würde, kann nur mit Hilfe von Daten zu den erwartbaren direkten und indirekten Schäden der KKV infolge eines Erdbebens ermittelt werden.

Außer der Angebotslücke auf dem Finanzmarkt lässt sich vielfach auch eine Nachfrangelücke nach Versicherungen beobachten. Ein häufig beschriebenes Phänomen ist das der Risikoverdrängung, bzw. des Optimismus. Gefährdete Menschen schätzen ihr Risiko optimistischer ein als es objektiv ist. Sie glauben von der Naturkatastrophe verschont zu werden. Daher schließen sie keine Versicherung ab und sparen somit vermeintlich unnötige Aufwendungen (Kunreuther 2006).

4. Auswirkung von Naturkatastrophen auf KKV

Für die Erforschung der ökonomischen Auswirkungen von Naturkatastrophen gibt es prinzipiell zwei Ansätze. Einerseits Input-Output Modelle, mit denen interindustrielle ökonomischen Interaktionen simuliert werden und Veränderungen infolge von Katastrophen modelliert werden. Ein zweiter Ansatz sind statistisch-ökonomische Modelle (Yezer 2002). Die Auswirkungen von Naturkatastrophen auf Unternehmen wurden bisher hauptsächlich anhand statistischer Analysen und ökonomischer Modelle untersucht. Tierney et al. (2000) haben in Studien in den USA sowohl die Vorbereitung von Unternehmen auf Naturkatastrophen, als auch die Auswirkungen von Naturkatastrophen auf Unternehmen erforscht. Sie haben mehrere Faktoren ausgemacht, welche die Erholung von KKV nach einer Naturkatastrophe zu beeinflussen scheinen.

Als Faktor mit der besten Vorhersagekraft für die Erholungswahrscheinlichkeit eines Unternehmens nach einer Naturkatastrophe stellte sich die Unternehmensgröße heraus. Je kleiner ein Unternehmen, desto größer war die Wahrscheinlichkeit, dass es infolge einer Naturkatast-

rophe scheiterte. Weitere Faktoren mit geringerer empirischer Evidenz, welche die Erholung der untersuchten Unternehmen nach einer Katastrophe beeinflussen, waren:

- der wirtschaftliche Sektor, in welchem die Unternehmen tätig sind,
- das Ausmaß der direkten Schäden am Unternehmen infolge der Naturgewalt,
- die Dauer des Ausfalls der Versorgungsinfrastruktur, sowie
- die finanzielle Lage der untersuchten Unternehmen vor der Katastrophe.

(Tierney et al. 2000)

Fraglich ist, ob die Faktoren, welche die Erholungswahrscheinlichkeit amerikanischer Unternehmen beeinflussen, für türkische Unternehmen genauso gelten. Aufgrund kultureller Unterschiede und aufgrund verschiedener Refinanzierungsmöglichkeiten beim Wiederaufbau, ist es wahrscheinlich, dass erhebliche Unterschiede bestehen.

5. Forschungsfragen

Ziel ist, durch eine Studie in Kocaeli die Faktoren, welche ein Kleinstunternehmen widerstandsfähig machen, zu finden. Dies soll durch eine Befragung von Unternehmen geschehen, die schon während der Katastrophe aktiv waren und die immer noch aktiv sind. Auffällig ist, dass in den Studien, die nach den Erdbeben in Northridge/USA, Santa Cruz/USA und in South Dade County/USA gemacht wurden, nur sehr wenig über die Refinanzierung der Unternehmen nach den jeweiligen Katastrophen berichtet wird. Hier gilt es in der geplanten Studie bessere Informationen zu finden, um verschiedene Refinanzierungsquellen zu unterscheiden und nach ihrer Bedeutung für die wirtschaftliche Erholung der Unternehmen zu gewichten.

In einem zweiten Schritt soll eine repräsentative Auswahl von KKV in Istanbul untersucht werden. Anhand der in der Studie in Kocaeli gefundenen Faktoren, wird ihre Widerstandsfähigkeit abgeschätzt. Mit diesen Daten und den Daten aus seismologischen Studien wird eine Abschätzung der zu erwartenden Schäden, der Betriebsunterbrechungen und der monetären Verluste möglich. Auf dieser Basis ließen sich die Kosten und Nutzen verschiedener Mikrofinanzprodukte ermitteln.

6. Erste Resultate

2006 wurde in Zusammenarbeit mit Dr. Kivanc Inelmen von der Bogazici Universität in Istanbul eine Vorabumfrage durchgeführt. Die Fragenkomplexe waren unterteilt in Fragen zur Risikowahrnehmung, zur Krisenvorbereitung und zu kulturspezifischen Aspekten. Aus einer Liste von 181 Hotels in Istanbul, welche bei der Touristic Hotels & Investors Association aufgeführt waren, wurden 58 Hotels ausgesucht, die den Kriterien kleiner Unternehmen entsprachen. Von diesen waren 41 bereit an der Befragung teilzunehmen. Von 39 konnten auswertbare Antworten erhoben werden.

6.1 Risikowahrnehmung

Ein Ziel der Erhebung war es zu erfassen, wie die Zielgruppe der Manager von kleinen Unternehmen die Wahrscheinlichkeit von Schäden infolge eines Erdbebens einschätzt. Hintergrund der Fragen war es zu erfahren, ob die Befragten über das Erdbebenrisiko aufgeklärt sind und ob sie diese Informationen bei ihren Entscheidungen über Absicherungsmaßnahmen berücksichtigen. In einem Fragenkomplex wurden daher die Hotelmanager zunächst nach ihrer

Einschätzung der Erdbebengefahr in Istanbul befragt. Hierbei gaben 18 der Befragten (46%) an, die Wahrscheinlichkeit für hoch zu halten. Weitere 18 (46%) glaubten an eine mittlere Wahrscheinlichkeit für ein starkes Erdbeben (Tab. 1).

Interessant werden diese Aussagen im Zusammenhang mit den Folgefragen. Hier wurde erfragt, wie die Wahrscheinlichkeit für die Beschädigung des eigenen Hotels infolge eines Erdbebens eingeschätzt wird (Tab. 2). Nur 4 der Befragten (10%) nahmen ein hohes Schadenrisiko für ihr Hotel infolge eines Erdbebens an. 25 (65%) gingen sogar von keinem, bzw. einem geringen Schadenrisiko infolge eines Erdbebens aus. Eine weitere Frage erfasste die Einschätzung der Wahrscheinlichkeit für andere Hotels, Schäden durch ein Erdbeben zu erleiden (Tab. 3). Hier sahen 9 Befragte (23%) ein hohes Risiko, 12 Befragte (31%) hielten das Risiko immer noch für mittelmäßig. Das Schadenrisiko für andere wurde demnach höher eingeschätzt als das Risiko für das eigene Hotel. Dieses Ergebnis fiel trotz des geringen Stichprobenumfangs deutlich aus. Ein Grund für diese Diskrepanz könnte optimistische Voreingenommenheit (optimistic bias) sein. Optimistische Voreingenommenheit steht für ein bestimmtes Einschätzungsmuster, bei dem Menschen das Risiko, selbst von zukünftigen Krisen betroffen zu sein, geringer einschätzen als das anderer. Dieser Zusammenhang

Tabelle 1: Einschätzung der Wahrscheinlichkeit eines starken Erdbebens in Istanbul.

	Häufigkeit	Prozent
Hoch	18	46.2
Mittel	18	46.2
Gering	2	5.1
Weiß nicht	1	2.6
Total	39	100.0

Tabelle 2: Risiko eines Schadens durch ein Erdbeben für das eigene Hotel.

	Häufigkeit	Prozent
Hoch	4	10.3
Mittel	8	20.5
Gering	19	48.7
Kein Risiko	6	15.4
Weiß nicht	2	5.1
Total	39	100.0

wurde bei persönlichen Risiken, die sich auf Verletzungsrisiken für die befragten Personen beziehen, schon mehrfach aufgezeigt (Meyer 2006). Das Schadenrisiko für den eigenen materiellen Besitz sowie für die Besitztümer anderer wurde noch nicht ausführlich untersucht.

In einer Studie aus Neuseeland von 2005 (Spittal et al. 2005) wurde nach der Einschätzung des Schadenrisikos infolge Erdbebens für den eigenen Besitz und das Risiko für den Besitz anderer gefragt. Das Risiko eines Schadens am eigenen Besitz wurde höher eingeschätzt als das Schadenrisiko an den Besitztümern anderer. D.h. das Resultat dieser Studie war gegenteilig zu dem in der hier vorgestellten Studie. Möglicherweise kommt das gegenteilige Ergebnis dadurch zustande, dass die Hotelmanager einerseits aufgrund selbst geleisteter Krisenvorbereitungen und andererseits aufgrund von Kontrollen durch Inspektoren optimistisch sind, für ein Erdbeben gerüstet zu sein, jedoch nicht wissen, ob die Konkurrenten ebenfalls eine solche Vorbereitung geleistet haben und daher für diese eine pessimistischere Prognose abgeben.

Tabelle 3: Risiko eines Schadens durch ein Erdbeben für andere Hotels.

	Häufigkeit	Prozent
Hoch	9	23.1
Mittel	12	30.8
Gering	9	23.1
Weiß nicht	9	23.1
Total	39	100

In einer weiteren Frage ging es um die Einschätzung der größten denkbaren Gefahr, die das Hotel treffen könnte. Als größte Gefahr mit 21 Nennungen (55%) wurden Naturkatastrophen angegeben, genauer Erdbeben und Lauffeuer. 11 mal (29%) wurde Terrorismus als größte Gefahr genannt. Krieg in

benachbarten Ländern war mit 4 Nennungen (11%) vertreten, Soziale Unruhe und ökonomische Krisen mit je einer Nennung (3%).

Eine offene Frage, die gestellt wurde, betraf mögliche Maßnahmen zur vorbeugenden Kontrolle einer Erdbebenkatastrophe. Von den 39 Befragten nannten 14 (36%) mögliche Maßnahmen (Erziehung und Kontrolle, Vorausplanung und Bereitschaft, sowie Versicherung). Die restlichen 25 Befragten (64%) offenbarten eine fatalistischere Weltsicht und gaben an, dass eine Katastrophe Gottes Wille sei, bzw. sie wollten sich auf das Eingreifen des Staates verlassen. Fatalismus ist ein bekanntes Phänomen in der türkischen Gesellschaft und wurde unter Anderem als Grund für die niedrige gesellschaftliche Beteiligung an Maßnahmen zur Risikominderung verantwortlich gemacht (Inelmen et al. 2004). Fatalismus könnte auch ein Grund für eine schwache Versicherungsnachfrage sein. Denn wenn das eigene Schicksal als gegeben angesehen wird, dann verspricht Absicherung keinen Erfolg.

6.2 Katastrophenvorbereitung

Das Niveau der Vorbereitungen auf eine Katastrophe wurde in der genannten Vorstudie ebenfalls erfasst. Alle Hotels gaben an, grundsätzliche Sicherheitsvorkehrungen für den Fall einer Katastrophe getroffen zu haben. Dies betraf z.B. die Unterweisung des Personals, Evakuationstrainings, die Fixierung von Möbeln und die Bereitstellung von Feuerlöschern. All diese Maßnahmen sind wichtig und können während der Katastrophe und im Zeitraum direkt nach der Katastrophe Leben retten. Interessanter Relevant für die wirtschaftlichen Folgen eines Bebens sind vor allem Vorkehrungen mit längerfristiger Wirkung, sowie finanzielle Maßnahmen. Diese waren nicht ganz so stark verbreitet. Aber immerhin hatten 28 der Hotels (72%) einen Geschäftsplan für den Fall einer Katastrophe, und 19 der Manager (49%) gaben an, eine Planung zur örtlichen Verlagerung der Geschäftstätigkeit im Falle einer Katastrophe zu haben.

37 der Befragten (95%) hatten nach eigenen Aussagen eine Hotel-Versicherung. Dies ist eine Versicherung gegen Feuer, Sturm, Flut und Terrorismus. Die hohe Versicherungsquote ist nicht verwunderlich, da diese Versicherung obligatorisch ist. Eine Erdbebenversicherung ist jedoch nur optional enthalten. Eine Betriebsunterbrechungsversicherung hatten nur 14 (36%) Unternehmen abgeschlossen. 12 der Befragten (31%) wussten nicht, dass eine solche Versicherungsmöglichkeit existiert. Dies ist umso erstaunlicher, da nicht Kleinstunternehmen befragt wurden, sondern Unternehmen mit durchschnittlich 27 Mitarbeitern. Wenn selbst in Unternehmen dieser Größe die leitenden Manager nicht wissen, was eine Betriebsunterbrechungsversicherung ist, so ist anzunehmen, dass in den Kleinstunternehmen noch weniger Information darüber vorhanden ist.

Auch die Meinung der Befragten zu einer Erdbebenversicherung für kleine Unternehmen wurde erhoben. 25 der Befragten (64%) hielten eine solche Versicherung für wünschenswert. Dies kann ein Indikator für eine Lücke in der Versicherbarkeit kleiner Unternehmen sein. Es ist zu vermuten, dass Kleinstunternehmen mit weniger als 10 Mitarbeitern noch weniger abgesichert sind, da sie meist wesentlich knappere Ressourcen haben als die größeren Unternehmen und wahrscheinlich schlechter über das Erdbebenrisiko, sowie das Versicherungsangebot informiert sind.

Eine Frage lautete, welche Akteure geeignet sind, Maßnahmen zur Minderung der Erdbebenfolgen zu leisten. Aufgrund des großen Spektrums möglicher Maßnahmen, kommen hier natürlich viele Akteure in Betracht. Ziel dieser Frage war es, etwas über die Reputation der jeweiligen Akteure bei den Befragten zu erfahren. Versicherungen und die regionale Verwaltung waren die Favoriten (Tab. 4). Das recht hohe Vertrauen in Nichtregierungsorganisationen (NRO) könnte mit den Erfahrungen des Erdbebens von 1999 zusammenhängen. Damals versagten im Chaos nach dem Beben viele staatliche Einrichtungen. NROs jedoch, funktionierten aufgrund ihrer dezentralen Strukturen noch vielfach und leisteten wichtige Hilfsmaßnahmen. Aufgrund der Berichterstattung der Medien, erfuhren NROs landesweit einen Popularitätsschub. Überraschend bei den Antworten zu dieser Frage war die schwache Eignung, die dem Militär zugeschrieben wird, denn traditionell hat das Militär ein hohes Ansehen in der türkischen Gesellschaft (Inelmen et al. 2004).

Tabelle 4: Welche Institutionen sind vertrauenswürdig und geeignet für das Risikomanagement?

	Häufigkeit (x von 39)	Prozent
Versicherungen	20	51
Stadtverwaltung	18	46
Nichtregierungsorganisationen	10	26
Staat	6	15
Universitäten	7	18
Militär	2	5
Andere	5	13

Überraschend bei den Antworten zu dieser Frage war die schwache Eignung, die dem Militär zugeschrieben wird, denn traditionell hat das Militär ein hohes Ansehen in der türkischen Gesellschaft (Inelmen et al. 2004).

Da die Studie nicht auf Kleinstunternehmen abzielte, sondern auf kleine Unternehmen mit bis zu 50 Mitarbeitern und da Hotels befragt wurden, die besonders kontrolliert werden, können die Ergebnisse nicht vollständig auf Kleinstunternehmen in anderen Branchen übertragen werden. Ergebnisse zu Fragen der Risikowahrnehmung und zu kulturspezifischen Aspekten sind jedoch übertragbar. Für Erkenntnisse über kleine und Kleinstunternehmen sind weitere Studien an Unternehmen in Kocaeli, welche vom Erdbeben 1999 betroffen waren, notwendig.

trolliert werden, können die Ergebnisse nicht vollständig auf Kleinstunternehmen in anderen Branchen übertragen werden. Ergebnisse zu Fragen der Risikowahrnehmung und zu kulturspezifischen Aspekten sind jedoch übertragbar. Für Erkenntnisse über kleine und Kleinstunternehmen sind weitere Studien an Unternehmen in Kocaeli, welche vom Erdbeben 1999 betroffen waren, notwendig.

7. Fazit

Kleine und Kleinstunternehmen sind besonders anfällig für Naturkatastrophen. Für sie ist die Wahrscheinlichkeit höher, infolge eines solchen Ereignisses insolvent zu werden, als für größere Unternehmen. Faktoren, welche eine Erholung von KKV positiv beeinflussen wurden bis jetzt nur in den USA erforscht. Der Zugang zu Finanzquellen und Versicherungen lag dabei nicht im Fokus der entsprechenden Studien. Istanbul hat einen gewaltigen Bestand an KKV, welche kaum für die Zeit nach einem größeren Erdbeben in Istanbul vorbereitet sind. Die Geschäftsleute scheinen über das Erdbebenrisiko informiert zu sein und haben Vorkehrungen für den Moment der Katastrophe und die kurze Zeitspanne direkt danach getroffen. Eine länger-

fristige Finanzplanung, welche die Erholung der Unternehmen nach einem solchen Ereignis unterstützen kann, fehlt jedoch vielfach. Mikrofinanzmaßnahmen können ein Instrument sein, um die Erholung der KKV zu unterstützen. Die genaue Analyse einzelner Maßnahmen und die Abwägung der Kosten und Nutzen stehen jedoch noch aus.

Literaturverzeichnis

- Amtsblatt der Europäischen Union, L 124, 20.5.2003.
- European Association of Craft, Small and Medium-sized Enterprises (UEAPME), Information leaflet, 10.2006.
- Maier, J., Dittmeier, V. und F. Obermaier (1994), Arbeitsplatzdynamik und Unternehmensneugründungen - Überprüfung der Funktion von Unternehmensgröße und -alter in Survivoranalysen im Raum Bayreuth, in: Schmude, J. (Hrsg.), Neue Unternehmen. Interdisziplinäre Beiträge zur Gründungsforschung, Heidelberg.
- Akgiray, A., Barbarosoglu, G. and Erdik, M. (2004), 'The 1999 Marmara earthquakes in Turkey', in: Large scale disasters - lessons learned: Organization for economic cooperation and development (OECD), 77-92.
- Dahlhamer, J. and Tierney, K. (1996), 'Winners and Losers: Predicting Business Disaster Recovery Outcomes Following the Northridge Earthquake', Delaware: University of Delaware - Disaster Research Center.
- Grava, S., Jacob, K. and Gencer, E. (2002), 'Disaster Resistant Istanbul', Columbia: Columbia University.
- Inelmen, K., Say, A. I. and Kabasakal, H. (2004), 'Participation Lethargy in Disaster Preparedness Organizations within the Framework of a Turkish CBO', in: International Journal of Sociology and Social Policy 24(10/11) 2004: 130-158.
- Kunreuther, H. (2006), 'Has the Time come for Comprehensive Natural Disaster Insurance?', in: Daniels, R., Kettl, D. and Kunreuther, H., eds., On Risk and Disaster, Philadelphia: University of Pennsylvania Press, 175-201.
- Meyer, R. J. (2006), 'Why We Under-Prepare for Hazards', in: Daniels, R., Kettl, D. and Kunreuther, H., eds., On Risk and Disaster, Philadelphia: University of Pennsylvania Press, 153 - 174.
- Parsons, T. (2004), 'Recalculated probability of M>7 earthquakes beneath the Sea of Marmara, Turkey', in: Journal of Geophysical Research 109(B05304) 2004: 1-21.
- Runyan, R. C. (2006), 'Small Business in the face of crisis: Identifying Barriers to Recovery from Natural Disasters', in: Journal of Contingencies and Crisis Management 14(1) 2006: 12-26.
- Spittal, M., McClure, J., Siegert, R. and Walkey, F. (2005), 'Optimistic Bias in relation to preparedness for earthquakes', in: The Australasian Journal of Disaster and Trauma Studies 2005 (1).
- Tierney, K., Dalhammer, J. and Webb, G. (2000), 'Business and Disasters: Empirical Patterns And Unanswered Questions', in: Natural Hazards Review 1(2) 2000: 83-90.
- Yezer, A. M. J. (2002), 'The Economics of Natural Disasters', in: Stallings, R. A., ed., The Methods of Disaster Research, 212-234.

Notwasserversorgung durch Maar-Vulkane? Abschätzung des Versorgungspotentials am Beispiel des Geeser Maars (Eifel)

Stefan Senitz¹, Gerold Hesse², Georg Büchel³

¹Universität Karlsruhe (TH), Institut für Hydromechanik, Otto-Amman-Platz 1, 76128 Karlsruhe, Deutschland, E-Mail: ssenitz@ifh.uni-karlsruhe.de, Telefon: +49(0)721/6082686

²JENA-GEOS®-Ingenieurbüro GmbH, Saalbahnhofstraße 25c, 07743 Jena, Deutschland

³Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Geowissenschaften, Burgweg 11, 07749 Jena, Deutschland

Kurzfassung

Bei der Bewältigung von Naturkatastrophen ist oftmals der Aufbau einer Notwasserversorgung notwendig. Hierzu bedarf es alternativer Wasserressourcen. Durch ihre Eigenschaften können sich Maar-Vulkane, die weltweit vorkommen, hierfür eignen, was exemplarisch erstmalig am Geeser Maar (Eifel) überprüft wurde.

Als Erstes wurde die Struktur mittels geologischer Kartierung und Geophysik aufgeklärt. Hydrogeologische Kartierungen und Abflussmessungen wurden zur Abschätzung von Hydraulik und Wasserbilanz durchgeführt. Anhand hydrochemischer Untersuchungen wurde die Grundwasserqualität bestimmt. Zur Einschätzung der Grundwasserergänzung wurden Tritiumalter bestimmt. Im zweiten Schritt wurde ein hydraulisches Strömungsmodell des Maar-Aquifer erstellt. Es wurde geklärt, ob der Aquifer hydraulisch modelliert werden kann. Das Modell soll für die Simulation hydrogeologisch relevanter Szenarien benutzt werden.

Das Ergebnis ist ein hohes wasserwirtschaftliches Nutzungspotenzial des Geeser Maars. Das Grundwasser hat zudem Trinkwasserqualität. Bei einer Förderrate von 10 l/s ist das Wiederauffüllen des Aquifers innerhalb eines Jahres gewährleistet. Für eine Notwasserversorgung sind kurzfristig deutlich höhere Raten möglich. Zudem bieten die Aquiferdeckschichten eine gute Schutzfunktion. Die Erschließung ist mit einem einzelnen Brunnen möglich. Das Geeser-Maar eignet sich uneingeschränkt für die Notwasserversorgung.

Stichworte

Maar Vulkan, Struktur, Hydrogeologie, Hydraulik, Strömungsmodell, Wasserversorgungspotenzial

1. Einführung

Nach einer Naturkatastrophe (Überschwemmung, Erdbeben, Tsunami, ...) ist die Trinkwasserversorgung der betroffenen Bevölkerung durch beschädigte Versorgungsinfrastruktur oder Kontamination oftmals beeinträchtigt. Dadurch können Trinkwasserressourcen langfristig wegfallen oder Seuchen entstehen. Eine Erstversorgung in Katastrophengebieten ist meist mit großem Aufwand verbunden.

Maar-Vulkane in besiedelten Regionen können aufgrund ihrer geologischen und hydraulischen Eigenschaften die Funktion alternativer Wasserressourcen übernehmen. Unter bestimmten Voraussetzungen eignen sie sich für eine schnell initiierbare Notwasserversorgung und sind daher für das regionale Katastrophenmanagement interessant. Auch im Falle terroristischer Anschläge, bei denen die allgemeine Wasserversorgung selbst Zielobjekt ist, sind alternative Wasserressourcen bedeutsam.

Obwohl die Entstehung von Maar-Vulkanen immer an die Existenz von Grundwasser gekoppelt ist, sind sie aus hydrogeologischer Sicht bisher nicht untersucht. Die präsentierten Ergebnisse fokussieren deshalb zunächst auf Struktur, Hydraulik und Wasserbilanz des Geeser Maars, die sich aus Geländedaten ableiten. Im zweiten Schritt wird ein numerisches Strömungsmodell zur Simulation relevanter Wasserversorgungsszenarien vorgestellt.

2. Begriffsklärung Maar-Vulkan

Maar-Vulkane entstehen durch die Interaktion von aufsteigendem Magma mit Grundwasser (Phreatomagmatismus) und sind deshalb als Grundwasser führende Strukturen einzustufen. Im kontinentalen Bereich sind sie die zweithäufigste Vulkanform (Buness et al. 2006) (Abb.

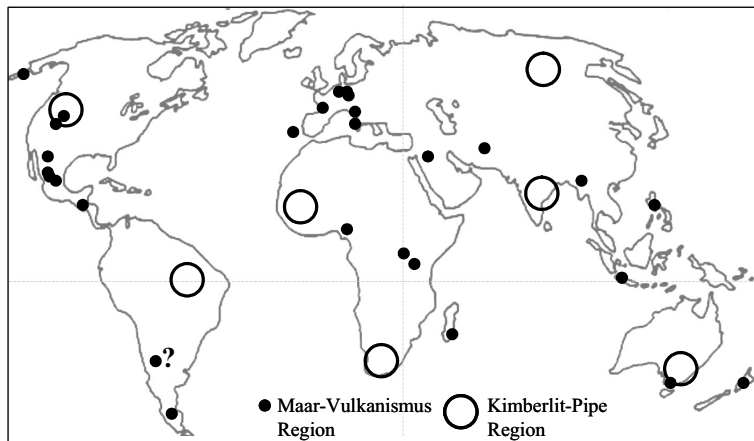


Abbildung 1: Verbreitung von Maar-Vulkanen und damit in Verbindung stehenden Kimberlit-Pipes. Maar-Vulkane treten oft in größerer Anzahl in einem Vulkanfeld auf.

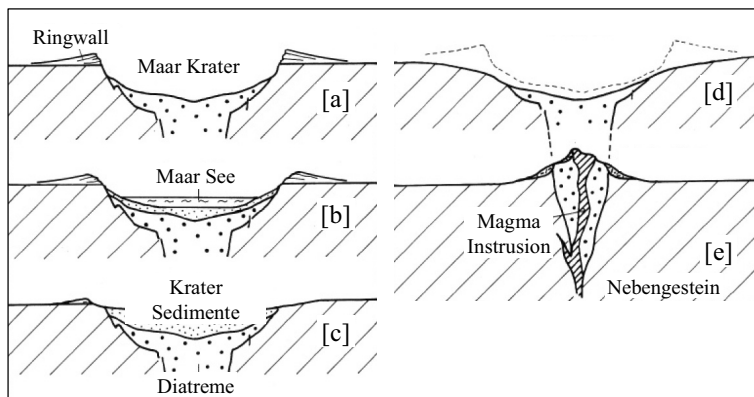


Abbildung 2: Posteruptive Entwicklung eines Maar-Diatrem-Vulkans (nach Büchel 1993).

die Explosionskammer in immer größere Tiefe. Der Masseverlust im Untergrund wird durch gravitatives Absinken von Nebengesteinen ausgeglichen. Unter dem Krater bildet sich ein mit fragmentiertem Material gefülltes, trichterförmiges Diatrem. Lorenz (2000) bezeichnet diesen Vulkantyp als Maar-Diatrem-Vulkan. Mit der Eruptionsdauer vergrößert sich die Einbruchstruktur. Die Tiefe des Maarkraters beträgt anschließend ca. ein Fünftel des Kraterdurchmessers (Wood 1974), die Tiefe des Diatrems entspricht etwa dem Kraterdurchmesser.

Nach der Eruption besteht die Struktur aus dem Maarkrater und dem trichterförmigen Diatrem (Abb. 2a). Ein Ringwall aus Pyroklastika umgibt die Struktur. Gravitative Umlagerung füllt den Krater nach und nach mit Sedimenten auf. Kompaktion führt zu Diageneseprozessen. Im

1). Die Entstehung und Struktur von Maar-Vulkanen wurde von zahlreichen Autoren untersucht (z. B. Oillier 1967, Lorenz et al. 1982, Negendank et al. 1985, Büchel 1993, Wohletz et al. 2000, Lorenz et al. 2003, Buness et al. 2006, Lindner et al. 2006).

Durch die Eruption entsteht ein in die Erdoberfläche eingeschnittener Vulkankrater. Dabei werden typische vulkanische Lockergesteine (Pyroklastika) gebildet. Teile des Magmas und des Nebengesteins werden zu Aschen fragmentiert. Zusätzlich wird Material aus der Explosionskammer an die Oberfläche befördert. Eruptionswolken lösen am Boden turbulente Suspensionsströme (base surges) aus und verteilen die Pyroklastika um das Eruptionszentrum. Um den Krater entsteht ein Tuffwall. Während der Eruptionsphase verlagert sich

Ergebnis senkt sich der Kraterboden ab (Lorenz 2000, Suhr et al. 2006). Wird dabei der Grundwasserspiegel unterschritten, bildet sich ein Maarsee (Büchel 1993) (Abb. 2b). Im Laufe der Zeit wird der Ringwall erosiv abgetragen und der Kratersee durch Sedimentation aufgefüllt (Abb. 2c). Bei anhaltender Erosion wird die Vulkanform vollständig eingeebnet (Abb. 2d) was bis zur Freilegung des Diatremes führen kann (Abb. 2e). Diese dann positive Geländeform wird Kimberlit- Pipe genannt.

Trotz großer weltweiter Verbreitung ist aus der Literatur nur eine Trinkwasser-Gewinnung aus MaarVulkanen am Blue Lake in Australien beschrieben (Barr et al. 2000). In Deutschland werden einige Maare in der Eifel zur Wassergewinnung genutzt (Büchel 1991, Hesse et al. 2000, Köppen et al. 2000, Weiler 2000).

3. Untersuchungsgebiet

Die Eifel bildet den südwestlichen Teil des Rheinischen Schiefergebirges (Abb. 3a). Sie wird im Südosten vom Hunsrück und im Westen von den Ardennen flankiert und in die Ost-, Hoch- und Westeifel untergliedert. Das Geeser Maar liegt zentral im quartären Vulkanfeld der Westeifel, südöstlich der Ortschaft Gees bei Gerolstein. In dem ca. 70 km² großen Gebiet sind 260 Eruptionszentren und mehr als 70 Maar-Vulkane bekannt.

Das Arbeitsgebiet zeigt eine ausgeprägte Morphologie und fällt nach Nordwesten in Richtung Gerolsteiner Mulde ab. Die Bildung der Landschaftsform setzte bereits im Tertiär ein und ist heute durch tief eingeschnittene Talstrukturen gegliedert. Das Grundgebirge wird von gefalteten devonischen und mesozoischen Gesteinen gebildet. Der Vulkanismus trat erst im Quartär auf. Schlackekegel und Maarkrater verstreuten vielerorts das Relief.

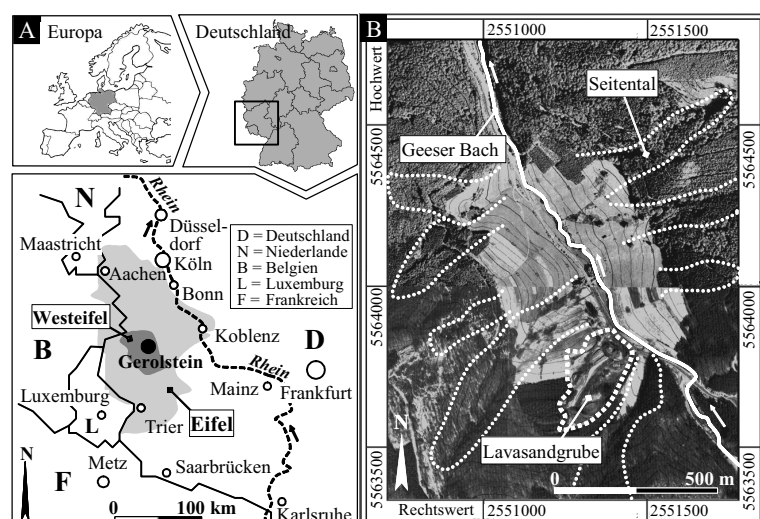


Abbildung 3: [a] Lage des Untersuchungsgebietes. [b] Luftbild des Geeser Maars (Landesvermessungsamt Rheinland-Pfalz). Zentrale Elemente sind der Geeser Bach und die Lavasandgrube. Die Seitentäler werden (temporär) über kleine Bachläufe entwässert und gehen damit in die Wasserbilanz ein.

Das Geeser Maar ist heute ein „Trockenmaar“ ohne Kratersee (Abb. 3b). Das Alter schätzt Büchel (1993) auf etwa 100.000 Jahre. Der zentrale Bereich ist ca. 100 m tief in die Landschaft eingeschnitten, die ursprüngliche Kraterform durch Erosion bereits stark verändert. Neben mehreren Seitentälern dominiert der Geeser Bach, der den Krater von Südosten nach Nordwesten durchfließt, die Struktur. Der zentrale Bereich wird heute landwirtschaftlich genutzt. Im Südwesten werden vulkanische Sedimente in einer Lavasandgrube abgebaut.

4. Untersuchungsmethoden

Zur Klärung der geologischen und hydraulischen Situation wurden zwischen 1999 und 2004 Geländearbeiten durchgeführt. Auf dieser Basis wurde 2005 mit der Erstellung eines Strömungsmodells begonnen. Diese Arbeiten sind noch nicht vollständig abgeschlossen.

4.1 Erkundung von Struktur und Hydraulik

Folgende Methoden wurden benutzt: [A] – Geologische Kartierung, [B] – Bohrungen, [C] – Geophysikalische Kartierung, [D] – Geophysikalische Modellierung, [E] – Hydrogeologische Kartierung, [F] – Hydrochemische Kartierung und Grundwasserisotopie.

[A] – Mit der geologischen Kartierung wurde die Verteilung der vulkanischen Sedimente an der Oberfläche und das tektonische Inventar untersucht. Es wurden Informationen zu Kratergröße und preferentiellen Fließwegen (Klüfte, Störungen) gewonnen.

[B] – Die Kraterfüllung wurde mit zwei Bohrungen, im zentralen Bereich (B1, Tiefe=46 m) und am Nordrand des Kraters (B2, Tiefe=20 m), untersucht (Abb. 4). An Sedimentproben wurden physikalische Eigenschaften (Dichte, Suszeptibilität, Durchlässigkeit) bestimmt und für die Kalibrierung von geophysikalischen Messungen benutzt.

[C] – Mittels geophysikalischer Kartierung wurden die magnetische (1090 Messpunkte, Proton-Magnetometer G-865G, Geometrics Inc.) und gravimetrische (155 Messpunkte, SODIN-Gravimeter Geodetic WS410-T) Anomalie untersucht. Die vulkanischen Sedimente sind durch die Art ihrer Entstehung im Vergleich zum Grundgebirge höher magnetisiert. Zusätzlich variiert die Magnetisierung verschiedener pyroklastischer Ablagerungen. Aus der magnetischen Anomalie können somit Informationen über Verbreitung (Größe des Kraters) und Art der Pyroklastika abgeleitet werden. Ein Kontrast zum Grundgebirge von mehr als 500 nT ist

typisch für Asche-Lapillituffe. Für Tephren werden Werte zwischen 200 und 400 nT angenommen. Darüber hinaus weist die Kraterfüllung eine geringere Dichte als das Nebengestein auf. Aus der Schwereanomalie lassen sich mit den Gesteinsdichten Informationen über Verteilung und Tiefenlage der Pyroklastika in Krater und Diatrem gewinnen.

[D] – Auf Basis von [A], [B] und [C] wurden Verteilung und Tiefenlage der Sedimente entlang zweier Profile (Abb. 4) modelliert (MAGIX XL V3.06 Software, INTERPEX).

[E] – Es wurden Bäche und Quellen im Untersuchungsgebiet hydrogeologisch kartiert und an 30 Messstellen der Abfluss zwei Jahre lang beobachtet (Abb. 4). Hieraus wurden Wechselwirkungen zwischen Oberflächen- und Grundwasser abgeschätzt. Anhand von Basis-

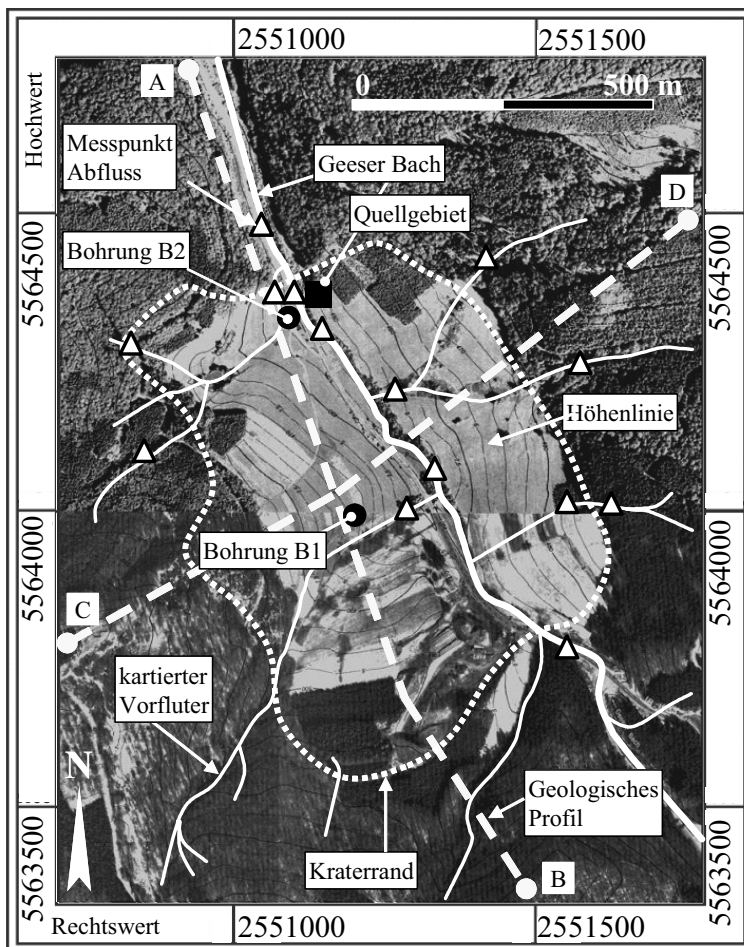


Abbildung 4: Luftbild des Geeser Maars (Landesvermessungsamt Rheinland-Pfalz). Markiert sind die Erkundungsbohrungen, die kartierten Vorfluter und Quellen, relevante Abflussmessstellen und die geologisch interpretierten Profile eingetragen.

abfließen wurde die Grundwasserneubildung berechnet.

[F] – Die hydrochemische Zusammensetzung des Grundwassers wurde mit insgesamt 172 Wasserproben untersucht. Es wurden Bäche, Quellen und Grundwasser unterschieden. Mittels isotopischer Untersuchungen wurden Herkunft und Alter des Grundwassers eingeschätzt.

4.2 Strömungsmodell

Zu klären war, ob die Maar-Struktur mit den Geländedaten hydraulisch modelliert werden kann. Anschließend sollen für die Grundwassergewinnung relevante Szenarien (Nass-/Trockenjahr, Pumpraten, ...) simuliert werden.

Folgende Arbeitsschritte wurden durchgeführt: [G] – Ermittlung der 3D-Struktur von Krater und Schichtgrenzen aus den Geländedaten, [H] – Modellerstellung (Modellgebiet, Modellgitter, Randbedingungen, hydraulische Parameter, Grundwasserneubildung), [I] – Kalibrierung.

[G] – Im ersten Schritt wurde der Kraterrand an der Oberfläche aus den geologischen [A] und magnetischen [C] Daten konstruiert. Die 3D-Struktur von Krater und Schichtgrenzen wurde mit den Ergebnissen der gravimetrischen Anomalie [C] und der modellierten geologischen Profilen [D] unter Berücksichtigung geologischer Plausibilität geostatistisch geschätzt (Simple-Kriging, SURFER 7.0 Software, GOLDEN SOFTWARE).

[H] – Für die 3D-Strömungsmodellierung wurde das Programm FEFLOW 5.2 (WASY Ltd.) verwendet. Als Modellgrenze wurde der Kraterrand gewählt. Die Oberflächenmorphologie wurde über ein digitales Geländemodell (20 m Auflösung, Landesvermessungsamt Rheinland-Pfalz) abgebildet. Es wurden drei Modellschichten definiert. Das Modellgitter besteht aus 12.000 Zellen mit 8.400 Knotenpunkten (Dreiecks-Prismen). Für die Quellen am Nordrand des Kraters (Abb. 4) wurde eine „Constant-head“ Randbedingung definiert. Da kein hydraulischer Kontakt zwischen Grundgebirge und Maar anzunehmen ist, wurde der Modellrand mit einer „No flux“ Randbedingung belegt. Ein punktueller Eintrag über den Rand wurde lediglich für einen Bereich im Nordosten definiert, wo im Gelände hohe Versickerungsraten am Kraterrand gemessen wurden. Als Ursache wird hoch-permeables, in den Krater hineinreichendes Rutschungsmaterial angenommen. Für die Vorfluter wurde eine „Transfer“ Randbedingung gewählt. Die hydraulischen Eigenschaften der vulkanischen Sedimente wurden an Bohrproben [B] bestimmt. Es wurden drei Sedimenttypen unterschieden. Die Grundwasserneubildung wurde aus den Abflussmessungen [E] unter Berücksichtigung meteorologischer Daten bestimmt. Im ersten Schritt wurde eine stationäre Lösung berechnet die als „Initial head“ Bedingung in die Berechnung der instationären Lösung einging.

[I] – Die stationäre Kalibrierung erfolgte an den Grundwasserständen der Bohrungen. Für die instationäre Kalibrierung wurden die Daten eines Leistungspumpversuchs an der Bohrung B1 benutzt.

5. Ergebnisse

Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse bezüglich Struktur, Grundwasserhaushalt und hydraulischer Modellierung für das Geeser Maar dargestellt.

5.1 Struktur

Die Maar Struktur leitet sich aus der geologischen Kartierung [A], den Erkundungsbohrungen [B] und den geophysikalischen Untersuchungen [C] [D] ab.

Aus der Geophysik folgt eine größte Kraterausdehnung von 750 m in NW-SE-Richtung und von 550 m senkrecht dazu. Insgesamt bedecken die Kratersedimente eine Fläche 0,42 km². Aus den Schweremessungen folgt ein Massendefizit im Untergrund. Aus den Bohrproben wurde ein Dichtekontrast von 0,5 g/cm³ zwischen Kraterfüllung und Grundgebirge bestimmt. Die Schwereanomalie lässt auf eine Kratersedimentmächtigkeit von 200 m schließen. Darunter folgt die Diatremfüllung mit einer um 0,2-0,3 g/cm³ höheren Dichte und einer Tiefenerstreckung von mindestens 800 m.

Die Kratersedimente sind größtenteils von Solifluktionmassen überlagert. Der Ringwall ist nicht mehr erhalten. In der Lavesandgrube sind primär gelagerte Schlacken und umgelagerte Vulkanoklasten aufgeschlossen. Die untere lithologische Einheit besteht aus basaltischem Lapilli-Tuff mit eingelagerten Bomben und 10 % Xenolithen. Das Gestein ist das Produkt eines Schlackenkegels, der nach der Maar-Eruption im südlichen, westlichen und zentralen Teil des Maars entstanden ist. Die obere lithologische Einheit besteht aus Sedimenten der Kraterfüllung in Wechsellagerung. Es handelt sich um Erosionsprodukte des Schlackenkegels (Lapilli) und des Ringwalls (Tephra). Die Wechsellagerung entstand durch die mehrfache Abfolge von Rutschungen und Sedimentation unter Wasser. Typisch ist ein hoher feinklastischer Anteil. Sedimentproben ergaben hohe hydraulische Leitfähigkeiten (10E-03 bis 10E-04 m/s) am Kratertrand, die im selben Bereich wie bei der unteren lithologischen Einheit (Lapilli-Tuffe) liegen. Für die Deckschichten des Krater sind die Werte um einige Größenordnungen kleiner (10E-06 bis 10E-07 m/s). Zusätzlich ist von einer hydraulischen Verbindung zwischen Lapilli-Tuffen und Kraterandsedimenten auszugehen. Damit kann die Kraterfüllung als ein von einem Grundwasserhemmer bedeckter Porengrundwasserleiter, der über die Kraterandsedimente hydraulisch mit der Oberfläche verbunden ist, interpretiert werden. Abbildung 5 zeigt die Verhältnisse anhand zweier geologischer Profile.

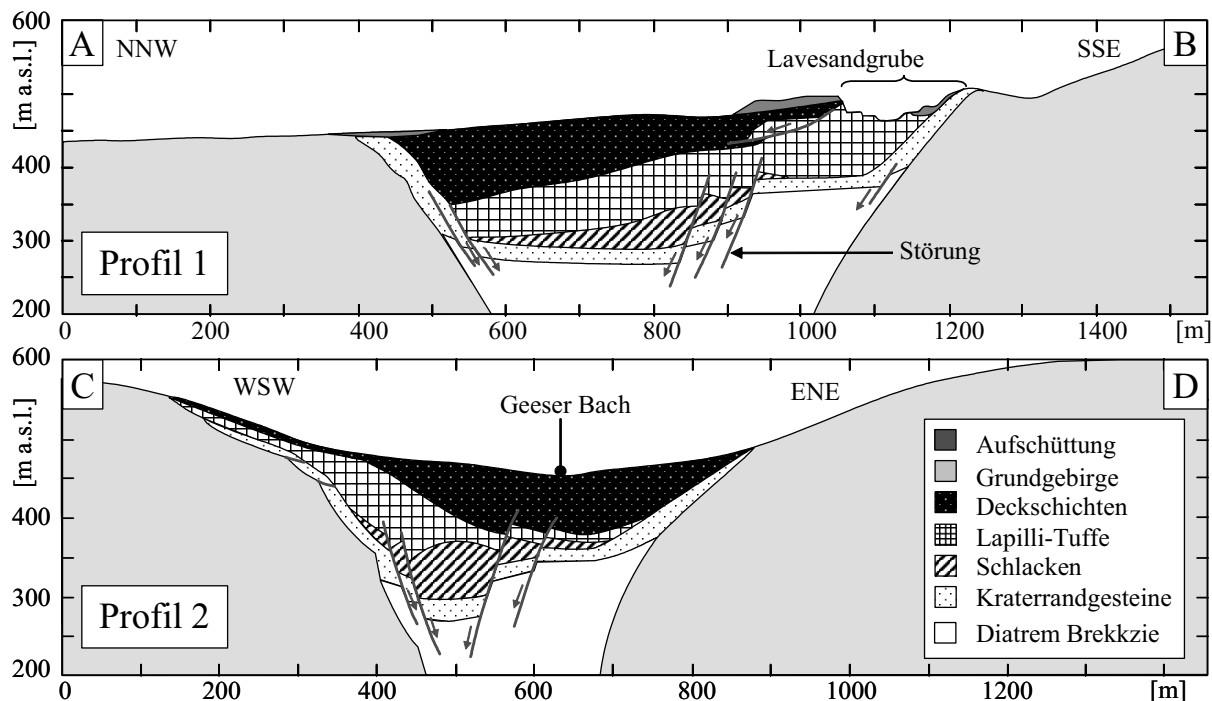


Abbildung 5: Geologische Profilschnitte durch das Geeser Maar, die aus geologischen und geophysikalischen Daten abgeleitet wurden. Untersuchungen an Sedimentproben ergaben eine Grundwasserstauerfunktion der Deckschichten und eine Grundwasserleiterfunktion für die Lapilli-Tuffe, Schlacken und Kraterandgesteine. Ein hydraulischer Kontakt zwischen den Maarsedimenten und Grundgebirge wird nicht angenommen. Die Lage der Profile ist aus Abbildung 4 ersichtlich.

5.2 Grundwasserhaushalt

Durch Abflussmessungen wurden in Abhängigkeit vom geologischen Untergrund verschiedene Abflussregime identifiziert. Die saisonale Betrachtung lässt auf das Retentionsvermögen des jeweiligen Untergrunds schließen. Im Grundgebirge wird der sommerliche Trockenwetterabfluss in den Wintermonaten um das 100-fache übertroffen woraus eine geringe Retention folgt. Quellschüttungen des Geeser Maars unterscheiden sich im Sommer- und Winterhalbjahr aber nur um den Faktor zwei. Damit haben die am Wassertransport beteiligten Kraterseimente ein hohes Retentionsvermögen.

Entlang des Geeser Bachs wurden für drei Einzugsgebiete Trockenwetterabflüsse bestimmt. Südlich des Kraters wurde ein Wert von $3,3 \text{ l/(s km}^2\text{)}$ oder 104 mm/Jahr ermittelt. Für den Krater beträgt der Wert $2,9 \text{ l/(s km}^2\text{)}$ oder 92 mm/Jahr , nördlich davon nur noch $1,3 \text{ l/(s km}^2\text{)}$ oder 28 mm/Jahr . Im Bereich des Geeser Maars erfolgte eine weitere Differenzierung. Dem Grundgebirge kommt unter Berücksichtigung der Einzugsgebietsgröße ein Anteil von $0,8 \text{ l/(s km}^2\text{)}$ oder 28 mm/Jahr zu. Für die Kraterfüllung selbst beträgt dieser $13,4 \text{ l/(s km}^2\text{)}$ oder 422 mm/Jahr . Weil das Geeser Maar nur über einen Quellhorizont entwässert, entspricht dieser Wert dem Trockenwetterabfluss der vulkanischen Gesteine. In Relation zur Maarfläche leitet sich daraus eine Quellschüttung von mehr als $5,6 \text{ l/s}$ ab. Tatsächlich wurden an fünf für den Trockenwetterabfluss relevanten Tagen im Mittel 6 l/s gemessen. Hieraus ergibt sich eine Grundwasserneubildung von mehr als 420 mm/Jahr .

Der Trockenwetterabfluss ist lediglich eine untere Grenze der Neubildung. Tatsächlich wurde im Untersuchungszeitraum eine mittlere Quellschüttung von 10 l/s bestimmt, was einer Neubildungsrate von 750 mm/Jahr entspricht. Saisonale Grundwasserspiegelschwankungen von mehr als $2,5 \text{ m}$ sprechen ebenfalls dafür. Diese hohe Neubildungsrate kann nicht mit einem einzigen Prozess erklärt werden. Aus Überschlagsrechnungen folgt, dass 60% des Grundwassers durch Infiltration von Oberflächenwasser über den Kraterrand erfolgt (6 l/s). 20% (2 l/s) resultieren aus der Influenz des Geeser Bachs, der gleiche Betrag aus der Versickerung von Niederschlägen (Abb. 6).

Im Sommer wird der Oberflächenabfluss des Grundgebirges vollständig infiltriert, im Winterhalbjahr, bei höherem Basisabfluss, etwa 30% davon. Insgesamt ist die Grundwasserneubildung außergewöhnlich hoch. Das hohe Retentionsvermögen der vulkanischen Gesteine führt zum verzögerten Abfluss des hauptsächlich im Winterhalbjahr gebildeten Grundwassers.

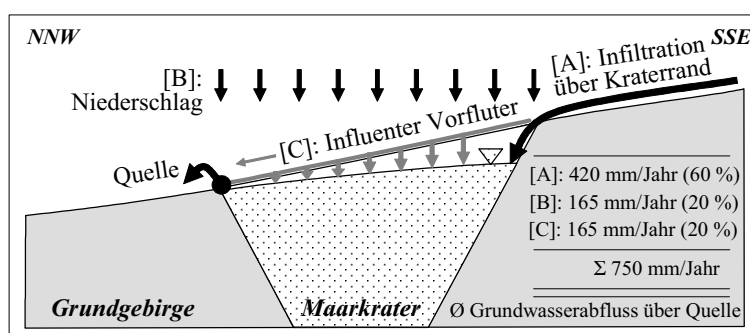


Abbildung 6: Schematischer Profilschnitt durch das Geeser Maar mit Angabe der drei relevanten Prozesse der Grundwasserneubildung. Am Nordrand wird der Maarkrater über ein Quellgebiet entwässert.

Hydrochemische Analysen ordnen das Grundwasser im Geeser Maar einem Calcium-Hydrogencarbonat-Typ mit geringer Mineralisation ($250 \mu\text{S/cm}$) zu. Grenzwerte der Trinkwasserverordnung werden nicht überschritten. Bedingt durch den Chemismus der vulkanischen Ablagerungen ist das Grundwasser mit Kalium, Kieselsäure und Phosphat angereichert (max. 1 mg/l). Die Konzentration des über infiltrierende Oberflächenwasser eingetragenen Nitrats schwankt zwischen 3 mg/l (Sommer) und 15 mg/l (Winter). Auch die Konzentration

von Chlorid, das über den im Winter mit Streusalz belasteten Geeser Bach eingetragen wird, ist unbedenklich.

Anhand des radioaktiven Umweltisotops Tritium wurde das Alter des Grundwassers auf 4 bis 20 Jahre eingegrenzt, woraus sich ein rasches Wiederauffüllen des Aquifers ableitet.

5.3 Hydraulische Modellierung

Die berechnete 3D-Form der Maarstruktur ergab eine in NNW-SSE Richtung gestreckte und nach unten konisch zulaufende Form (Abb. 7). Der Übergang zwischen Krater und Diatrem ist gut erkennbar. Darüber hinaus zeigen sich steil einfallende Kraterränder. Im Bereich der Lavasandgrube wurden im Gelände Einfallswinkel von mehr als 36° gemessen. Obwohl die Maarstruktur bis in mindestens 800 m Teufe reicht, wurden im Modell nur 400 m berücksichtigt. Ein Einfluss tiefer gelegener Diatremgesteine auf den Wassertransport wird aufgrund der Kompaktion nicht angenommen.

Lage und Form der Schichtgrenzen zeigt Abbildung 8. Die Deckschicht der Kraterfüllung bildet die Einheit 1 ($k_f=5.0E-6$ m/s). Lapilli-Tuffe, Schlacken und Kraterrandsedimente wurden zur Einheit 2 ($k_f=1.0E-5$ m/s) zusammengefasst. Einheit 3 ($k_f=1.0E-6$ m/s) ist die Diatremfüllung. Einheit 4 bilden die hochpermeablen Rutschungssedimente ($k_f= 5.0E-3$ m/s). Form und Lage der Rutschmassen im Krater wurden von Hand abgeschätzt. Hauptgrundwasserleiter ist Einheit 2 für die gespannte hydraulische Verhältnisse angenommen wurden. Im Bereich der Lavasandgrube ist die Deckschichtmächtigkeit verringert, weshalb Einheit 2 hier an die Oberfläche heranreicht.

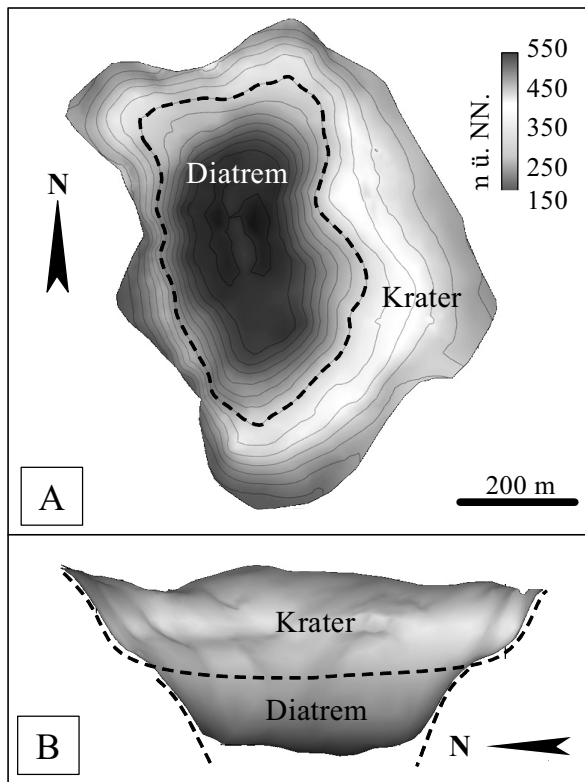


Abbildung 7: Aufsicht [A] und Seitenansicht [B] der berechneten Geeser Maar Struktur, die sich klar in Krater und Diatrem gliedern lässt. Charakteristisch sind steil einfallende Kraterränder und eine Verjüngung mit zunehmender Tiefe.

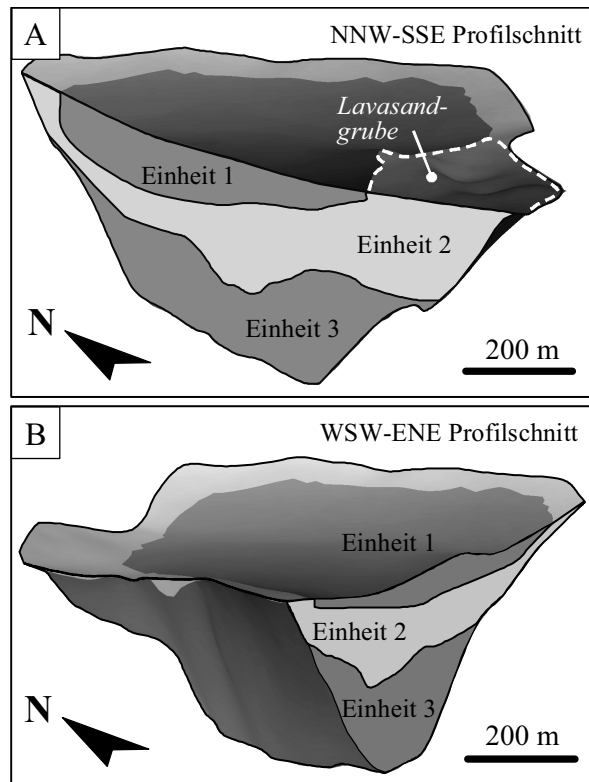


Abbildung 8: Schnittdarstellung der berechneten lithologischen Schichtgrenzen mit Zuordnung der hydraulischen Einheiten. Im Bereich der Lavasandgrube [A] streicht Einheit 2 an die Oberfläche aus.

Im stationären Fall wurden für die Grundwasserneubildung die aus den Abflussmessungen bilanzierten Werte eingesetzt. Das Ergebnis zeigt im zentralen Maarbereich eine ungestörte Grundwasseroberfläche, die zum Teil von erhöhten Potenzialen, hervorgerufen durch die influenten Vorfluter überlagert wird (Abb. 9). Im Kraterrandbereich treten steile Gradienten auf. Generell strömt das Grundwasser in nördlicher Richtung ab. Das hydraulisch niedrigste Potenzial liegt im Quellgebiet vor. Die Kalibrierung ergibt eine gute Übereinstimmung mit den in den Bohrungen B1 (448 m ü. NN.) und B2 (443 m ü. NN.) gemessenen Werten. Damit werden die im Gelände beobachteten Verhältnisse plausibel repräsentiert.

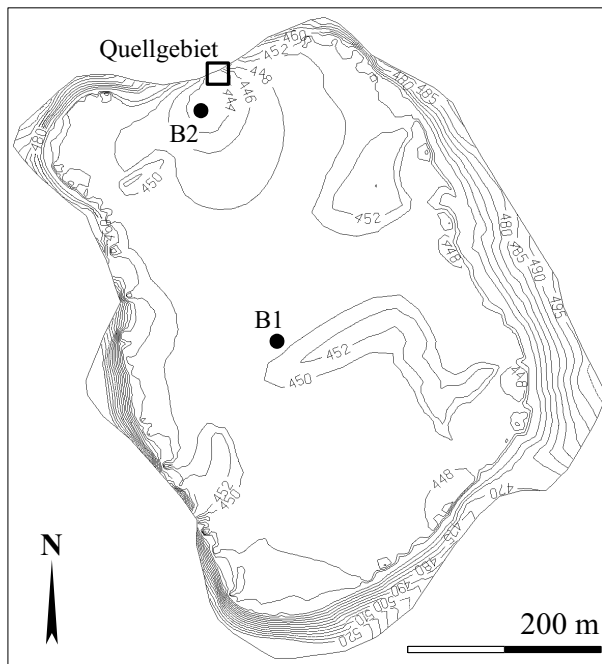


Abbildung 9: Berechnete Grundwassergleichen als stationäre Lösung des 3D-Strömungsmodells. Die Kalibrierung erfolgte an den Bohrungen B1 und B2.

Die Grundwasserneubildung **im instationären Fall** basiert auf der zeitlichen Niederschlagsverteilung. Als Neubildungsmenge wurden 750 mm/Jahr angenommen (Abb. 6) und anteilig auf die einzelnen Neubildungsprozesse aufgeteilt (Abb. 10a). Prozessbedingte zeitliche Unterschiede wurden nicht berücksichtigt. Die berechnete zeitliche Entwicklung der Grundwasserstände im Bereich der Bohrungen B1 und B2 zeigt Abbildung 10b. Weil gemessene Zeitreihen fehlen, wurden die berechneten Werte an die aus Stichtagsmessungen ermittelten Schwankungsbreiten angepasst. Die Zeitreihen zeigen einen zeitlichen Versatz von etwa fünf Tagen zugunsten von Bohrung B2. Die geringere Deckschichtmächtigkeit und Randlage lässt das geologisch plausibel erscheinen.

Die Simulation eines im Sommer 2004 an der Bohrung B1 durchgeführten Leistungspumpversuchs ergab eine mittlere Abweichung von 10 cm zwischen gemessener und berechneter Grundwasserabsenkung (Abb. 10c). Aus der Wasserbilanz für das Modellgebiet geht hervor, dass die beim Leistungspumpversuch benutzte mittlere Förderrate von 8 l/s den Aquifer in den Sommermonaten langfristig überlastet (Abb. 10d). Ausgehend von der über den gesamten Untersuchungszeitraum gemessenen mittleren Quellschüttung von 10 l/s (siehe 5.2) kann davon ausgegangen werden, dass im Winterhalbjahr eine höhere Förderrate gewählt werden kann. Im Sommerhalbjahr sollte ein Wert zwischen 5,6 l/s (Trockenwetterabfluss, siehe 5.2) und 8 l/s gewählt werden.

Das Tritiumalter des Grundwassers lässt auf einen kompletten Austausch innerhalb weniger Jahre schließen. Demzufolge kann das Reservoir für eine Notwasserversorgung kurzfristig durch höhere Pumpraten überlastet werden. Die gute Permeabilität der vulkanischen Gesteine des Hauptgrundwasserleiters in Verbindung mit dem hohen Speichervermögen ermöglicht ein rasches Wiederauffüllen. Durch die geologischen Verhältnisse wird die Lage der Bohrung B2 als nahezu optimal für eine Wasserförderung angesehen. Es wird davon ausgegangen, dass über diese Bohrung der gesamte Aquifer entwässert werden kann.

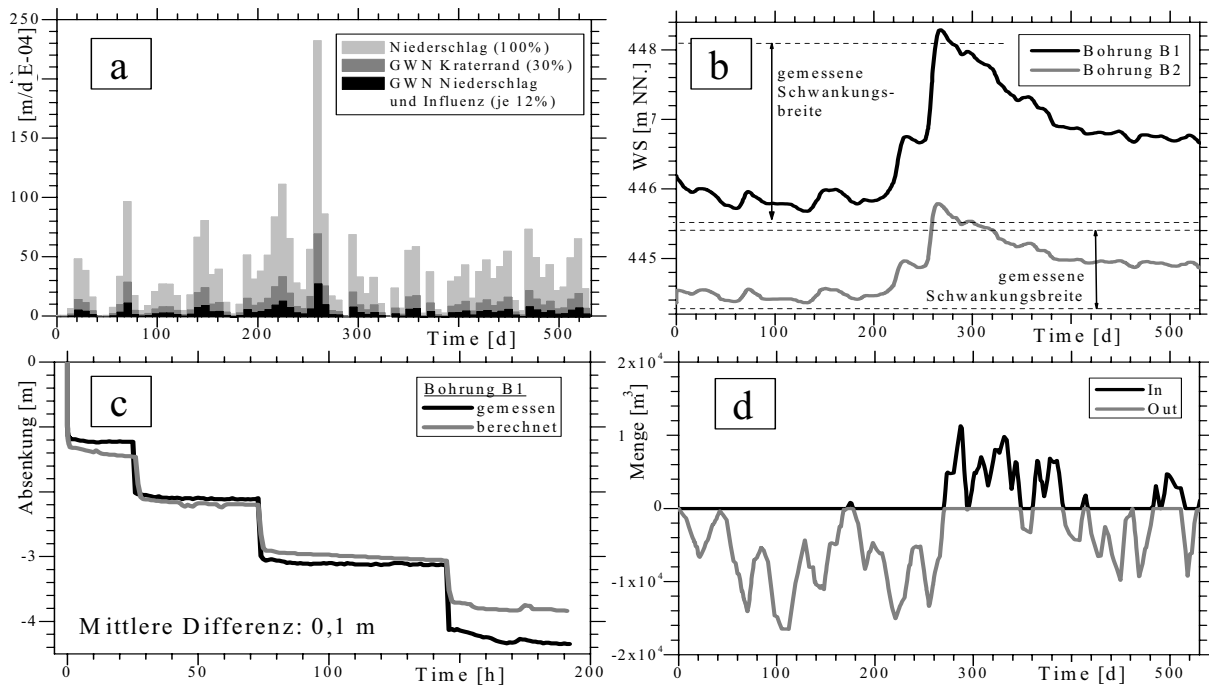


Abbildung 10: [a] Niederschlagsverlauf und daraus abgeleitete Anteile der instationären Grundwasserneubildung (GWN Kraterrand= Grundwassereintrag über Kraterrand, GWN Niederschlag= Anteil aus Niederschlag, GWN Influenz= Influenz Vorfluter. [b] Modellkalibrierung von berechneten Grundwasserspiegelschwankungen an gemessenen Schwankungsbreiten. [c] Modellkalibrierung an einem 2004 an der Bohrung B1 durchgeführten Leistungspumpversuch. [d] Wasserbilanz für das Modellgebiet unter Berücksichtigung des Pumpversuchs. Der Aquifer verliert langfristig Wasser. Als Ursache wird eine im Sommer zu hohe mittlere Pumprate des Pumpversuchs (8 l/s) oder die Unterschätzung der Grundwasserneubildung angenommen. Eine ausgeglichene Bilanz stellt sich bei einer Rate zwischen 5,6 l/s (mittlerer Trockenwetterabfluss) und 8 l/s ein.

6. Schlussfolgerungen und Ausblick

Mit dem Geeser Maar wurde erstmals ein Maar-Vulkan unter hydrogeologischen Gesichtspunkten betrachtet. Im Ergebnis kann dem Maar-Aquifer ein hohes wasserwirtschaftliches Nutzungspotenzial zugesprochen werden. Hydrochemische Analysen zeigen eine Wasserqualität, die uneingeschränkt der deutschen Trinkwasserverordnung entspricht. Als nutzbare Grundwassermenge wurde bei konservativer Betrachtung ein Wert von 6 l/s bestimmt. Im Mittel wurden 10 l/s über den gesamten Untersuchungszeitraum bestimmt. Es wird davon ausgegangen, dass bei diesem Wert die Ergänzung der Entnahmemenge innerhalb eines Jahres gewährleistet ist. Für den kurzfristigen Notwasserversorgungsfall wird angenommen, dass mit deutlich höheren Raten gefördert werden kann. Die rasche natürliche Ergänzung des Grundwassers sichert die zügige Erholung des Aquifers. Zudem kann der Maar-Aquifer mit einem einzelnen Brunnen erschlossen werden, dessen Umgebung zusätzlich von hydraulisch gering durchlässigen Deckschichten geschützt ist.

Mit dem Strömungsmodell steht zusätzlich ein Tool bereit, das sich für die Abschätzung hydrogeologisch relevanter Szenarien eignet. Abschließend werden damit extreme Nass- und Trockenjahre simuliert und die Möglichkeit einer vollständigen Entleerung des Aquifers untersucht.

Das Geeser Maar eignet sich uneingeschränkt für eine Notwasserversorgung. Da es sich um eine erste exemplarische Studie handelt, lassen sich keine Aussagen über die Relevanz der Ergebnisse bezüglich anderer Maar-Vulkane treffen. Hier besteht weiterer Untersuchungsbedarf. Diese Studie liefert dazu eine allgemeingültige Untersuchungsstrategie.

Literaturverzeichnis

- Barr A. D., Turner J. V., Townley L. R. (2000) A coupled water, conservative solute and environmental isotope mass balance model for lakes and other surface water bodies. – *Land and Water* 262:539-544
- Büchel G. (1993) Maars of the Westeifel. – In: Negendank J. F. W., Zolitschka B. (Eds.) *Paleolimnology of European Maarlakes*. – *Lecture Notes in Earth Sciences* 49
- Büchel G. (1991) Gutachten über die Geologie und Hydrogeologie des Maares Hausten-Morswiesen (unveröff.)
- Buness H. A., Wiederhold H., Wonik T. (2006) Seismic reflection patterns of two Tertiary maars in Germany. – *Z. dt. Ges. Geowiss.* 157:339-353.
- Hesse G., Büchel G. (2000) Strategy of ground water exploration in maar volcanoes demonstrated at the Gees Maar (West Eifel volcanic field, Germany). – *Terra Nostra* 2000/6:190-194
- Köppen K.-H., Justen A., Büchel G. (2000) Hydrogeologie von Maaren – Wasserwirtschaftliche Bedeutung am Beispiel einiger Maare der Eifel. – *Terra Nostra* 2000/6:208-210
- Lindner H., Gabriel G., Götze H.-J., Kaepler R., Suhr. P. (2006) Geophysical and geological investigations of maar structures in the Upper Lusatia region (East Saxony). – *Z. dt. Ges. Geowiss.* 157 :355-372
- Lorenz V. (2000) Formation of the root zones of maar-diatreme volcanoes. – *Terra Nostra* 2000/6:279-283
- Lorenz V (1983) Maare und Schlackenkegelvulkanismus der Westeifel. – *Spektr. d. Wiss.* 2:26-37
- Lorenz V., Suhr. P., Goth K. (2003) Maar-diatreme volcanism – causes and consequences. The Gutttau Volcano in eastern Saxony as an example for complex processes and relationships. – *Z. geol. Wiss.* 31:267-312
- Negendank J. F. W., Emmermann R., Krawczyk R., Mooser F., Tobschall H., Werle D. (1985) Geological and geochemical investigations on eastern Trans Mexican Volcanic Belt. – *Geofisica International* 24(4):77-575
- Oillier C. (1967) Maars their characteristics, varieties and definition. – *Bull. Volcanol.* 31(2):45-73
- Suhr P., Goth K., Lorenz V., Suhr S. (2006) Long lasting subsidence and deformation in and above maar-diatreme volcanoes – a never ending story. – *Z. dt. Geowiss. Ges.* 157:491-511
- Weiler H. (2000) Hydrogeological prospection of dry maars in the Eifel. – *Terra Nostra* 2000/6:346-349
- Wohletz K. H., Zimanowski B.(2000) Physics of Phreatomagmatism, Part 1: Explosion Physics. – *Terra Nostra* 2000/6:515-523
- Wood C. A. (1974) Reconnaissance geophysics and geology of Pinacate Craters, Sonora, Mexico. – *Bull. Volcanol.* 38:149-172

Betonfräsen im Rettungseinsatz

Johannes Karl Westermann

Universität Karlsruhe (TH), Institut für Technologie und Management im Baubetrieb, Am Fasanengarten, 76128 Karlsruhe, Deutschland, E-Mail: westermann@tmb.uni-karlsruhe.de, Telefon: +49(0)721/6088249

Kurzfassung

Mit dem Projekt "Bergungstechnik für Verschüttete" möchte man mehr Wissen über Baumaschinen erlangen, um im Katastrophenfall auch Standardmaschinen schnell zu wirkungsvollen Rettungsgeräten umfunktionieren zu können. Nachdem im ersten Teilprojekt „Optimierung von Standardbaumaschinen zur Rettung Verschütteter“ schwerpunktmäßig die Saugbaggertechnik behandelt wurde, widmet sich das Folgeprojekt "Betonfräsen im Rettungseinsatz" der aus dem Gebäuderückbau und dem Bergbau stammenden hydraulischen Anbaufräse mit Querschneidkopf als Anbaugerät für Hydraulikbagger. Angedacht ist, das Gerät etwa zum Erstellen von Öffnungen und Durchbrüchen zu verwenden, um so schnell und einfach zu den Opfern einer Katastrophe zu gelangen.

Stichworte

Rettungstechnik, Hydraulische Anbaufräse mit Querschneidkopf, Gebäudeeinsturz, Optimierung von Standardbaumaschinen

1. Der Hintergrund der Arbeit

Mögen menschliches Versagen, Terroranschläge, Kriegshandlungen oder Naturgewalten die Ursachen für Katastrophen sein, immer wieder haben sie zur Folge, dass die Trümmer zusammenbrechender Bauwerke Menschen unter sich begraben. Werden dann nicht umgehend wirkungsvolle Rettungsmaßnahmen eingeleitet, so haben auch lebend Verschüttete keine Chance.

Um nach einem Gebäudeeinsturz den Opfern schnell und wirksam helfen zu können, benötigt man eine durchdachte Logistik, geschulte Organisatoren und Helfer, aber vor allem geeignetes Rettungsgerät. Doch nahezu jeder Bericht über solch eine Katastrophe zeigt Bilder von Helfern bei dem verzweifelten Versuch, eingeschlossene Personen aus zusammengebrochenen Gebäuden zu befreien. Oft graben die Leute Stunden um Stunden mit bloßen Händen hilflos nach Verschütteten, weil spezialisierte Rettungsmannschaften nicht vor Ort sind um zu helfen. Kleinteilige Trümmer werden in mühevoller Handarbeit über Menschenketten zeitraubend entfernt. Zur Zerkleinerung und zum Abtransport größerer Trümmer setzt man verfügbare Baumaschinen wie Bagger, Krane oder Radlader ein. Solche Maschinen sind jedoch für den Einsatz auf Baustellen konzipiert. Sie werden für Rettungsmaßnahmen zweckentfremdet und können nicht optimal eingesetzt werden. Untersuchungen zeigen, dass viele lebend Verschüttete bei Rettungsversuchen mit schwerem Gerät zu Schaden kommen, weil die durch die Maschinen in die Trümmerstruktur eingeleiteten Kräfte gefährliche Umlagerungen oder Verschiebungen im Trümmergefüge bewirken und dadurch lebenswichtige Hohlräume auffüllen (Abb. 1).

Für bedrohte Gemeinwesen ist es meistens unwirtschaftlich, vorbeugend teure Spezialmaschinen anzuschaffen und dauerhaft bereit zu stellen, weil Katastrophen glücklicherweise



Abbildung 1: Baumaschinen beim Rettungseinsatz (Foto: Michael Markus).

nur selten auftreten. Für Baumaschinenhersteller lohnt es sich deshalb nicht, neben ihren Standardprodukten Sondergeräte zur Rettung und Bergung zu entwickeln, da der Bedarf an solchen Maschinen viel zu klein ist. Selbst Hilfsorganisationen wie die deutsche Bundesanstalt Technisches Hilfswerk halten nur kleinere Spezialgeräte wie Betonkettensägen oder Hebekissen zur Rettung und Bergung vor, um im Katastrophenfall möglichst wirkungsvoll Hilfe leisten zu können. Diese meist handgeführten Geräte reichen ihrer geringen Leistung wegen jedoch nicht aus, um große Trümmermengen zu beseitigen. Für schwere Einsatzfälle ist man gezwungen, auf gängige Maschinen zurückzugreifen. Daher bleibt auch den Verantwortlichen vor Ort nach einer Katastrophe nichts anderes übrig als vorhandene Baumaschinen zu verwenden, um Trümmer überhaupt beseitigen und zu Verschütteten vordringen zu können.

Mit dem Projekt "Bergungstechnik für Verschüttete" möchte man mehr Wissen über Baumaschinen erlangen, um im Katastrophenfall auch Standardmaschinen schnell zu wirkungsvollen Rettungsgeräten umfunktionieren zu können. Nachdem im ersten Teilprojekt „Optimierung von Standardbaumaschinen zur Rettung Verschütteter“ schwerpunktmäßig die Saugbaggertechnik behandelt wurde, widmet sich das Folgeprojekt "Betonfräsen im Rettungseinsatz" der aus dem Gebäuderückbau und dem Bergbau stammenden hydraulischen Anbaufräse mit Querschneidkopf als Anbaugerät für Hydraulikbagger. Angedacht ist, das Gerät etwa zum Erstellen von Öffnungen und Durchbrüchen zu verwenden, um so schnell und einfach zu den Opfern einer Katastrophe zu gelangen.

2. Das Ziel der Arbeit

Das Ziel der Arbeit ist die Erweiterung der bestehenden Wissensbasis über hydraulische Anbaufräsen mit Querschneidkopf beim Fräsen von Betonen, um diese Geräte zukünftig bei allen Einsätzen optimal verwenden zu können – sowohl im Standardbetrieb als auch im Katastropheneinsatz. Bisherige Einsatzplanungen und Geräteentwicklungen auf diesem Gebiet beruhen hauptsächlich auf Erfahrungswerten. Allgemeingültige Aussagen zum Fräsenbetrieb

sind auf der bestehenden Grundlage nicht möglich. Umfangreiche Versuchsreihen mit der hydraulischen Anbaufräse WS 30 HD des Herstellers TEREX|Schaeff sollen diesen Misstand nun beheben. Im Vordergrund steht bei den Versuchen die Wissenschaftlichkeit der Untersuchungen. Alle erfassten Daten müssen reproduzierbar und vergleichbar sein.

3. Die hydraulische Anbaufräse mit Querschneidkopf

Allgemein versteht man unter einer Fräse ein mit Messern oder Meißeln bestücktes rotierendes Werkzeug samt Antrieb zur Material abtragenden Bearbeitung verschiedener Werkstoffe. Die Metall- und Holzbearbeitung sind die Hauptanwendungsgebiete von Fräsen. Die in der vorliegenden Arbeit als Betonfräsen bezeichneten hydraulische Anbaufräsen gehören zur Gruppe der hydraulisch betriebenen Anbaugeräte, zu der auch Hydraulikhämmer, Pulverisierer, Abbruchzangen und viele weitere Werkzeuge gehören. Hydraulische Fräsen werden vorwiegend im Tunnel-, Kanal-, Straßen- und Bergbau sowie beim Gebäuderückbau eingesetzt. Darüber hinaus finden sich die Geräte auch in der Hüttenindustrie, im Erdbau sowie der Forstwirtschaft. Anbaufräsen mit einem Hydraulikbagger oder einem vergleichbaren Fahrzeug als Trägergerät eignen sich zum Abschälen von Boden- und Felsmaterial sowie von Holz, Mauerwerk, bituminösen Flächen, Beton und sogar Stahlbeton. Selbst Unterwasser-einsätze sind möglich.

Hydraulische Anbaufräsen bestehen im Wesentlichen aus einem Kegel-Planetengetriebe und einem mit versetzt angeordneten Rundschaftmeißeln bestücktem Schneid- oder Fräskopf (Abb. 2). Den Antrieb übernimmt in der Regel ein Hydraulikmotor mit konstantem Schluckvolumen. Die Fräse wird über eine starre oder drehbare Anbaukonsole an das Trägergerät montiert. Die Trägergeräthehydraulik versorgt den Hydraulikmotor der Fräse. Der vom Trägergerät bereitgestellte Öldruck steuert sowohl das Schneidmoment als auch die Drehzahl des Schneidkopfs. Hydraulische Anbaufräsen gibt es als Fräse mit einem einzelnen Fräskopf, auch als Fräse mit Längsschneidkopf bezeichnet, und als Fräse mit einem Fräskopfpaar, auch als Fräse mit Querschneidkopf bezeichnet. Der Fräskopfvortrieb ergibt sich aus dem Anpressdruck, den das Trägergerät zur Verfügung stellt. Das zu fräsende Material bestimmt den Meißeltyp. Das Angebot an verschiedenen Schneidköpfen und Meißeln für moderne Fräsen ist sehr groß, um die Geräte an unterschiedliche Einsatzbedingungen anpassen zu können.

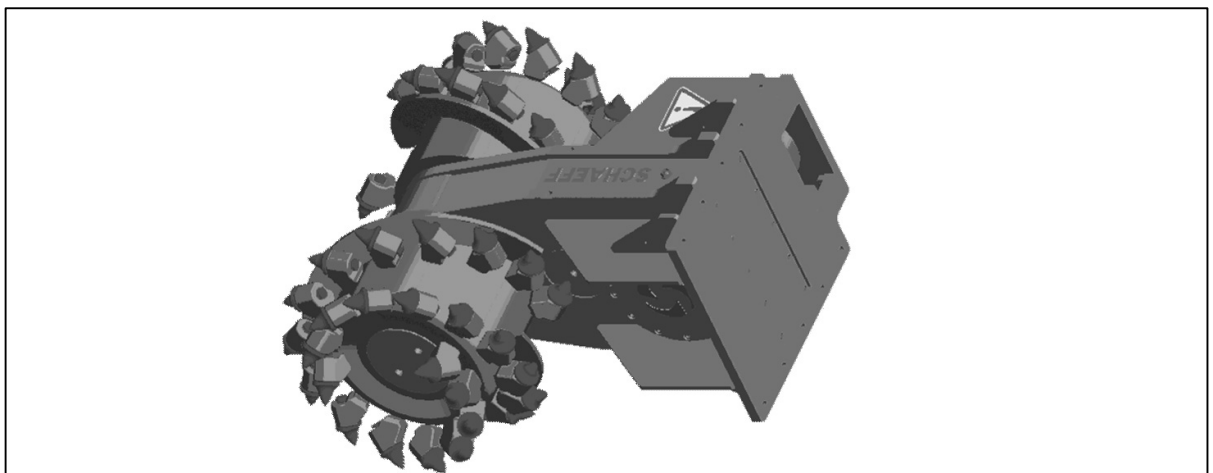


Abbildung 2: Hydraulische Anbaufräse mit Querschneidkopf (Bild: TEREX|Schaeff GmbH).

Hydraulische Anbaufräsen haben ihren Ursprung in elektromechanisch angetriebenen Teilschnittmaschinen, die erstmalig um 1910 für den Streckenvortrieb und die Gewinnung von hartem Material im Bergbau entwickelt und eingesetzt wurden. Mitte der 60er Jahre des letzten Jahrhunderts brachte der britische Hersteller Webster die ersten hydraulisch bzw. hydrostatisch angetriebenen Teilschnittmaschinen für den britischen Steinkohlebergbau als lärm- und vibrationsarme Alternative zu hydraulischen Meißeln und Felsbrechern auf den Markt. In den 80er Jahren wurden die ersten hydraulischen Fräsen als Anbaugeräte für Hydraulikbagger angeboten und erstmalig außerhalb des Berg- und Tunnelbaus bei vielfältigen Anwendungen im Baubereich eingesetzt. Der Markt für hydraulische Anbaufräsen außerhalb des Bergbaus ist seit ihrer Einführung vor fast 30 Jahren ständig gewachsen, so dass die Geräte heute rund um den Globus in großer Zahl im Einsatz sind. Erwartungsgemäß wird diese Entwicklung auch zukünftig anhalten.

4. Der Versuchsaufbau

Wie bereits angesprochen sind hydraulische Anbaufräsen als Anbaugeräte für Bau-, Land- oder Tunnelbaumaschinen entworfen. Als Trägergeräte aus dem Baumaschinenbereich kommen hauptsächlich Hydraulikbagger oder Baggerlader, aber auch Radlader zum Einsatz. Grundsätzlich können aber alle Baumaschinen mit entsprechend ausgestatteter Hydraulikanlage und Fräsenanbauvorrichtung verwendet werden. Geeignete Baumaschinen sind in sehr großer Vielfalt auf dem Markt erhältlich. Doch selbst Trägergeräte eines Typs unterscheiden sich schon auf den ersten Blick in Aufbau, Größe, Gewicht sowie ihrer Leistungsfähigkeit. Darüber hinaus weichen sie in technischen Details wie der hydraulischen Ausstattung, der Fahrzeugsteuerung oder der Mechanik und Steifigkeit des Werkzeugs oft stark voneinander ab. Die Auswahl eines repräsentativen Geräts ist schon deshalb unmöglich. Darüber hinaus dienen die Versuche dem Ziel, neue Erkenntnisse über hydraulische Anbaufräsen und nicht über die Kombination aus Anbau- und Trägergerät zu gewinnen. Selbst wenn es gelänge, einen Stellvertreter für alle Trägergeräte oder zumindest für die gleichen Typs auszuwählen, würden dessen gerätespezifische Eigenarten in die Versuchsergebnisse einfließen und diese verfälschen. Zudem kann eine Baumaschine nicht so genau gesteuert werden, dass die Versuche wiederholbare Resultate liefern.

Der dargelegten Schwierigkeiten wegen ist unter wissenschaftlichen Gesichtspunkten nur der Aufbau eines stationären Versuchstands ohne Trägergerät sinnvoll, obwohl eine Baumaschine als Trägergerät wirklichkeitsnäher wäre. Durch einen geschickten Entwurf ermöglicht ein solch idealisierter Versuchsaufbau den Ausschluss vieler störender Fremdeinflüsse auf die Messungen. Neben den bereits angesprochenen Vorteilen gestattet es ein stationärer Aufbau, nur Messdaten aus dem reinen Fräsenbetrieb zu erfassen. Auch die Versuchseinstellungen lassen sich erheblich genauer einhalten und überprüfen. Eine mögliche Überdachung verhindert zudem witterungsbedingte Einflüsse. Eine wichtige Rolle beim verwirklichten Versuchsaufbau spielen auch Aspekte wie die Bedienerfreundlichkeit aller für die Versuche erforderlichen Versuchstandteile, Geräte und Aggregate, die bei Bedarf einfache Umbaumöglichkeit des Versuchsaufbaus sowie die Kosten sparende Verwendung von institutseigenen Materialien. Der realisierte Versuchstand ist modular aufgebaut. Die einzelnen Baugruppen übernehmen unterschiedliche Funktionen. Verschiedene Modelle und die Zuhilfenahme von CAD-Software dienen der Erstellung eines bestmöglichen Konzepts sowie der Funktionskontrolle der verwendeten Komponenten. Fast alle Bauteile des endgültigen Entwurfs wurden am Computer entwickelt, in Eigenarbeit hergestellt und auf dem Versuchsgelände des Instituts für Techno-

logie und Management im Baubetrieb (TMB) in Hochstetten nahe Karlsruhe zusammenggebaut. Die Wahl eines geeigneten Standorts des Versuchstands auf dem Gelände fiel auf eine bereits vorhandene geräumige Halle, die ausreichend Schutz vor Wind und Wetter bietet. Das Zeltdach der Halle lässt sich öffnen, was die Montage schwerer oder ausladender Bauteile mit institutseigenen Hebezeugen erleichtert. Zudem kann die Halle auch mit größeren Fahrzeugen befahren werden. Die nachfolgende Abbildung 3 zeigt eine CAD-Zeichnung des verwirklichten Versuchstands.

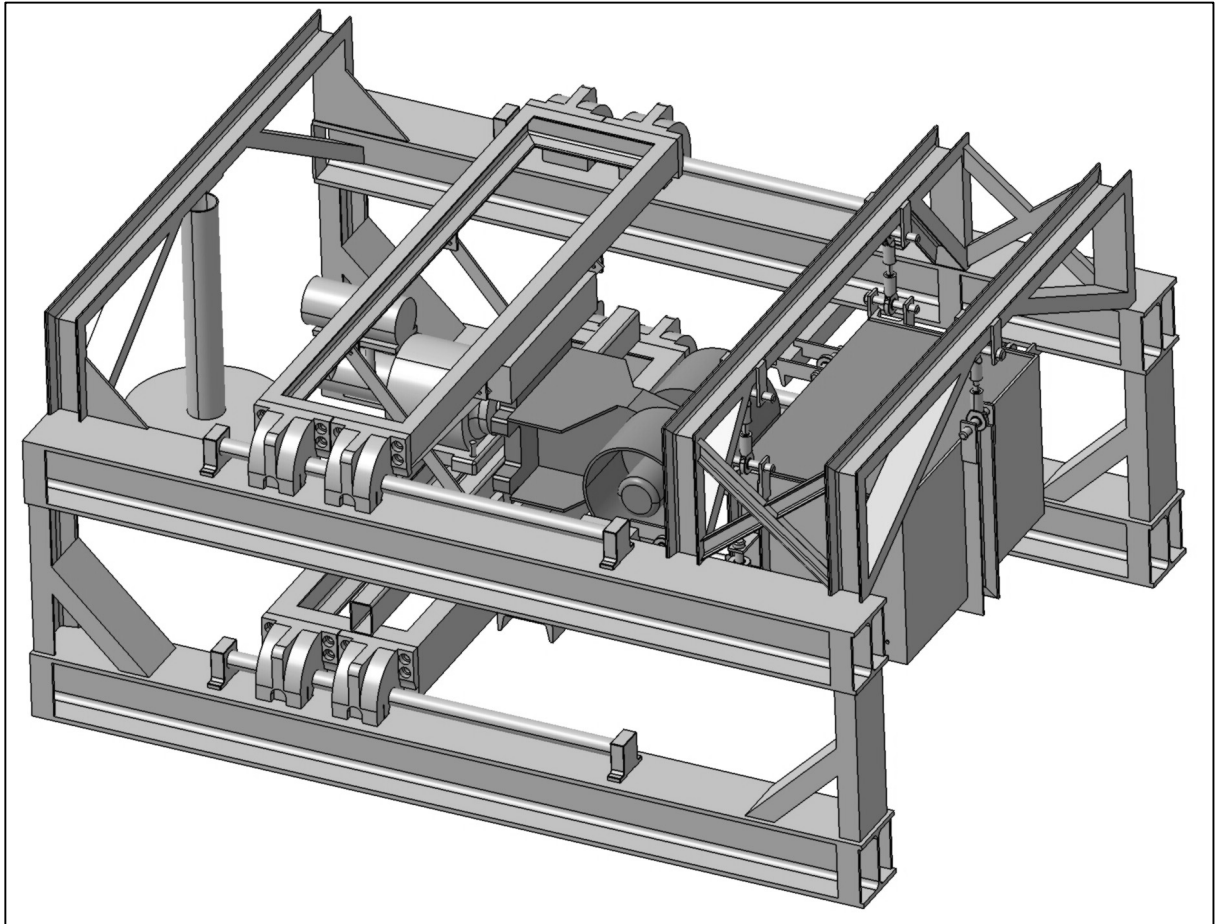


Abbildung 3: CAD-Zeichnung des Versuchstands.

5. Die Versuche

Mit Hilfe des angesprochenen Versuchaufbaus wurden fünfzig Versuche mit unterschiedlichen Einstellungen durchgeführt. Allen Versuchen gleich ist die Bearbeitung von unbewehrten Betonquadern mit der hydraulischen Anbaufräse WS 30 HD. Die Betonquader werden als Betonprüfkörper bezeichnet. Die erfassten Messdaten dienen der Grundlagenforschung über den Betrieb von hydraulischen Anbaufräsen mit Querschneidkopf. Neu an den im Rahmen der Arbeit durchgeführten Versuchen ist der Ansatz, nicht nur geräteseitig Betriebsdaten zu erfassen, sondern zudem die Auswirkungen des Fräsenbetriebs auf das zu bearbeitende Objekt zu untersuchen. Mit Blick auf den möglichen Einsatz einer hydraulischen Anbaufräse als Rettungsgerät ist es nicht unerheblich, welche Kräfte, Momente und Beschleunigungen von der Fräse ausgehen. Zudem sollen die Versuchsergebnisse auf den allgemeinen Fall übertragbar sein. Der folgende Abschnitt gibt einen kurz gehaltenen Überblick über die Versuchsinhalte.

Ein simpler Seilzug und ein angehängtes Gewicht übernehmen den Vorschub der Fräse. Durch die einfache, aber geschickte Gestaltung des Seilzug-Mechanismus ist gewährleistet, dass die Vorschubkraft immer konstant bleibt. Sie ist deshalb bei allen durchgeführten Versuchen die Referenzgröße. Bei den Versuchen wurden das Vorschubgewicht, die Betondruckfestigkeit, die Fräskopfdrehzahl und die Geschwindigkeit der seitlichen Bewegung der Fräse in Stufen variiert. Alle anderen Einstellungen wie etwa die Betonzusammensetzung blieben gleich. Wie einleitend erwähnt ist die Hauptintention der Arbeit, die optimalen Einsatzbedingungen für die Fräse unter den Versuchsbedingungen im speziellen und für den allgemeinen Einsatz zu suchen. Diesem Zweck dienen die während der Versuche aufgezeichneten Messwerte. Die folgende Auflistung gibt einen Überblick über alle erfassten Daten:

- Betonzusammensetzung
- Hydraulikdruck
- Fräskopfdrehzahl
- Weg in Fräsrichtung
- Weg quer zur Fräsrichtung
- Beschleunigung der Fräse
- Drehzahl des Fräskopfs
- Kraftwinder am statisch aufgehängten Betonprüfkörper durch Kraftmessungen an sechs Pendelstützen der Prüfkörperlagerung
- Sieblinie des Fräsguts
- Zeit

Die optimalen Einstellungen für den Fräsenbetrieb ergeben sich aus der Auswertung der erfassten Daten, ergänzt durch die Berechnung aussagekräftiger Größen wie der Schneidleistung, dem Fräsenrundlauf oder in den Prüfkörper eingeleitete Schwingungen. Da es nicht möglich ist, die Versuchsergebnisse in dem vorliegenden Artikels im Detail auszuführen, zeigt die nachfolgende Abbildung 4 beispielhaft die Ergebnisse der Auswertung des Zusammenhangs zwischen Vorschubgewicht und Schneidleistung bei ansonsten gleichen Versuchseinstellungen. Jeder Datenpunkt steht für einen Versuchsdurchlauf.

Es ist gut zu erkennen, dass zwischen den beiden Größen im Bereich von 200 kg bis etwa 1.200 kg Vorschubgewicht ein annähernd linearer Zusammenhang besteht. Bei größeren Vorschubgewichten ist dies nicht mehr gegeben. Gründe für diesen „Knick“ finden sich beispielsweise durch eine Auswertung des Fräskopfrundlaufs. Auf eine genauere Beschreibung des Phänomens wird im Rahmen dieses Artikels jedoch verzichtet.

Den Messdatenauswertungen folgt im letzten Schritt der Arbeit die Ausarbeitung eines mathematischen Modells zur Beschreibung der von der Fräse ausgehenden Kräfte und Momente. Etwas Vergleichbares gibt es nach dem derzeitigen Stand der Wissenschaft und Technik auf dem Gebiet der hydraulischen Anbaufräsen noch nicht. Das Rechenmodell soll es ermöglichen, die Fräse etwa für Lastannahmen idealisiert punktförmig darzustellen.

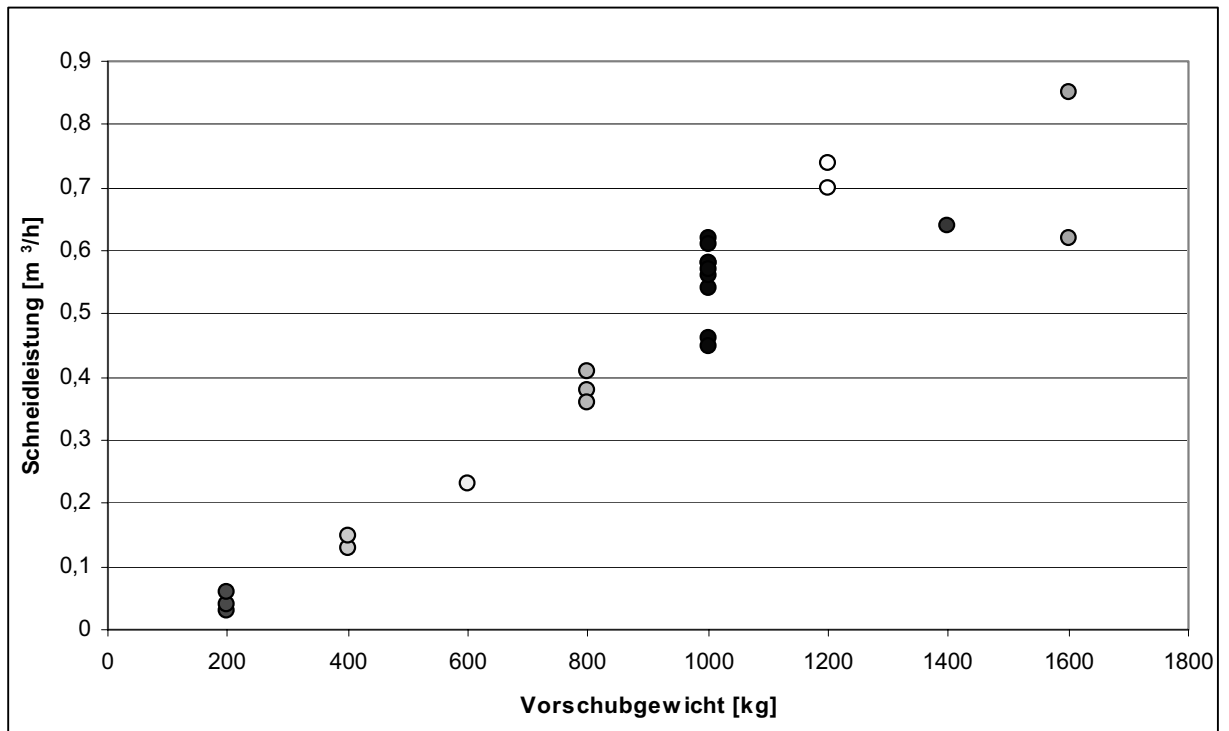


Abbildung 4: Darstellung des Zusammenhangs von Schneidleistung zu Vorschubgewicht.

6. Das Fazit

Trotz ihres zunehmenden Marktanteils ist das Wissen über hydraulische Anbaufräsen auch heute noch sehr begrenzt. Mit der Arbeit „Betonfräsen im Rettungseinsatz“ wird die Grundlage für eine wissenschaftlich fundierte Planung von Fräseinsätzen sowohl im Standardbetrieb als auch im Katastrophenfall geschaffen. Dies geschieht in folgenden Schritten:

- Umfassende Literaturrecherche
- Ermittlung des Stands von Forschung und Technik auf dem Gebiet der Rettungs- und Bergungstechnik sowie der hydraulischen Anbaufräsen
- Konzeptionelle Ausarbeitung groß angelegter Versuchsreihen zur Erhebung von Grundlagendaten über den Fräsenbetrieb
- Aufbau eines geeigneten Versuchstands
- Erfassung und Auswertung der Messdaten
- Erarbeitung eines Rechenmodells für hydraulischen Anbaufräsen

Die Resultate der Arbeit ermöglichen es, verlässliche Aussagen über für den Fräsenbetrieb wesentliche Parameter zu treffen. Durch diese Kenntnisse können hydraulische Anbaufräsen erheblich sensibler und effektiver genutzt werden. Neben einer Steigerung der Wirtschaftlichkeit im Standardbetrieb ist durch die Forschungsergebnisse zukünftig auch der Einsatz einer Fräse als Rettungsgerät denkbar.

Ein Rahmenwerk für Entscheidungsunterstützungssysteme bei unscharfem Wissen

Yi Yang

Universität Karlsruhe (TH), Institut für Algorithmen und Kognitive Systeme, Am Fasanengarten 5, 76131 Karlsruhe, Deutschland, Email: yangyi@ira.uni-karlsruhe.de, Telefon: +49(0)721/6084043

Kurzfassung

Die Arbeit präsentiert ein Rahmenwerk für Entscheidungsunterstützungssysteme bei unscharfem Wissen. Die zugrund liegende Methode des Rahmenwerks sind Ontologien, Bayessche Netzwerke, Einflussdiagramme und Virtuelle Wissensgemeinschaft. Solche Methoden werden integriert und optimiert, um die gemeinsamen Vorteile in das System integrieren zu können. Eine Serviceorientierte Architektur wird vorgestellt, um die Implementierung des Rahmenwerks zu vereinfachen.

Stichworte

Entscheidungsunterstützungssystem, Ontologien, Bayessche Netzwerke, Einflussdiagramme, Serviceorientierte Architektur

1. Einleitung

Folgende Probleme stellen Systeme zur Entscheidungsunterstützung vor große Herausforderungen: Erstens die Unsicherheit bei der Entscheidungsfindung beim Vorliegen von unscharfem Wissen; zweitens die Komplexität der Anwendungsbereiche, die eine Verwertung von Wissen aus vielen Bereichen erfordert; und drittens die dauernde Änderung der Systemumgebung, die den Systemen eine große Anpassungsfähigkeit abverlangt.

Die meisten bekannten Lösungen sind nur darauf zugeschnitten, einer dieser Herausforderungen gewachsen zu sein. So können beispielsweise entscheidungstheoretische und analytische Ansätze sehr gut mit unsicherem Wissen umgehen, wohingegen Expertensysteme und wissensbasierte Systeme besser mit der Komplexität gebietsübergreifender Anwendungen zurechtkommen. Aber kaum eines von ihnen kann ein praktisches Rahmenwerk zu den Entscheidungsfindungssystemen anbieten, das in der Lage ist, alle drei Probleme gleich gut zu lösen.

Diese Arbeit präsentiert ein ontologiebasiertes und wahrscheinlichkeitstheoretisches Rahmenwerk für Systeme zur Entscheidungsunterstützung, welches Ontologien, Bayessche Netzwerke, Einflussdiagramm und Virtuelle Wissensgemeinschaft integriert sowie optimiert, um jede der genannten Herausforderungen angehen zu können.

2. Grundlegende Methoden

2.1 Ontologien

Ontologien sind heutzutage die am meisten verwendete Methode zum Wissensmanagement, die insbesondere Im semantischen Web (Berners-Lee et al. 2001) verwendet wird. Der Begriff

„Ontologien“ hat seinen Ursprung in der Philosophie und stammt von den zwei griechischen Worten, „ontos“ (Stein) und „logos“ (Abhandlung) ab. Es gibt eine Vielzahl von Definitionen für diesen Begriff. Dieser Arbeit liegt die Definition von (Studer et al 1998) aus der angewandten Informatik zugrunde:

“An ontology is a formal, explicit specification of a shared conceptualization.”

Eine Konzeptualisierung ist eine abstrakte Beschreibung eines realen Phänomens, wobei die relevanten Konzepte des Phänomens bereits identifiziert wurden. Die Worte „formal“ und „explicit“ beziehen sich darauf, dass die Repräsentation von Ontologien maschinenlesbar sein muss und die Spezifikation möglicherweise durch Relationen und Einschränkungen verdeutlicht werden sollte. Der Begriff „share“ spielt eine wichtige Rolle in der Definition. Er betont, dass das von Ontologien repräsentierte Wissen von einer hinreichend großen Gemeinde akzeptiert und als tragfähig für diese Zwecke befunden worden ist (Daemi 2006).

Diese Arbeit verwendet die Web-Ontologien-Sprache, OWL, als die zugrund liegend formelle Wissensrepräsentationssprache für Ontologien (W3C Recommendation 2004). OWL wurde von der W3C Web Ontologie (WebOnt) Arbeitsgruppe geschaffen und im Februar 2004 zu einem offiziellen Standard erhoben. OWL hält folgende grundlegende Primitive bereit, um Ontologien zu modellieren:

- Primitive zur Modellierung von Konzepten: `<owl:Class>`.
- Primitive zur Modellierung von Relationen zwischen Konzepten: `<owl:ObjectProperty>` und `<owl:DatatypeProperty>`. Die erste beschreibt die Relationen zwischen zwei Konzepten und die zweite beschreibt ein Konzept mit einem entsprechenden Datentyp.
- Primitive zur Modellierung von Einschränkungen an Konzepten: `<owl:Restriction>`.
- Primitive zur Modellierung von Einschränkungen an Relationen: `<owl:onProperty>`.

Eine ausführliche Beschreibung für die Primitiven ist in (W3C Recommendation 2004) zu finden. Mit solchen Primitiven können domänenspezifische Ontologien erstellt werden, die die verschiedenen beteiligten Wissensdomänen zusammen in eine einheitliche semantische Grundlage strukturieren, verknüpfen und modellieren können. Beispielsweise wurde eine Flutontologie für die Wissensdomäne des Risikomanagement im Falle eines Hochwassers erstellt (Daemi 2006).

2.2 Bayessche Netzwerke und Einflussdiagramme

Bayessche Netzwerke kombinieren Graphentheorie und Wahrscheinlichkeitstheorie (Jensen 1996). Ein Bayessches Netzwerk (engl. Bayesian Network, BN) ist ein gerichteter azyklischer Graph, wobei jeder Knoten (oder Variable) des Graphen durch endlich viele sich gegenseitig ausschließende Mengen an Zuständen definiert wird. Jede Kante spezifiziert die Abhängigkeit zwischen Knoten. Jedem Zustand eines Knotens wird eine Eintrittswahrscheinlichkeit zugeordnet. Es gibt zwei Typen von Wahrscheinlichkeiten: unbedingte Wahrscheinlichkeit $P(A)$ und bedingte Wahrscheinlichkeit $P(A|B)$, wobei A und B Knoten eines Bayesschen Netzwerks sind. $P(A)$ beschreibt die Eintrittswahrscheinlichkeit von einem Ereignis A wenn keine andere Informationen beobachtet werden. Die Wahrscheinlichkeit von zwei Ereignissen A und B in

Konjunktion ist dargestellt durch $P(A,B)$. Die bedingte Wahrscheinlichkeit $P(A|B)$ beschreibt die Eintrittswahrscheinlichkeit vom Ereignis A im Fall dass das Ereignis B bereits beobachtet wurde. Die bedingte Wahrscheinlichkeit ist durch die folgende Formel definierbar:

$$P(A|B) = \frac{P(A,B)}{P(B)} \quad (1)$$

wobei $P(B) > 0$. Formel (1) ist aber auch darstellbar mit

$$P(A,B) = P(A|B)P(B) \quad (2)$$

Formel (2) ist so genannte Produktregel. Von (1) und (2) können wir das Bayessche Theorem ableiten:

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)} \quad (3)$$

Ein Einflussdiagramm (engl. Influence Diagram, ID) ist ein gerichteter azyklischer Graph, wobei die Knoten und Kanten in drei Typen klassifiziert werden (Howard et al. 2005). Es gibt drei Knotentypen: Chanceknoten, Entscheidungsknoten und Nutzenknoten. Chanceknoten sind dieselben Knoten wie bei einem Bayesschen Netzwerk. Jeder Entscheidungsknoten modelliert eine Variable, der die möglichen Entscheidungsalternativen zum bestimmten Entscheidungszeitpunkt enthält. Jeder Nutzenknoten modelliert die Nutzenverteilung für einen Entscheidungsknoten. „Nutzen“ ist dabei das Kriterium für die Entscheidungsfindung und basiert auf der Nutzentheorie. Es gibt drei Relationen in einem Einflussdiagramm: bedingte, informationelle und funktionelle Relationen. Die bedingte Relation entspricht der eines Bayesschen Netzwerks. Die informationellen Relationen enthalten alle benötigten Informationen zum Entscheidungszeitpunkt. Die funktionellen Relationen spezifizieren alle relevante Knoten, die als Entscheidungskriterien angenommen werden.

3. Das OntoBayes Model

Im Mittelpunkt der Arbeit steht die Entwicklung eines ontologiebasierten unscharfen Modells - *OntoBayes*. *OntoBayes* setzt sich aus zwei Teilen zusammen: der Wissensbasis und den Entscheidungsmodellen. Der Wissensbasis ermöglicht eine Integration von Ontologien und Bayesschen Netzwerken in OWL, um die Vorteile von allen Methodiken zu kombinieren, da sie sich gegenseitig gut ergänzen können.

Ontologien verfügen über eine hervorragende Modellierungsfähigkeit für komplexe Einsatzgebiete, sie können jedoch unscharfes Wissen nicht repräsentieren. Im Gegensatz dazu haben Bayessche Netze eine ausgezeichnete Fähigkeit zur Darstellung von unscharfem Wissen, sind aber wiederum stark beschränkt bei der Repräsentation von Wissen aus komplexen Anwendungsgebieten, da Bayessche Netzwerke nur die Abhängigkeit zwischen Konzepten modellieren können.

OntoBayes erweitert OWL durch Hinzufügen neuer Annotationen zur Darstellung von Wahrscheinlichkeiten und Abhängigkeitsrelationen, um Bayessche Netze in Form der Ontologien repräsentieren zu können. Solche Annotationen sind in Abbildung 1 in einer vereinfachten Upperontologie¹ dargestellt. Die Abbildung zeigt alle benötigte Konzepte, Relationen, Daten-

¹ Upperontologien sind Ontologien, die die wesentliche Dinge einer Domäne abstrahieren und zusammenfassen können. Die Konzepte definiert in einer Upperontologie sind meistens domäneunabhängig, wie z.B. Zeit, Maßeinheit usw.

typen und Kardinalitäten für die Spezifikation von Bayesschen Netzwerken in einer ontologischen Form. Die genaue Erklärung für jede OWL Annotation ist in (Yang 2007) zu finden.

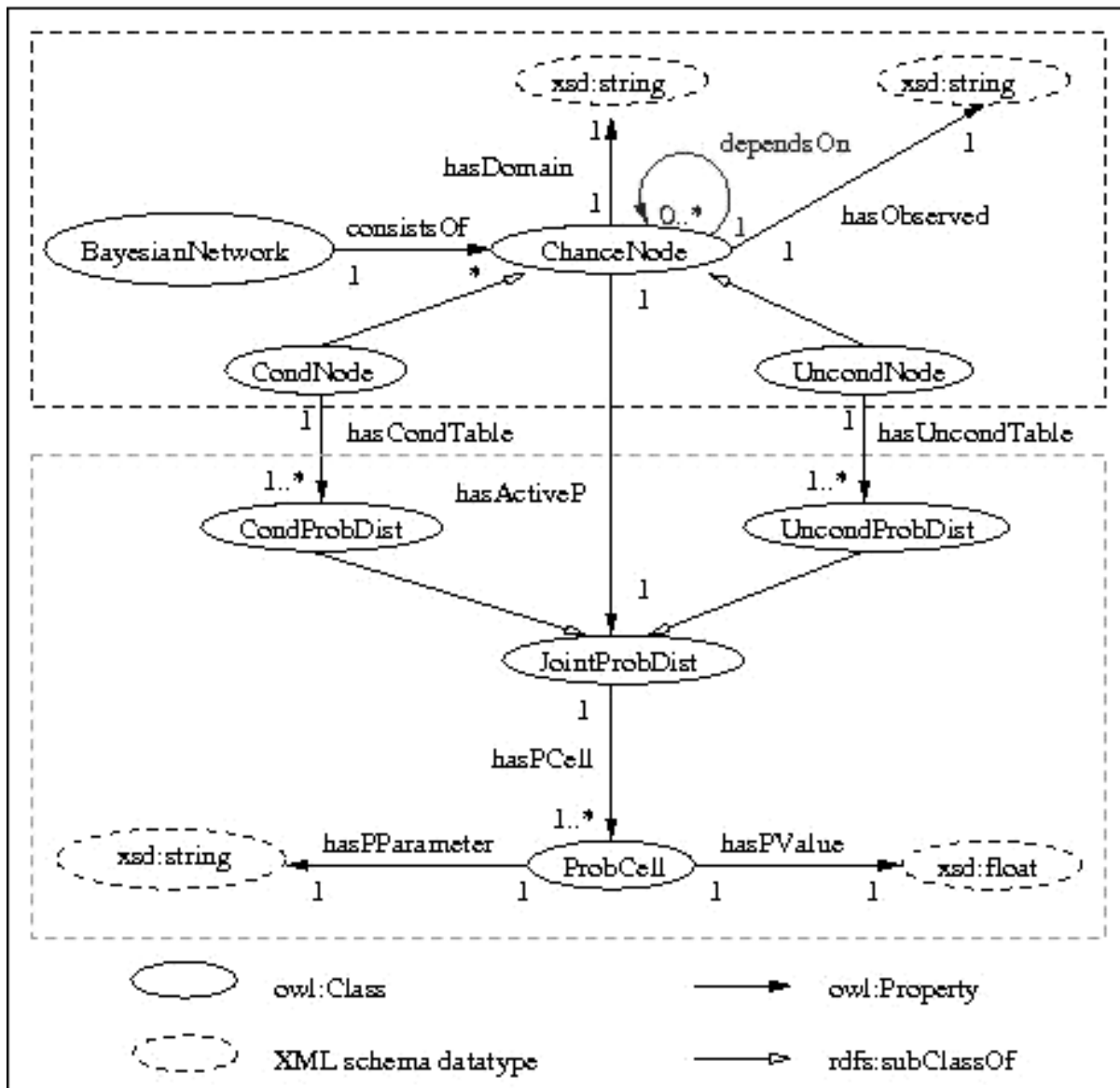


Abbildung 1: Die Upperontologie für Modellierung von Bayesschen Netzwerken.

Um jedoch die Entscheidungsfindung zu verwirklichen, sind zusätzliche Erweiterungen der Entscheidungsmodelle unbedingt erforderlich. Bei solchen Erweiterungen spielen Ontologien auch eine sehr wichtige Rolle. Basierend auf Ontologien, insbesondere auf Bayesschen Netzwerken, lassen sich unterschiedliche Entscheidungsmodelle mit individuellen Anwendungsontologien spezifizieren. Als Beispiele solcher Anwendungsontologien seien hier Influenz-Diagramme, Entscheidungsnetzwerke sowie Markov-Entscheidungsprozesse genannt. Jede Anwendungsontologie verfügt über eine Menge von Annotationen zur Definition von aufgabenspezifischen Konzepten. Hieraus können spezialisierte Entscheidungsmodelle gebildet werden. Diese werden von Systemen verwendet, um bestimmte Aufgaben mit unscharfem Wissen zu bewältigen. Diese Erweiterungen von OntoBayes bilden dann den Teil von Entscheidungsmodellen.

Die Entscheidungsmodelle enthalten alle vordefinierten Modelle für unterschiedliche Entscheidungsprobleme. In dieser Arbeit werden Einflussdiagramme verwendet, um Entscheidungsmodelle bilden zu können. Um Einflussdiagrammen in OWL integrieren zu können, haben wir eine Menge von Annotationen spezifiziert. Bei Einflussdiagrammen können ähnlich wie bei Bayesschen Netzwerken die Annotationen in einer Upperontology spezifiziert

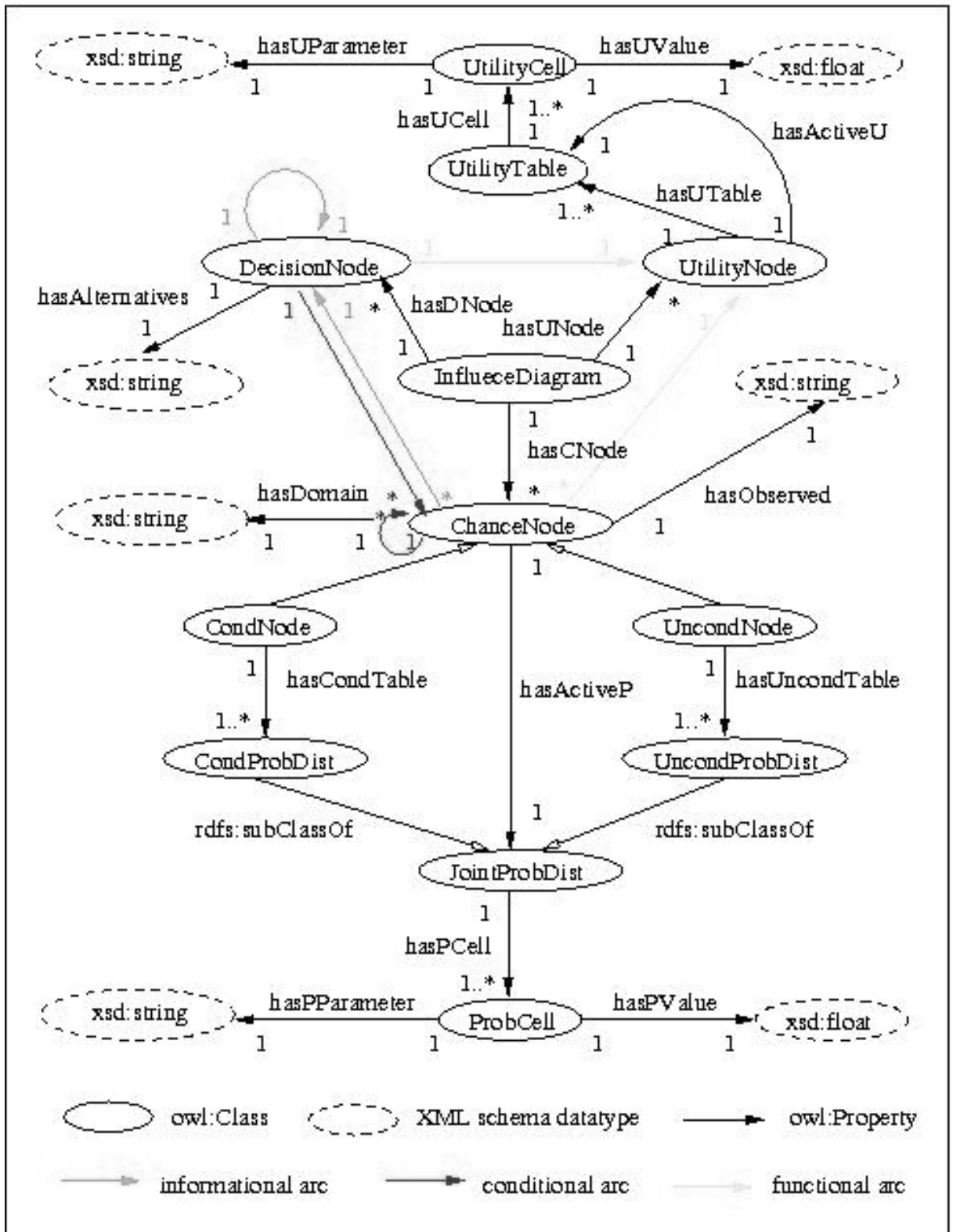


Abbildung 2: Die Upperontology für Modellierung von Einflussdiagrammen.

werden.

Abbildung 2 stellt die Upperontologie dar. Im Vergleich mit Abbildung 1 ist Abbildung 2 eine Erweiterung. Das ist logisch, da das Einflussdiagramm aus Bayessche Netzwerken gebildet wird. Die detaillierte Erläuterungen für die OWL Annotationen der Upperontologien sind in (Yang 2007) zu finden.

Für OntoBayes wurde eine Protégé Plugin *OWLOntoBayes* implementiert, mit dem die Benutzer die Wissensbasis und die Entscheidungsmodelle leichter verarbeiten können.

4. Virtuelle Wissensgemeinschaft

Die Virtuelle Wissensgemeinschaft (engl. Virtual Knowledge Community, VKC) bietet eine Plattform zum Wissensaustausch an und ermöglicht es, das Wissen der sich ständig ändernden Systeme rechtzeitig zu aktualisieren. Die Aktualisierung von Wissen führt zur Anpassung der Entscheidungsmodelle und Entscheidungsprozesse.

4.1 Basiskonzepte

Es gibt zwei grundlegende Modellierungen für VKCs (Hammond 2004):

- Modellierung des Agenten. Für diese Modellierung es gibt vier Schlüsselbegriffe: personelle Ontologie, Wissensinstanz, Wissensbündel und Mapper.
 - Eine persönliche Ontologie repräsentiert das persönliche Wissen eines Agenten. Sie beschreibt die Taxonomie von Relationen zwischen Konzepten und bestimmt was ein Agent versteht.
 - Wissensinstanzen sind die Instanzen von Konzepten, die in einer persönlichen Ontologie definiert sind.
 - Ein Wissensbündel ist ein untergeordneter Teil einer Ontologie und kann zwischen unterschiedlichen Agenten geteilt werden.
 - Ein Mapper enthält eine Menge Abbildungen von personellen Bezeichnungen zu abgebildeten Bezeichnungen. Er vereinfacht den Wissensaustausch zwischen Agenten im Hinblick auf die Heterogenität von Wissen.
- Modellierung der Gemeinschaft. Für diese Modellierung es gibt drei Schlüsselbegriffe: Domäne von Interesse, Paket der Gemeinschaft und Puffer der Gemeinschaft.
 - Die Domäne von Interesse beschreibt die Themenbereiche jeder VKC und vereinfacht für die Agenten das Suchen nach interessanten VKCs.
 - Das Paket der Gemeinschaft definiert eine VKC. Es enthält einen Wissensbündel und eine normalisierte Ontologie, die mindestens die Informationen über den Kopf des Wissensbündels und über die Leitern der Gemeinschaften hat.
 - Der Puffer der Gemeinschaft ist in der Lage, die ausgetauschten Nachrichten in einer VKC aufzuzeichnen. Er funktioniert wie eine Wandtafel, aber nur Mitglieder der VKC dürfen auf die Tafel Nachrichten zeichnen.

Alle VKC's werden durch eine „Gemeinschaft von Gemeinschaften“ gesteuert. Diese Gemeinschaft spielt eine zentrale Rolle, ähnliche einem Wörterbuch. Alle VKCs sind hier angemeldet und alle Agenten werden hier verwaltet. Damit ist es sehr einfach zu erfahren, wie viele VKCs in Betrieb sind und welche Agenten sich an welchen VKCs beteiligen.

4.2 VKCs und OntoBayes

Die vorgestellten VKC Basiskonzepte sind grundsätzlich auch für OntoBayes verwendbar. Jedoch ist die vorhergehende Implementierung nicht in der Lage, unscharfes Wissen zu behandeln, und kann insbesondere keine Bayessche Informationen sowie Entscheidungsmodelle (wie z.B. Einflussdiagramme) austauschen (Hammond 2004). Dies wird dadurch optimiert und erweitert, dass sich die bekannten Konzepte von VKCs für strukturelle und numerische Bayessche Informationen mit zusätzlichen Operationen ausbauen lassen. Auch die Informationen von Einflussdiagrammen können mit Hilfe der VKCs ausgetauscht werden. Damit VKCs richtig mit OntoBayes zusammenarbeiten können, müssen VKCs in OWL angepasst werden, da OWL die formelle Sprache zur Wissensrepräsentation von OntoBayes ist. Die Erweiterungen von VKCs sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Tabelle 1: Die Unterschiede der auszutauschenden Informationen in OntoBayes mit VKCs.

	Schichten des auszutauschenden Wissens	
	Wissensbündel	Wissensinstanz
Ontologisches Wissen	Ontologische Struktur: Konzepte, Relationen	Ontologische Instanzen: Instanzen von Konzepten
Bayessches Wissen	Bayessche Struktur: Bayessche Variablen und deren Abhängigkeit	Bayessche Instanzen: Instanzen von Bayesschen Variablen und Wahrscheinlichkeitstabellen
Entscheidungsmodelle von Einflussdiagrammen	Struktur von IDs: Chanceknoten, Entscheidungsknoten und Nutzenknoten, die Relationen zwischen den Knoten	Instanzen von IDs: Instanzen von allen Knoten, die Wahrscheinlichkeitstabelle und Nutzentabelle

5. Eine Architektur für die Implementierung

Für die Implementierung eines Entscheidungsunterstützungssystems aufgrund des vorgestellten Rahmenwerks ist eine Architektur in Abbildung 3 dargestellt. Das vordere Ende (engl. front-end) des Systems ist die Anwendungsschnittstelle, über die die Benutzer das System bedienen und steuern können, z.B. in Form von einer graphischen Benutzeroberfläche. Das hintere Ende (engl. back-end) des Systems besteht aus vielen Komponenten:

- Entscheidungsmanagement ist zuständig für alle Aktivitäten, die direkt für die Entscheidung relevant sind, wie z.B. Entscheidungsprozesse usw.
- Wissensmanagement ist zuständig für die Verwaltung von Wissensproduktion, Wissensübertragung und Wissenskodifizierung. Eine Indexmaschine und eine Querymaschine werden gebraucht, um Wissen von verschiedenen Dateien in verschiedenen Lagern zu identifizieren und auszuliefern. Für Wissenskodifizierung kann das Werkzeug *OWL OntoBayes* verwendet werden. Die Wissensübertragung auf Basis der VKCs ist implementiert.

- Reasonermanagement ist zuständig für alle Algorithmen, die für die Ableitung von Bayesschen Netzwerken und die Evaluierung von Einflussdiagrammen wichtig sind.
- Benutzermanagement verwaltet alle Benutzer des Systems und überprüft die Authentifizierung und Autorisierung.
- Agentenmanagement verwaltet alle Agenten des Systems, z.B. Erstellen von Agenten, Beenden von Agenten usw.
- Lagermanagement verwaltet alle Lager, in denen alle Informationen tatsächlich gespeichert sind, wie z.B. in Form von Dateien. Die Lager können an verschiedenen Orten verteilt sein. Der Zugriff auf Lager muss autorisiert werden. Das System darf beliebig viele Lager haben, verfügt aber zumindest über zwei Lager: ein Lager für Web Services und ein Lager für OntoBayes.
- VKCs sind zuständig für die Wissensübertragung und den Wissensaustausch zwischen Agenten.

Um das vordere und hintere Ende des Systems zu verbinden, wird ein Web Service Gateway entworfen. Die Anwendungsschnittstellen können direkt über Web Services mit dem Gateway verbunden werden, um die gewünschten Services anzufordern. Die Services werden von verschiedenen Komponenten angeboten, die durch einen Service-Bus mit dem Gateway in Verbindung gesetzt werden können. Servicewünsche von verschiedenen Anwendungen werden vom System analysiert und an die entsprechenden Systemkomponenten weitergeleitet. Dort werden verschiedene Services zusammengesetzt und zurückgeliefert, um gewünschten Anwendungen zu erfüllen.

Die Architektur ist Service-orientiert. Sie ermöglicht einen flexiblen Arbeitsablauf der Systeme. Jeder Arbeitsablauf und Prozess besteht aus vielen kleinen Web-Services, die von unterschiedlichen Systemkomponenten angeboten werden. Mit der Änderung der Systemumgebung werden neue Prozesse oder Arbeitsabläufe nach Bedarf durch Selektion und Zusammen setzen von neuen Web-Diensten rekonstruiert. Damit lassen sie sich zur Entscheidungsfindung mit der Änderung adaptieren.

6. Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Arbeit wurde ein Rahmenwerk für ein Entscheidungsunterstützungssystem vorgestellt, welches auf dem unscharfen Modell, OntoBayes, und VKCs basiert. Das OntoBayes Modell integriert Bayessche Netzwerke und Einflussdiagramme in Ontologien, um die Vorteile von allen Methoden zu nutzen. Als die grundlegende Sprache zur Wissensrepräsentation in OntoBayes wurde OWL ausgewählt. OWL wurde um Annotationen erweitert, um die Semantik von Bayesschen Netzwerken und Einflussdiagrammen anzupassen. Für den Wissensaustausch wurden VKCs verwendet, da VKCs nicht automatisch mit OWL verträglich sind, wurden sie erweitert. Für die Implementierung eines Entscheidungsunterstützungssystems wurde eine Serviceorientierte Architektur vorgestellt. Durch die Implementierung des Rahmenwerks wurden alle vorgestellten Herausforderungen gelöst.

Die zukünftige Arbeit sollte sich auf die Implementierung konzentrieren. Das Testen und die Evaluierung der Implementierung sind anschließend notwendig, um die Leistung des Systems überprüfen zu können.

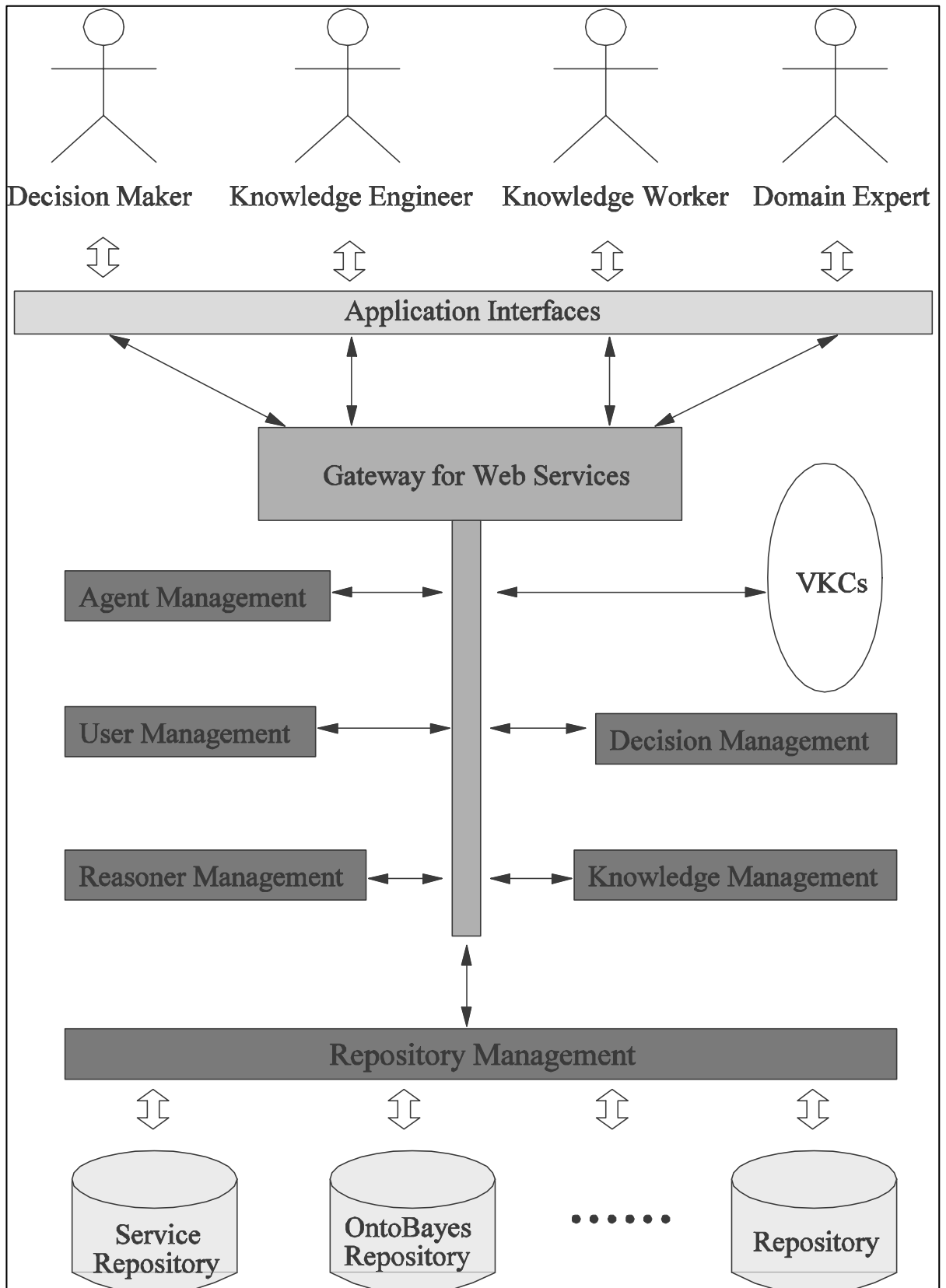


Abbildung 3: Eine Architektur für die Implementierung eines Entscheidungsunterstützungssystems.

Literaturverzeichnis

- Berners-Lee, T., Hendler, J., Lassila, O. (2001) The Semantic Web. - Scientific American 284:34-43.
- Daemi, A. (2006) Entropiebasierte Bewertung von Ontologien. - Doktorarbeit, Universität Karlsruhe, Deutschland.
- Hammond, M. (2004) Virtual Knowledge Communities for Distributed Knowledge Management: A Multi-Agent-Based Approach using JADE. - Diplomarbeit, Universität Karlsruhe, Deutschland.
- Howard, R. A., Matheson, J. E. (2005) Influence Diagrams. - Decision Analysis 2:127-143.
- Jensen, Finn V. (1996) An introduction to Bayesian networks. - UCL Press.
- Studer R., V. Benjamins R., Fensel D. (1998) Knowledge Engineering: Principles and Methods. - Data & Knowledge Engineering 25:161-197
- W3C Recommendation (2004) OWL Web Ontology Language Guide. <http://www.w3.org/TR/owl-guide>.
- Yang Y. (2007) A Framework for Decision Support Systems Adapted to Uncertain Knowledge. - Doktorarbeit, Universität Karlsruhe, Deutschland.

2. Externe Beiträge

Im Spannungsfeld zwischen Wissenschaft und Praxis - Das Deutsche Komitee Katastrophenvorsorge (DKKV)

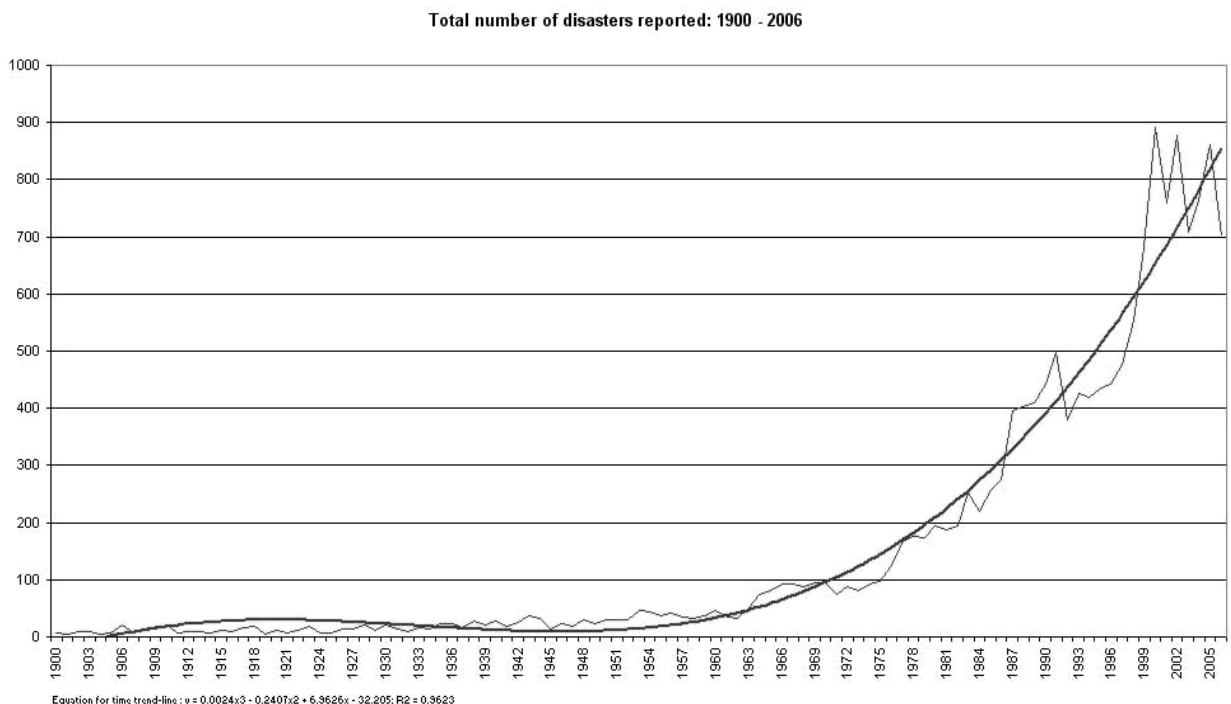
Irmgard Schwaetzer

Deutsches Komitee Katastrophenvorsorge e.V., Friedrich-Ebert-Allee 40, 53113 Bonn, Deutschland, E-Mail: katastrophenvorsorge@dkkv.org, Internet: <http://www.dkkv.org>, Telefon: +49(0)228/44601827

1. Einführung

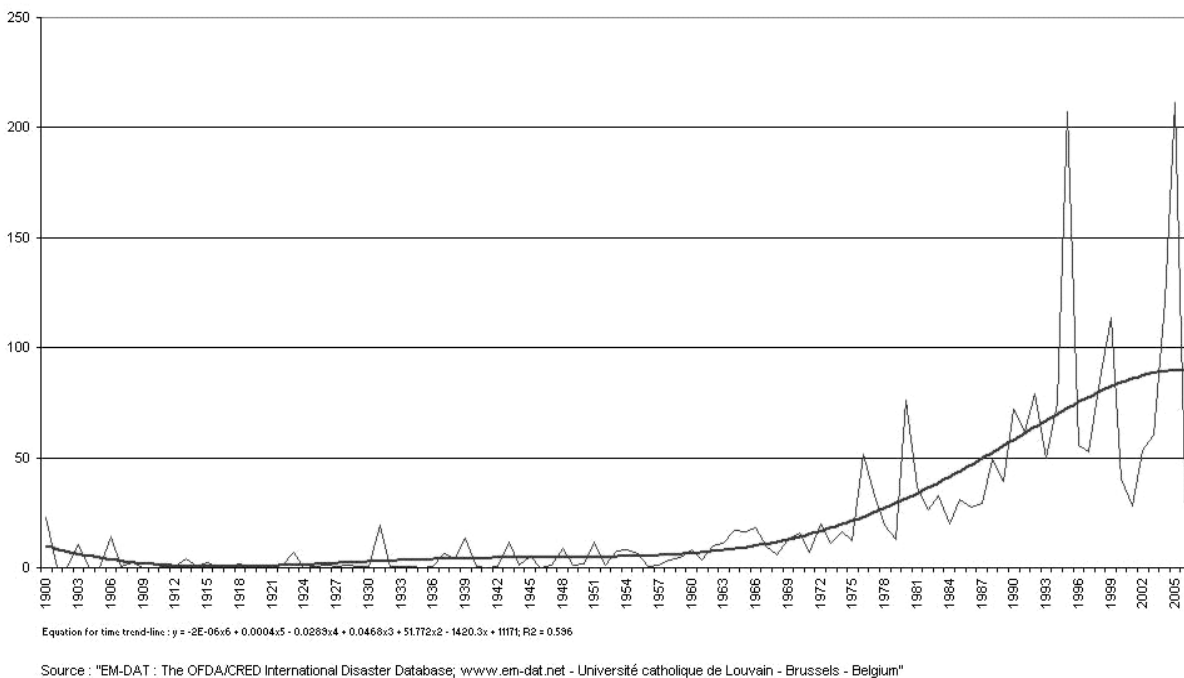
Naturkatastrophen und die durch sie verursachten Schäden haben in den vergangenen Jahrzehnten weltweit zugenommen. Ursachen dafür sind zum einen in der Zunahme extremer meteorologischer Naturereignisse zu sehen aber auch in der zunehmenden Vulnerabilität der menschlichen Gesellschaft. In Entwicklungsländern führt die Übernutzung der Böden, erzwungen durch Bevölkerungsdruck und Armut, zur Vernichtung der Lebensgrundlage der Menschen. Das Abholzen von Wäldern zur Steigerung der landwirtschaftlichen Anbaufläche und die Übernutzung der Böden führen zu Erosion. Die Zerstörung ihrer Lebensgrundlage zwingt Menschen zur Migration und unregelmäßigen Ansiedlung in Städten oder Risikogebieten. Das ungeplante Wachstum von Städten führt zu einer weiteren Steigerung des Risikos. In Industrieländern sind Menschen heute in ganz anderem Maße als früher von Infrastrukturen abhängig, die auf komplexen Versorgungssystemen (life lines) basieren und anfällig sind für extreme Naturereignisse.

Die hier eingefügten Graphiken des Zentrums CRED der Universität von Louvain in Belgien, zeigen die Entwicklung der Zunahme der Katastrophenereignisse und der durch sie verursachten Schäden für den Zeitraum von 1900 bis 2006.



Source: "EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database; www.em-dat.net - Université catholique de Louvain - Brussels - Belgium"

Total reported damages (in 2006 US\$ billions) from disasters: 1900 - 2006



Am stärksten in ihrer Entwicklung werden Entwicklungsländer von Naturkatastrophen betroffen. Über 90% der Todesfälle sind in Entwicklungsländern zu beklagen. Die materiellen Schäden in Entwicklungsländern fallen absolut gesehen weit niedriger aus als in den Industrienationen, diese Schäden stellen jedoch einen höheren Anteil des BSP dar und haben damit negativere Auswirkungen auf die Wirtschaft. Mittel, die für die wirtschaftliche und soziale Entwicklung der Länder vorgesehen waren, müssen für den Wiederaufbau verwendet werden und gehen somit Entwicklungsprojekten verloren.

Die Zahl der Betroffenen nimmt drastisch zu. Als Auslöser von Migration und Ursache für Verarmung müssen Naturkatastrophen auch unter dem Aspekt ihres Krisen- und Konfliktpotenzials gesehen werden.

Hochrechnungen gehen von jährlich 100.000 Toten und 300 Mrd. US\$ Schäden durch Naturkatastrophen ab dem Jahr 2050 aus, falls die derzeitige Entwicklung anhält. (Quelle: SEI, I-UCN Coping with Climate Change, August 2001)

Die steigenden Schäden werden sowohl eine Zunahme der Anforderungen an die humanitäre Hilfe zur Folge haben und die knappen Ressourcen in absehbarer Zeit über Gebühr belasten, als auch die Zielsetzung einer nachhaltigen Entwicklung gefährden. Die verschiedenen Szenarien machen deutlich, dass wir uns ohne effektive Maßnahmen der Katastrophenvorsorge auf einer Spirale zunehmender Schäden befinden. Unter ethischen aber auch unter rein pragmatischen Kosten/Nutzen-Aspekten (Modellrechnungen bei verschiedenen Frühwarnsystemen kommen zu Kosten/Nutzen-Verhältnissen zwischen 1:8 bis 1:30) gibt es keine Alternative zur Katastrophenvorsorge zur Sicherung einer nachhaltigen Entwicklung. Auf dem World Summit for Sustainable Development 2002 in Johannesburg wurde Katastrophenvorsorge als eine Voraussetzung zur Sicherung einer nachhaltigen Entwicklung durch die Delegierten in die gemeinsam verabschiedeten Papiere aufgenommen. Im Januar 2005, wenige Wochen nach dem Tsunami Ereignis im indischen Ozean, wurde auf der World Conference for Disaster Reduction der Vereinten Nationen in Kobe, Japan Katastrophenvorsorge als unerlässlich zur Erreichung der Millennium Development Goals in den Abschlussdokumenten verankert.

Auf der internationalen Ebene war durch die Vereinten Nationen die Bedeutung der Katastrophenvorsorge durch die International Decade for Natural Disaster Reduction (IDNDR, 1990 – 1999) hervorgehoben worden. Nach Ende der Dekade wurden die Strukturen und Aktivitäten in die International Strategy for Disaster Reduction (ISDR) überführt.

2. Was ist Katastrophenvorsorge?

Katastrophenvorsorge umfasst alle Maßnahmen, die vor dem Eintreten einer Katastrophe mit dem Ziel der Verringerung des Katastrophenrisikos und der Abschwächung von Katastrophenfolgen, eingeleitet werden. Ist die Katastrophe bereits ausgelöst, geht die Katastrophenvorsorge in die Katastrophenbewältigung (Humanitäre Sofort-, Not- und Wiederaufbauhilfe) über. In der Humanitären Sofort-, Rehabilitations- und langfristigen Wiederaufbauhilfe sollten dann wiederum Maßnahmen der Katastrophenvorsorge implementiert werden, um eine Wiederholung der Ereignisse möglichst zu vermeiden.

Die Definition zeigt sowohl den zeitlich, als auch den fachlich – inhaltlich umfassenden Ansatz der abgedeckt werden muss, um die Vulnerabilität der Gesellschaft zu verringern und ihre Widerstandsfähigkeit (Resilience) zu stärken. Nur eine fach- und Institutionen übergreifende Herangehensweise kann alle verschiedenen Aspekte des Risikos erfassen. Katastrophenvorsorge ist ein Querschnittsthema.

Aktionsfelder der Katastrophenvorsorge decken sowohl den technischen als auch den nicht-technischen Bereich ab. Sie umfassen die Risikoanalyse, Aufklärung der Bevölkerung, die Planung und Implementierung katastrophenresistenter Bauwerke, soziale Sicherungssysteme, die Vorbereitung auf den Katastrophenfall, Nachhaltiges Umwelt- und Ressourcenmanagement und die Schaffung geeigneter politischer und institutioneller Rahmenbedingungen.

Akteure aus allen gesellschaftlichen Gruppen müssen einbezogen werden, von Politik, über Wirtschaft, Medien, Zivilgesellschaft, Wissenschaft und Praxis. Diese Akteure müssen auf verschiedenen Ebenen lokal – national- regional- international zusammen arbeiten.

Effektive Katastrophenvorsorge braucht interdisziplinäre Zusammenarbeit verschiedener wissenschaftlicher Disziplinen von Sozial- und Naturwissenschaften. Dies ist aber nur eine Komponente. Enge Kooperation von Wissenschaft und Praxis ist zwingend notwendig, um neueste Erkenntnisse zielgerichtet um zu setzen. Maßnahmen der Katastrophenvorsorge – wie z.B. Anpassungsmaßnahmen an Extremereignisse durch den Klimawandel – müssen immer lokal umgesetzt werden. Die notwendigen Informationen mit welchen Ereignissen wo gerechnet werden muss, kann nur die Wissenschaft liefern. Das Risiko ist ständigen Veränderungen unterworfen. Zukunftsgerichtete Modelle zur Risikoentwicklung sind unerlässliche Voraussetzung, um Systeme zu installieren, die über einen längeren Zeitraum sinnvoll genutzt werden können.

Intensiver Informationsaustausch zwischen den verschiedenen Akteuren ist die Grundvoraussetzung, um Möglichkeiten für einen Transfer zu schaffen. Unterschiedliche Terminologien werden verwendet. Gegenseitiges Verständnis muss hergestellt werden. Unterschiedliche Zeitabläufe und Geschwindigkeiten müssen an entscheidenden Punkten zusammen geführt werden.

3. Das DKKV

Dieses Spannungsfeld der notwendigen Interaktion der verschiedenen Akteure im Kontext der Katastrophenvorsorge zu gestalten und zu organisieren, ist ein besonders wichtiges Aufgabengebiet, dem sich das DKKV gestellt hat.

Das DKKV fordert die Umsetzung der vorhandenen Erkenntnisse zur Katastrophenvorsorge in Politik, Wirtschaft und Verwaltung, die Weiterentwicklung einer fach- und länderübergreifenden Kooperation in der operativen Katastrophenvorsorge und die Entwicklung medialer Strategien zur Förderung und Stärkung des Vorsorgebewusstseins in der Gesellschaft.

Es unterstützt in seiner Arbeit fachübergreifende Forschungsansätze zur Katastrophenvorsorge, die Entwicklung von Instrumenten zur Katastrophenvorsorge und deren Verankerung in anderen Fachsektoren und Politikbereichen und die Verbreitung der Erkenntnisse der Katastrophenvorsorge auf allen Ebenen des Bildungsbereichs.

Das DKKV nimmt dabei die wichtige Rolle eines Mittlers zu internationalen, auf dem Gebiet der Katastrophenvorsorge tätigen Organisationen und Initiativen wahr. Es ist das fachliche Kompetenzzentrum für alle Fragen der nationalen und internationalen Katastrophenvorsorge.

Das Deutsche Komitee Katastrophenvorsorge sieht sich in der Verantwortung, die Katastrophenvorsorge im Bewusstsein und Handeln von Politik, Wirtschaft und Verwaltung zu verankern. Ziel ist die Gesellschaft zu befähigen, sich mit dem Katastrophenrisiko auseinander zu setzen und menschliche, soziale, ökonomische und ökologische Verluste abzuwenden.

Das Deutsche Komitee Katastrophenvorsorge (DKKV) ist im internationalen Verbund der ISDR die Nationale Plattform für Katastrophenvorsorge in Deutschland. Es hat die rechtliche Struktur eines eingetragenen gemeinnützigen Vereins. Seine Mitglieder sind wissenschaftliche Einrichtungen wie z.B. eine Anzahl von Universitäten und Großforschungseinrichtungen, Organisationen der internationalen Entwicklungszusammenarbeit und humanitären Hilfe; Katastrophenschutzstrukturen, Privatwirtschaft, Medien, Behörden. Neben seiner Mitgliederversammlung und dem Vorstand hat das DKKV einen wissenschaftlichen und einen operativen Beirat, die als Fachgremien tätig sind und notwendige Expertise zu Fragen der Katastrophenvorsorge für die Arbeit des DKKV bereithalten. Durch diese Strukturen unterstützen zur Zeit 74 Organisationen, Institutionen und Personen die Arbeit des DKKV. Vertreter von Ministerien nehmen als Gäste an den Sitzungen des DKKV teil.

Diese plurale Struktur des DKKV ist Voraussetzung für eine disziplinen- und interessenübergreifende Auseinandersetzung mit dem Querschnittsthema Katastrophenvorsorge.

Die komparativen Vorteile des DKKV liegen in der Verknüpfung aller verschiedenen für die Katastrophenvorsorge relevanten Bereiche und Ebenen

- Nationale mit internationalen Aspekten und Initiativen
- Zivilgesellschaftliche und staatliche Strukturen
- Praxis und Wissenschaft.

Das DKKV schafft durch seine Veranstaltungen und Projekte immer wieder den notwendigen Rahmen für einen fachübergreifenden, Praxis und Wissenschaft zusammenführenden Austausch. Eine wichtige Rolle des Netzwerkes besteht in der Sammlung und dem Austausch von Informationen. Möglichst frühzeitig müssen z.B. politische Prozesse kommuniziert werden, um sich bietende Möglichkeiten Katastrophenvorsorge auf politischen und institutionellen Entscheidungsebenen zu verankern, nutzen zu können.

Zielsetzung bei dem angestrebten Austausch zwischen Wissenschaft und Praxis ist es, dass dieser Austausch in beide Richtungen statt findet. So haben Mitglieder des DKKV aus den Wissenschaften explizit eine „Beratung der Wissenschaft aus der Praxis“ eingefordert.

Der Austausch zwischen dieser Vielzahl von Akteuren stellt eine Herausforderung dar. Die Prozesse und Gruppen sind dynamisch. Neue Akteure kommen hinzu. Aufgabenfelder und Themen entwickeln und wandeln sich. Dieser Austausch muss beständig gepflegt werden. Es handelt sich um einen fortlaufenden Prozess, der niemals abgeschlossen werden darf.

Das DKKV als Netzwerk der Katastrophenvorsorge und „Informationsknoten“ befindet sich an einer wichtigen Stelle im Zentrum dieser Dynamiken. Unerlässliche Voraussetzung für seine Akzeptanz ist eine aktuelle und vorausschauende Strategiegestaltung und hohe Qualität der vermittelten Informationen und durchgeführten Projekte.

Naturkatastrophen machen nicht an Grenzen halt. Diese Aussage ist in mehrfachem Sinne zutreffend. Politische Grenzen werden durch Naturkatastrophen überschritten. Aber auch Grenzen zwischen verschiedenen Disziplinen, gesellschaftlichen Gruppen und Wissenschaft und Praxis werden überschritten. Effektive Katastrophenvorsorge benötigt eine „prozessorientierte“ Herangehensweise, die am Risiko ausgerichtet ist.

Netzwerke wie das DKKV sind unerlässliche Instrumente, um im Spannungsfeld der verschiedenen Disziplinen aber auch zwischen Wissenschaft – Praxis – Politik – Zivilgesellschaft den nötigen Austausch her zu stellen.

Kultur und Humanitäre Hilfe

Thorsten Hinz

Caritas Germany/DCV, Asia Desk/Referat Asien, Karlstraße 40, 79104 Freiburg, Deutschland, E-Mail: thors-ten.hinz@caritas.de, Telefon: +49(0)761/200618

Vorbemerkung

Der Tenor, in dem dieser kleine Aufsatz ausschnitthaft den Zusammenhang von Kultur und humanitärer Hilfe zu illustrieren versucht, zeigt dass hier ein Betroffener schreibt, der selbst im Feld der humanitären Hilfe arbeitet. Die Zeilen mögen sich entsprechend parteilich lesen, sind aber vor allem Grenzüberschreitungen im Sinne der „teilnehmenden Beobachtung“, um einerseits der humanitären Hilfe einen Spiegel vorzuhalten und um andererseits der Wissenschaft eine Annäherung an extreme Kulturbegegnungen zu ermöglichen, wie sie sich einzigartig im Feld der humanitären Not- und Katastrophenhilfe zeigen. Menschen in Not sind bedürftig in mehrfacher Hinsicht und brauchen eine hohe Aufmerksamkeit. Sie brauchen Helferinnen und Helfer, die ein Grundwissen gegenüber der Kultur und Lebenswelt der Notleidenden haben. Nur durch dieses Grundverständnis kann verhindert werden, dass die Würde von Notleidenden nicht verletzt wird und dass es im Rahmen von humanitärer Hilfe zu einer Kulturbegegnung kommt, in der die Hilfe willkommen ist und tatsächlich hilft.

1. Herausforderungen der Humanitären Hilfe¹

Seit dem Ende des Zweiten Weltkrieges haben die Vereinten Nationen weltweit über 200 Gewaltkonflikte registriert – und ein Ende ist mitnichten absehbar. Konflikte werden mit Waffengewalt ausgetragen, Menschen werden vertrieben oder umgebracht. Ein Leben in Frieden und Sicherheit, das in den westlichen Industrieländern fast selbstverständlich geworden ist, kennen die Menschen in vielen Teilen Afrikas, Asiens und Lateinamerika nicht.

Auch wenn in Europa und den USA die Folgen von Überschwemmungen, Erdbeben oder Vulkanausbrüchen bekannt sind, so sind es doch die Katastrophen in den armen Ländern des Südens, welche zu unbeschreiblicher humanitärer Not führen. Nicht nur durch dramatische Ereignisse wie den Zyklon von 1970 in Bangladesh, bei dem 500.000 Menschen starben oder das Seebeben von Südostasien an Weihnachten 2004 mit 250.000 Toten, sondern vor allem durch «schleichende oder chronische» Katastrophen sterben jährlich Millionen Menschen oder müssen fliehen. Dürren, Überschwemmungen, Erdbeben, Vulkanausbrüche, Taifune, Hurrikane, Insektenplagen etc. – die Liste der Ursachen für die so genannten Naturkatastro-

¹ Einige nachfolgende Ausführungen im ersten Abschnitt sind der folgenden neuesten Publikation von *Caritas international* entnommen: Barmherzigkeit braucht Qualität. Möglichkeiten und Grenzen der humanitären Hilfe. Redaktion Achim Reinke. In der Reihe „caritas international – brennpunkte“ erschienen. (Freiburg 2006)

Caritas international ist das Hilfswerk der deutschen Caritas und zählt in Deutschland zu den größten humanitären Hilfsorganisationen, die weltweit Not- und Katastrophenhilfe leisten. Als *Caritas Germany* gehört die deutsche Caritas dem internationalen Netzwerk von *Caritas Internationalis* an, unter dessen Dach in Rom sich derzeit 162 nationale Caritasverbände befinden. Im Falle einer Großkatastrophe ruft *Caritas Internationalis* über „Special Operation Appeals“ zu gemeinsamen Aktionen des Netzwerks auf und koordiniert die gemeinsamen Hilfsanstrengungen. In von Katastrophen betroffenen Ländern, in denen es eine nationale operative Caritas gibt, ist diese der erste originäre Ansprechpartner für das Netzwerk.

phen ist lang und korreliert oft genug mit von Menschen verursachten Bedingungen. Bei dem großen Erdbeben in Pakistan im Jahr 2005 starben auch deshalb sehr viele Menschen weil die Bauqualität der Häuser eklatante Mängel auswies. Beim Seebeben in Südostasien war es auch der Raubbau an den Küstenwäldern, der zu den hohen Opferzahlen geführt hat. Im Sahel ist es oft der Teufelskreis einer exzessiven Landwirtschaft, die die Böden verdorren lässt und die Menschen zu Flucht und Migration zwingt.

Die humanitäre Hilfe ist eine Reaktion auf diese Krisen und Katastrophen. Sie versucht, Menschen in existentiellen Bedrohungslagen zu retten, hilft ihnen beim Wiederaufbau und versucht, den Notleidenden neue Perspektiven zu geben. Humanitäre Organisationen und Hilfswerke arbeiten vor Ort mit vereinten Kräften, um die schlimmste Not abzuwenden. „Der Begriff der humanitären Hilfe bezeichnet [...] Unterstützungsmaßnahmen, die freiwillig und uneigennützig von Institutionen geleistet werden und eine Existenz bedrohende Not bekämpfen, der die betroffene Gesellschaft oder der betroffene Staat selbst nicht genügend wirksam begegnen kann und oft genug auch nicht will.“²

Allerdings ist die humanitäre Hilfe nur eine Ebene innerhalb einer Krise oder Katastrophe. Von den Akteuren der humanitären Hilfe kann nicht verlangt werden, was die Politik nicht zustande gebracht – manchmal auch selbst verursacht hat. Die Not- und Überlebenshilfe während oder nach eines Krieges oder einer Katastrophe ist das eine, die Bewältigung der langfristigen Krisenfolgen das andere. Kriege und Katastrophen können ein Land um Jahrzehnte in der Entwicklung und Gestaltung zurückwerfen. Humanitäre Hilfe überzeugt daher nur, wenn in allen relevanten politischen Gremien Anstrengungen unternommen werden, um die Ursachen der Krisen zu beseitigen und um Armut, Ausbeutung und Umweltzerstörung von Grund auf zu bekämpfen. Nichtsdestotrotz ist die humanitäre Hilfe – ungeachtet ihrer Unparteilichkeit und humanitären Grundsätzen – immer auch Teil der politischen Sphäre, wird sie politisch durch ihre bloße Präsenz und Aktivitäten.

Das Umfeld der humanitären Hilfe ist in den letzten Jahren immer schwieriger und komplexer geworden.³ Neben der eigentlichen Hilfsleistung, die bereits für sich genommen hohe Ansprüche setzt, sind neue zahlreichen Herausforderungen und Spannungsfelder aufgetaucht. Humanitäre Organisationen unterliegen heute mehr denn je den Risiken der Instrumentalisierung seitens der Politik und der Medien. Sie laufen Gefahr, schädliche Nebeneffekte wie beispielsweise Abhängigkeit und Unmündigkeit zu erzeugen. Immer häufiger sehen sie sich im Feld mit Militärs konfrontiert, die zur Gewinnung der „hearts and minds“ selbst humanitäre Absichten verfolgen. Schließlich wird das Lager des Humanitarismus immer unübersichtlicher und droht immer häufiger ein Geschäft und ein Kampf um Spenden- und Fördermittel zu werden. Spender und Geldgeber müssen immer anspruchsvoller überzeugt werden, was auch neue Weichenstellungen im Bereich Qualitätsmanagement, Erfolgskontrolle und Verwaltung nach sich zieht.

2. Kultur und Humanitäre Hilfe

Im Nachfolgenden geht es um eine neue Herausforderung für die humanitäre Hilfe, die weniger Belastung als Chance bedeutet und die bislang nur ein Randthema in der Sphäre der humanitären Hilfe war. Es ist die Frage nach und um die Rolle der Kultur innerhalb der humanitären Hilfe.

² Daselbst, S. 15.

³ Hierzu: De Waal, A.: *Famine Crimes. Politics and the Disaster Relief Industry in Africa*. Bloomington 1997. Anderson, M.: *Do no Harm. How Aid can support Peace (or War)*. Boulder 1999. Lindenberg, M., Bryant, C.: *Going Global. Transforming Relief and Development NGOs*. Bloomfield 2001.

tären Hilfe. *Cultura* (lat. „Bebauung“) wird hierbei als die Gesamtheit der typischen Lebensformen einer sich als gemeinsam definierten Gesellschaft verstanden, einschließlich Werte und Religion. Die Randständigkeit bzw. die bislang geringe Beachtung von Themen, in denen Kultur und humanitäre Hilfe korrelieren, überrascht, da es im Falle von humanitären Einsätzen sehr plötzlich, sehr radikal und sehr unmittelbar zu Begegnungen zwischen unterschiedlichen Kulturen kommen kann.⁴ Diese Begegnungen sind zuallererst geprägt von einer akuten Notsituation, in der Menschen Hilfe bedürfen und diese von anderen Menschen – oft genug humanitären Nothelfer, die aus einer anderen Kultur kommen – empfangen.

Im Nachfolgenden interessieren die Fragen, wie diese Begegnungen aussehen, welche Barrieren sich dabei ergeben und wie diese überwunden werden können.

Die Arbeit in fremden Kontexten erfordert eine hohe interkulturelle Kompetenz, die vielfach als selbstverständlich vorausgesetzt und doch in der unmittelbaren Krisen- und Katastrophensituation auf Kosten der Ersthilfe verdrängt wird. Neuere Untersuchungen innerhalb der ethnologischen Katastrophenforschung zeigen jedoch, dass eine aufmerksamere Wahrnehmung der je verschiedenen und relevanten Kultur-Settings zu einer Vereinfachung und Verbesserung der Hilfsaktivitäten führen kann.⁵ Beispielweise wurde bei der Gründung der ersten Flüchtlingslager in Pakistan nach dem Einmarsch der Sowjetunion in Afghanistan oft der Fehler gemacht nicht die ethnische Zusammensetzung der Lagerbewohner zu achten – was zu zahlreichen Konflikten zwischen den dort untergebrachten ethnischen Gruppen der Paschtunen, Tadschiken und Hazara führte. Bei späteren Lagergründungen wurde der ethnischen Vielfalt der afghanischen Flüchtlinge besser Rechnung getragen und reduzierte deutlich die Konfliktrate.

Die humanitäre Hilfe von heute, die im Wesentlichen mit dem Engagement von Florence Nightingale und Henri Dunant im 19. Jahrhundert ihren Anfang nahm, beruft sich in ihren Grundsätzen auf mehrere zentrale Dokumente, in denen die Neutralität und der Anspruch, die Hilfsleistung für alle Notleidenden unabhängig von deren Geschlecht, Religion, Herkunft und politischer Zugehörigkeit zu geben, festgeschrieben sind.⁶ Im Zuge des Biafra-Krieges (1967 – 1969) hat das Lager des Humanitarismus eine erste große Krise erfahren, bei der es um die Frage ging, wie eng oder weit der Neutralitätsgedanke zu verstehen ist. Während damals die „Traditionalisten“ im Umfeld des *Internationalen Komitees des Roten Kreuzes* auf Diskretion und Neutralität pochten, plädierten dagegen die „Modernisten“ um die damals gegründete Organisation *Médicins sans Frontières (Ärzte ohne Grenzen)* für eine Einbeziehung und Einflussnahme auf alle damaligen Akteure inkl. Medien. Eine neue große Zerreißprobe findet

⁴ Das Thema Kultur im Zusammenhang von humanitärer Hilfe wird in folgenden Publikationen thematisiert. Eine Auswahl: Debiel, Tobias, Nuscheler, Franz (Hg.): *Der neue Interventionismus. Humanitäre Einmischung zwischen Anspruch und Wirklichkeit*. Bonn 1996. Des Forges, Alison: *Kein Zeuge darf überleben. Der Genozid in Ruanda*. Hamburg 2002. Saikal, A.: *The Role of Outside Actors in the Afghanistan Conflict*, in: Schetter, C., Noelle-Karimi, C., Schlagintweit, R.: *Afghanistan – A Country without a State?* Frankfurt/ London 2002.

⁵ Hoffman, Susanna, Oliver-Smith, Anthony (Hg.): *The Angry Earth. Disasters in Anthropological Perspective*. New York 1999. Dies.: *Catastrophe and Culture. The Anthropology of Disaster*. Santa Fe 2002. Schlehe, Judith: *Nach dem Erdbeben auf Java. Kulturelle Polarisierungen, soziale Solidarität und Abgrenzung*, in: *Internationales Asienforum*. Freiburg 37. Jahrgang. November 2006. Casimir, Michael (Hg.): *Culture and the Changing Environment. Uncertainty, Cognition and Risk Management in Cross-Cultural Perspective*. Oxford/ New York 2007 (angekündigt).

⁶ United Nations: *Charter of the United Nations*. New York 1945. United Nations: *Declaration of Human Rights*. New York 1948. United Nations: *International Humanitarian Law*. New York 1977 (Korpus von Sonderregeln, umfasst vor allem vier Genfer Konventionen von 1949 u. zwei Zusatzprotokolle von 1977). International Red Cross and Red Crescent Movement and Non-Governmental Organisations in Disaster Relief: *The Code of Conduct*. Genf 1994. Sphere Project: *The Sphere Project – Humanitarian Charter and Minimum Standards in Disaster Response*. Genf 2004.

heute um die Frage der zivil-militärischen Zusammenarbeit statt – zwischen Verfechtern, die, um das humanitäre Mandat zu verteidigen, jegliche Kooperation mit militärischen Akteuren (auch unter UN-Auftrag stehenden Soldaten) ablehnen und Verfechtern, die im Sinne von Friedenssicherung für Kooperationen mit Militärkräften plädieren.

Oft genug sind es Probleme kultureller Art, die eng mit den politischen Fragestellungen um die Grundprinzipien korrelieren und die selten genug bewusst gemacht werden.⁷ Die wesentlichen kulturellen Barrieren, auf die die humanitären Helfer immer wieder stoßen und die es ihnen schwer machen, ihren Idealen zu entsprechen, ergeben sich zumeist aufgrund der mangelnden Ausbildung, fehlenden Vorbereitung und Erfahrung der unmittelbaren Akteure. Im Gegensatz zur Entwicklungszusammenarbeit, bei der auf eine sorgfältige Vorbereitung als wichtigster Erfolgsgarant großen Wert gelegt wird, ist es bei der humanitären Hilfe immer wieder das Problem der Kurzfristigkeit, das einer Hilfsorganisation nicht die Zeit lässt, um die besten Einsatzkräfte und Kulturexperten zu rekrutieren. Die großen Hilfswerke wie *Caritas international* versuchen diesem Problem sowohl durch einen großen und flexiblen Personalpool zu begegnen als auch durch den Einsatz von Fachberatern, die neben der Spezialexpertise auch je relevantes Kulturwissen einbringen können.

Eine fast banal zu nennende kulturelle Grenze ergibt sich aufgrund fehlender Sprachkenntnisse der Nothelfer, die sich dann auf Übersetzer verlassen müssen, die häufig je eigene Interessen verfolgen und in der Regel nicht über das notwendige technische Know-how verfügen.

Eine große Hürde eröffnet sich aber auch aufgrund der unterschiedlichen Glaubens- und Religionshintergründe zwischen Notleidenden und Helfer. Manche Nothilfe für Frauen aus streng islamisch geprägten Gemeinschaften scheitert beispielsweise daran, dass keine weiblichen Ärzte vor Ort sind und der jeweilige Ehemann aufgrund von Ehre und Tradition dem männlichen Arzt die Behandlung versagt.

Eine weitere Barriere ergibt sich manchmal auch aus dem hoch gelobten Partnerprinzip, bei dem die internationalen Organisationen die Hilfsleistungen an Vorort aktive einheimische Organisationen weiter delegieren um damit den Paternalismus- und Ethnozentrismus-Vorwurf zu entkräften. Was allerdings in den 70er und 80er Jahren als „political correctness“ galt, hat sich mittlerweile vielfach als Problem entpuppt. Die Partnerorganisationen vor Ort sind selten frei von Eigeninteressen und unterliegen häufig der Instrumentalisierung. Es gibt Beispiele, in denen nationale Caritasverbände in einen Rollenkonflikt zwischen Ideal und Wirklichkeit geraten, wenn bedürftige Katholiken Ersthilfe beanspruchen und dafür auch Druck über die lokale Kirchenhierarchie ausüben. Ähnliches erleben auch islamische, hinduistische, protestantische und andere religiöse Hilfswerke, die immer wieder von ihren je eigenen Konfessionsgruppen unter Druck gesetzt werden.

Die bislang genannten kulturellen Barrieren sind in der Regel auf Individuen oder auf Gruppen (z.B. religiösen Gemeinschaften) bezogen und können aufgrund ihrer Überschaubarkeit überwunden werden – durch Lernbereitschaft und Offenheit bei den je relevanten Akteuren und durch klare Regel- und Handlungsabläufe, die für eine Einhaltung der Prinzipien und Standards garantieren.

⁷ Im deutschen Sprachraum versucht vor allem Conrad Schetter am *Zentrum für Entwicklungsforschung der Universität Bielefeld* die kulturellen Missverständnisse, die bei humanitären Einsätzen geschehen, bewusst zu machen. Vor allem am Beispiel Afghanistan kann er zeigen wie vielfach naiv und Kultur unsensibel Akteure der Entwicklungszusammenarbeit und der Nothilfe agieren. Schetter, C.: The ‚Bazaar Economy‘ of Afghanistan. A Comprehensive Approach, in: ders., Noelle-Karimi, C., Schlagintweit, R.: Afghanistan – A Country without a State? Frankfurt/ London 2002. Ders.: Das Umerziehungslager des Westens, in: *Süddeutsche Zeitung*. 1.6.2006 (S. 2).

Eine weitaus komplexere kulturelle Hürde liegt in einem Konflikt zwischen je unterschiedlichen Lebenshaltungen begründet, von einerseits i.d.R. westlich geprägten Hilfswerken und andererseits Gesellschaften, die eine grundsätzlich kritische Haltung gegenüber der westlichen Welt hegen, sei es aufgrund kolonialer Vergangenheit oder sei es aufgrund vielschichtiger Selbstbehauptungsstrategien. Beispielsweise hatten sowohl die indische als auch thailändische Regierung nach der Seebebenkatastrophe von 2004 in einem Gestus nationaler Stärke zunächst sehr zögerlich auf die internationalen Hilfsangebote reagiert, wollte man doch die Katastrophe aus eigener Kraft meistern und sich nicht möglichen paternalistischen Hilfsgefühlen des Westens anvertrauen.

Im Sinne von Pierre Bourdieu kann diese Hürde nur durch eine wechselseitige hohe kulturelle Kompetenz überwunden werden: durch das Entschlüsseln und Finden von je eigenen Codes, die die sozialen und kulturellen Unterschiede der Akteure zu einem Dialog der Verständigung und des Handels führen.⁸ Bloßer Pragmatismus – mit Blick auf eine akute Notsituation bei der alle kulturellen Gegensätze schweigen müssten – hilft dabei kaum weiter, muss doch humanitäre Hilfe immer den Anspruch haben, die gleiche Augenhöhe zwischen Empfänger und Geber zu bewahren, will sie nicht als Gutmenschentum oder gar als kolonialistisch empfunden werden. Hilfsakzeptanz ist nicht per se gegeben, sondern muss erworben werden durch Dialog und durch das Finden von Codes, in denen gemeinsam definierte Ziele verfolgt werden. Am Beispiel Irak und Afghanistan zeigt sich heute, dass trotz unbestritten großer Not in großen Teilen der dortigen Bevölkerungen es immer weniger Raum und Bereitschaft gibt, Hilfe – zumal vom Westen – anzunehmen. Es ist dort offensichtlich, dass Vertrauen verloren gegangen ist und dass humanitäre Hilfe nicht mehr als neutral und universell wahrgenommen wird, sondern als ein mögliches Instrument der Manipulation. Überfremdungsängste drücken sich unter anderem stark im Generalverdacht der Missionierung aus, der immer wieder bei humanitären Einsätzen in den Raum geworfen wird.

Auch Jürgen Habermas hat mit seinem Werk „Theorie des kommunikativen Handelns“ (1981) einen Weg aus dem Dilemma gezeigt. Insofern sich beide Seiten – Helfer und Empfänger – bewusst machen, dass sie je unterschiedlichen Rationalitätskonzepten unterliegen, die sich nicht per se in der Lösung von akuten Fragen oder Problemen widersprechen, eröffnen sie einen Raum, in dem gemeinsames Handeln möglich ist. Dieses Handeln muss immer dialogisch sein, muss den Akteuren gegenseitig transparent machen, mit welchen Mitteln welche Ziele erreicht werden sollen und was dafür die Grundmotivation bildet. Auf diesem Hintergrund hat die humanitäre Hilfe so genannte „Do no harm“-Strategien entwickelt, in denen der Respekt gegenüber der je anderen Kultur deutlich wird und die stark selbstreflexiv sind.⁹ Die Basis dieser Strategien bildet die idealtypische ethische Überzeugung der Gemeinsamkeit von Helfer und Empfänger, die miteinander eine Notlage bewältigen ohne dass dabei eine Seite in ein Gefühl von Unterlegenheit oder Überlegenheit fällt. Wie die genannten Beispiele Indien, Thailand, Irak und Afghanistan zeigen, muss diese ethische Basis immer wieder neu bewusst gemacht werden. Ohne diesen ethischen Impetus wird es die vom Westen ausgehende humanitäre Hilfe künftig schwer haben über Not- und Katastrophenhilfe zu Völkerverständigung, Frieden und Gerechtigkeit beizutragen. Auf der anderen Seite kann auch die beste Ethik scheitern, wenn sie grundsätzlich und aus Ablehnung um der Ablehnung willen nicht zur Entfaltung kommen darf. Fundamentalistische Gruppen bieten dafür Beispiele wie sie Menschen in Not mittels Gewalt und Indoktrination dazu bringen, dringend benötigte Hilfe abzulehnen.

⁸ Pierre Bourdieu: *La distinction. Critique sociale du jugement*. Paris 1979.

⁹ Hierzu: *Code of Conduct for the International Red Cross and Red Crescent Movement and Non-Governmental Organisations in Disaster Relief*. Genf 1994.

3. Ausblick

Am überzeugendsten ist die humanitäre Hilfe dort, wo sie sich frei macht von jeglicher Instrumentalisierung – sei es seitens der Spender, seitens der Politik oder der Medien – und sich auf ihre ethischen und dialogischen Fähigkeiten konzentriert. Professionelle humanitäre Hilfe überzeugt die Empfänger dort, wo diese sich nicht als Empfänger oder Bedürftige empfinden, sondern als Menschen, die unverhofft in eine extreme Notlage geraten sind, aus der sie sich ohne externe Hilfe nicht befreien können. Insofern die Akteure der humanitären Hilfe immer stärker teilnehmen an den aktuellen Diskursen über interkulturelle und interreligiöse Kooperationen und ihre „Do no harm-Strategien“ verfeinern, sind sie auf dem richtigen Weg. Sie haben damit die Tür geöffnet für einen Dialog mit denen, die ihre Zielgruppen sind. Menschen in Notlagen sind sensibel in vielerlei Hinsicht, sind oft genug traumatisiert und benötigen Helfer, die sich dieser Verletzlichkeit der Empfänger bewusst sind. Beide Seiten können davon nur gewinnen. Beide Seiten sind entweder per Profession oder per Situation berufen zum „kulturellen Überläufer“ im besten Sinne des Wortes zu werden und tragen damit wegweisend zu mehr Solidarität, Barmherzigkeit, Dialog und Hilfsbereitschaft in einer sich immer wieder neu verschließenden Weltgemeinschaft bei.

THW – Helfen mit Technik und Verstand

Jürgen Delle

Bundesanstalt Technisches Hilfswerk (THW), Landesverband Bayern, 80637 München, Hedwig-Dransfeld-Allee 11, E-Mail: poststelle.lvby@thw.de, Internet: <http://www.thw-bayern.de>, Telefon: +49(0)89/1591510

Stichworte

Helfen rund um den Globus, bundesweite Präsenz, ehrenamtliches Engagement, Helfen wenn es darauf ankommt, europaweit ehrenamtliches Engagement fördern, THW-Partner für internationale humanitäre Hilfe, weltweit helfen im Auftrag des Bundes, starker Nachwuchs, THW in Daten und Fakten, Auszüge aus dem Jahresbericht 2006

1. THW in Daten und Fakten

Helferinnen und Helfer – Insgesamt: rund 80.000, davon Jugend: fast 15.000 in 930 Jugendgruppen und Frauen: über 7.000 (ca. 9% der Gesamthelferzahl)

Hauptamtliche – 829 Planstellen/Stellen

Struktur – Die Bundesanstalt Technisches Hilfswerk untergliedert sich in: 669 Ortsverbände (ehrenamtlich), 66 Geschäftsstellen und 8 Landes- bzw. Länderverbände (hauptamtlich besetzt): Baden-Württemberg (BW), Bayern (BY), Berlin, Brandenburg, Sachsen-Anhalt (BE/BB/ST), Bremen, Niedersachsen (HB/NI), Hamburg, Mecklenburg-Vorpommern, Schleswig-Holstein (HH/MV/SH), Hessen, Rheinland-Pfalz, Saarland (HE/RP/SL), Nordrhein-Westfalen (NW), Sachsen, Thüringen (SN/TH), die THW-Leitung in Bonn und eine Bundesschule mit zwei Ausbildungsstätten (Hoya und Neuhausen)

1.1 Aufgaben des THW

Technische Gefahrenabwehr – Orten, Retten, Bergen - Räumen und Sprengen - Retten aus Wassergefahren - Bekämpfung von Überschwemmungen - Ausleuchten von Einsatzstellen

Führung/ Kommunikation und Logistik – Einrichten temporärer Telekommunikationssysteme - Einrichten und Betreiben von Logistikstützpunkten - Verpflegung und Einsatzkräften - Materialerhaltung, Reparatur- und Wartungsarbeiten - Verbrauchsgütertransport

Technische Hilfe im Bereich der Infrastruktur – Elektroversorgung – Trinkwasserversorgung – Abwasserentsorgung – Brückenbau - Technische Hilfe im Umweltschutz – Ölschadenbekämpfung - Wasseranalyse

Betreuungsdienstliche Notversorgung der Bevölkerung – Elektro- und Trinkwasserversorgung – Abwasserentsorgung - Errichtung und Einrichtung von Notunterkünften

Weitere technische Hilfeleistungen – Technische Hilfe auf Verkehrswegen – Höhenrettung – Tauchen - Behelfsmäßiger Straßenbau - Wartung von Zivilschutzeinrichtungen

1.2 Einsatzeinheiten

Das THW verfügt über 1180 Fachgruppen und 1437 Bergungsgruppen in 727 Technischen Zügen. Hinzu kommen die Spezialgruppen der Schnell-Einsatz-Einheit-Wasserversorgung-Ausland (SEEWA) und der Schnell-Einsatz-Einheit-Bergung-Ausland (SEEBA, 3 Standorte). Bundesweit gehören mehr als 8.400 Fahrzeuge zur Ausstattung des THW (Abb. 1).



Abbildung 1: Zusammenarbeit mit Feuerwehr, Polizei, Sanitätsorganisationen und Verwaltungen ist Alltag (Foto THW-Archiv).

1.3 Haushalt

Die Ausgaben des THW beliefen sich im abgelaufenen Haushaltsjahr auf rund 129 Mio. Euro (ohne Drittmittel).

2. Auszüge aus dem aktuellen Jahresbericht 2006

2.1 Rund um den Globus helfen

Sei seiner Gründung im Jahr 1950 hat sich das Technische Hilfswerk von einem zivilen Ordnungsdienst zu einer modernen Hilfsorganisation entwickelt, die weltweit als Partner für Menschen in Not aktiv ist. Tag für Tag.

Im 57. Jahr seines Bestehens war die Leistungsfähigkeit des Technischen Hilfswerks (THW) besonders vor und während der FIFA-Fußball-Weltmeisterschaft in Deutschland gefordert. Mehr als 17.000 ehrenamtliche Helfer trugen dazu bei, dass die Spiele sicher und friedlich verliefen.

Es war gleichzeitig auch die erste große Bewährungsprobe für den neuen THW-Präsidenten Albrecht Broemme, der am 16. Mai die Nachfolge von Dr. Georg Thiel antrat. Bewährt haben sich auch die THW-Helfer während des kalten und schneereichen Jahresbeginn 2006. Mehrere hundert THW-Einsatzkräfte waren tagelang im Dauereinsatz. Im Frühjahr traf die Hochwasserflut die Bevölkerung an der Elbe. In Spitzenzeiten waren bis zu 800 Einsatzkräfte des THW vor Ort. Flächendeckende Präsenz, kompatible Einsatzmodule für unterschiedliche Anforderungen und bundesweit einheitliche Standards ermöglichten auch 2006, dass das THW in diesen und weiteren Fällen schnell und effektiv helfen konnte.

Im Ausland übernahmen ehrenamtliche Helfer des THW die Rolle als humanitärer Botschafter Deutschlands. Auf Zypern unterstützte das THW das Auswärtige Amt bei der Evakuierung deutscher Staatsbürger aus dem Libanon. Anschließend leisteten die Einsatzteams des THW im Libanon technische Hilfe bei der Instandsetzung von durch den Krieg zerstörten Rohrleitungen. Das THW war 2006 in rund 30 Staaten der Welt im Einsatz und einmal mehr war das THW Instrument des Bundes bei der Bekämpfung von Schäden größeren Ausmaßes oder bei humanitären Projekten.

2.2 Bundesweite Präsenz

Angesichts von Naturkatastrophen und Großereignissen hat die Rolle des THW im Bevölkerungsschutz im Inland an Gewicht zugenommen. 2006 haben sich über 80.000 Menschen für die Aufgaben des THW ehrenamtlich engagiert.

Im Jahr 2006 stieg die Zahl der ehrenamtlichen Helfer im THW auf über 80.000 bundesweit. Im Vergleich zu 2004 bedeutet das eine Steigerung um vier Prozent. Dies ist ein deutliches Signal für die Attraktivität ehrenamtlichen Engagements der Bevölkerung in Deutschland. Die THW-Einsatzkräfte sind Menschen, die sich in Ihrer Freizeit zum Wohle der Menschen engagieren und mit jährlich mehr als 900.000 Einsatzstunden im Bevölkerungs- und Katastrophenschutz Hilfe leisten. Allein 210.000 Einsatzstunden wurden für Vorbereitung, Durchführung und Nachbereitung der Fußball-Weltmeisterschaft geleistet.

Das operative Rückgrat des THW bilden die 669 Ortsverbände, die über ganz Deutschland verteilt sind. Sie garantieren auf lokaler Ebene schnelle und effiziente Hilfe auf Anforderung der zuständigen Stellen wie Polizei und Feuerwehr.

2.3 Bundesweites Know-how der Fachgruppen

Das THW hat die gesetzlich verankerte Aufgabe, den Ländern und Kommunen bundesweit bei Katastrophen schützend zur Seite zu stehen. Ermöglicht wird das durch einen modularen, bundesweit einheitlichen Aufbau. In jedem Ortsverband ist mindestens ein Technischer Zug vorhanden. Jeder Technische Zug besteht aus einer Führungskomponente, dem Zugtrupp, zwei Bergungsgruppen und einer Fachgruppe. Die insgesamt über 1.000 Fachgruppen sind über ganz Deutschland verteilt, so dass im Bedarfsfall diese speziellen Teileinheiten mit Helfern, Fahrzeugen und Ausrüstung zügig zusammengezogen werden können, um bestmögliche Hilfe zu leisten. Die Fachgruppen gibt es, abhängig vom Gefährdungspotenzial, in unterschiedlicher Anzahl und Flächendeckung. Dennoch sind die 8.400 Fahrzeuge und technischen Spezialgeräte so in den Kommunen verfügbar und stationiert, dass sie schnell am Einsatzort sein können. Das zeigt sich vor allem bei großen Katastropheneinsätzen. So hatte das THW beim Frühjahrshochwasser an der Elbe Einheiten und Material, wie leistungsfähige Schmutzwasserkreiselpumpen, zusammengezogen und länderübergreifend eingesetzt.

2.4 Abschluss des Aufbaus Ost

In den neuen Bundesländern wurde mit der Gründung des 94. Ortsverbandes im thüringischen Gotha im August der Aufbau der Bundesanstalt THW abgeschlossen. Der Startschuss für den Aufbau von THW-Standorten in den neuen Bundesländern fiel im Jahr 1990. Nur ein Jahr später entstanden in Halberstadt und Erfurt die ersten Ortsverbände. Rund 8.000 THW-Helfer engagieren sich für das THW im östlichen Deutschland. Das ist im Vergleich zu 2002 eine Steigerung um 12,8 Prozent. 2006 gab es für den THW- Länderverband Sachsen-Thüringen

noch einen zweiten Grund zur Freude. Der Länderverband feierte sein zehnjähriges Bestehen. In Sachsen und Thüringen engagieren sich aktuell rund 3.000 Helfer für das THW.

2.5 Helfen, wenn es darauf ankommt

Bundesweit leistete das THW 2006 Hilfe für Menschen in Not. Die Einsatzkräfte waren zur Stelle bei Unwetter, Hochwasser, Schneechaos, Großbränden, Gebäudeeinstürzen, Gasexplosionen, Zugunglücken oder LKW-Unfällen.

Auf lokaler Ebene war das THW in Deutschland fast täglich im Einsatz. In der ersten Jahreshälfte waren vor allem die Ortsverbände in Bayern gefordert: Starke Schneefälle zum Jahresbeginn hatten weite Teile Bayerns in eine Winterlandschaft mit Rekordschneehöhen verwandelt.

2.6 Einsturz einer Eissporthalle

Das Dach der Eislauf- und Schwimmhalle von Bad Reichenhall hielt der Last der Schneemassen nicht mehr stand, brach zusammen und begrub mehrere Schlittschuhläufer unter den Trümmern. Die Einsatzkräfte des THW-Ortsverbandes Bad Reichenhall waren unmittelbar nach dem Unglück vor Ort. Damit die Rettungskräfte ihre Arbeit durchführen konnten, mussten die schweren Trümmer des Daches mit Kränen gesichert werden. Das THW stützte zusätzlich Teile des eingestürzten Gebäudes ab, um den Rettungskräften den Zugang zu sichern. Besonders die Tiefgarage unter der Halle mussten THW-Spezialisten wegen der erhöhten Belastung durch die Trümmer mit Stützelementen stabilisieren. Immer wieder mussten die Rettungs- und Bergungsarbeiten wegen akuter Einsturzgefahr unterbrochen werden. Zu einer der wichtigsten Aufgaben der THW-Einsatzkräfte zählte daher die Überwachung der vom Einsturz bedrohten Außenwände der Eissporthalle. Dazu nutzen die THW-Fachleute ein durch THW-Helfer neu entwickeltes Einsatz-Sicherungs-System (ESS). Zudem stellte das THW beheizte Aufenthaltszelte für die Einsatzkräfte und versorgte die Unglücksstelle mit Strom und Licht, damit die Rettungsarbeiten auch in der Nacht fortgeführt werden konnten. Die 227 THW-Einsatzkräfte arbeiteten reibungslos mit Feuerwehr, Polizei und anderen Hilfsorganisationen zusammen. In den niederbayerischen Landkreisen Passau, Schwandorf, Deggendorf, Regen, Straubing-Bogen und Freyung-Grafenau wurde Anfang Februar Katastrophenalarm wegen anhaltender Schneefälle ausgelöst.

2.7 Katastrophenalarm nach Schneechaos

Mehr als 500 Einsatzkräfte aus 32 Ortsverbänden unterstützen die Räumungsarbeiten. Zusammen mit den Einsatzkräften von Feuerwehr und Bundeswehr schaufelten die THW-Kräfte schneebedeckte Dächer frei, stützten Gebäude ab und beseitigten Schneebruch-Schäden (Abb. 2). THW-Fachberater waren zusätzlich in die jeweiligen Krisenstäbe der Landkreise eingebunden.

Auch im Rhein-Lahn-Kreis, auf der Schwäbischen Alb, in Sachsen und Sachsen-Thüringen machten starke Schneefälle Straßen unpassierbar und drohten, Gebäude zum Einsturz zu bringen. In einigen Regionen Baden-Württembergs brach die Stromversorgung zusammen. Gemeinsam mit dem zuständigen Elektrizitätswerk Mittelbaden schnitten THW-Einsatzkräfte Überlandleitungen frei, bauten Freileitungen wieder auf, verlegten Stromkabel zu abgelegenen Höfen und leuchteten Einsatzstellen aus. Tauwetter und Regen ließen den Wasserstand der Elbe Ende März stark ansteigen. In Ostdeutschland überflutete der Fluss Teile der Stadt

und der Region Dresden und richtete erhebliche Schäden in den Landkreisen Prignitz, Stendal, Schönebeck sowie in Magdeburg und in Rosslau bei Dessau an. In Norddeutschland überstiegen die Höchstwasserstände bei Hitzacker und im Landkreis Lüchow-Dannenberg sogar das Ausmaß der Jahrhundertflut vom August 2002.



Abbildung 2: Die Schneelasten müssen auf den Dächern per Hand beseitigt werden (Foto: THW-Archiv).

2.8 Einsatz beim Frühjahrshochwasser

Täglich leisteten bis zu 1.000 Helfer technische Hilfe mit Pump- und Deichsicherungsarbeiten, Stromversorgung, Beleuchtung sowie dem Befüllen von Sandsäcken. Entlang der Elbe sicherten ehrenamtliche Helfer Deiche mit Sandsäcken und Experten der Fachgruppe Wasserschaden/Pumpen entlasteten durch den gezielten Einsatz der leistungsstarken Pumpausstattung des THW die Deiche in den Hochwassergebieten vom Wasserdruck. Die Schmutzwasserkreiselpumpen des THW, die in einer Minute bis zu 15.000 Liter abpumpen, waren bereits 2005 in New Orleans nach dem Hurrikan „Katrina“ im Einsatz. Jede dieser Pumpen ist in der Lage, in etwa einer halben Sekunde eine Badewanne mit 140 Litern Wasser zu leeren. Die ehrenamtlichen Helfer aus dem Länderverband Bremen⁷Niedersachsen wurden von weiteren Einheiten aus fünf THW-Landes und Länderverbänden unterstützt. Besonders hart traf die Flut die Bewohner der deichfreien Stadt Hitzacker, in der das Hochwasser die Altstadt überschwemmte. Die Hochwassermarke kletterte auf die Rekordmarke von 7,62 Meter. Im Raum Hitzacker/Laasche, dem Landkreis Lüchow-Dannenberg und der Stadt Bleckede waren in Spitzenzeiten 800 THW-Kräfte aus 66 Ortsverbänden im Einsatz. Damit die Hilfsarbeiten auch während der Nacht fortgeführt werden konnten, wurden die Überschwemmungsgebiete mit Hilfe von auf Booten aufgestellten Schweinwerfern angeleuchtet. Nachdem der örtliche Stromversorger die Energiezufuhr wegen der ansteigenden Wassermassen abgestellt hatte, lieferten sechs Netzersatzanlagen und zwölf Stromaggregate des THW den notwendigen Strom im Hochwasser-Gebiet.

In Sachsen, Sachsen-Anhalt und Brandenburg sicherten 300 THW-Helfer aus 25 Ortsverbänden Deiche, pumpten Wasser ab und kämpften gegen die steigenden Fluten. Entlang der Elbe wurden die Dämme an vielen Stellen verstärkt und sogar erhöht.

2.9 Papstbesuch in Bayern

Während seines zweiten Aufenthalts in Deutschland besuchte Papst Benedikt XVI. im September Regensburg und Altötting. Insgesamt 2.000 Helfer des THW aus 71 bayerischen THW-Ortsverbänden in Bayern, waren im Einsatz. Auf dem Islinger Feld bei Regensburg, auf dem mehr als 250.000 Gläubige zu einem Open-Air-Gottesdienst versammelt waren, sorgten 400 ehrenamtliche Helfer für die Stromversorgung während der Messe. Im Vorfeld waren 60 Beschallungs- und Videotürme aufgebaut worden, damit alle Pilger dem Gottesdienst unter freiem Himmel folgen konnten. Mit Netzersatzanlagen erzeugte das THW während des Gottesdienstes rund 50.000 Kilowatt Strom das entspricht einem Bedarf von bis zu 2.000 Haushalten. Die umfangreichen Aufgaben in Regensburg starteten bereits mit einem Jahr Vorlauf, hier waren 57 Ortsverbände eingebunden.

2.10 Europaweit ehrenamtliches Engagement fördern

Durch internationale Aktivitäten, wie gemeinsame Ausbildung und EU-weite Übungen, wurde die Zusammenarbeit für den Ernstfall vorbereitet. Die Rahmenbedingungen für ehrenamtliches Engagement weiter zu verbessern und Standards europaweit voranzubringen, waren die Schwerpunkte im Jahr 2006.

Mit Fortschreiten der europäischen Integration gewinnt die Vernetzung der Organisationen im Zivil- und Katastrophenschutz national und EU- weit an Bedeutung. Im Vordergrund steht dabei die Weiterentwicklung des europäischen Gemeinschaftsverfahrens, des so genannten EU-Mechanismus. Dieses integrierte europäische Hilfeleistungssystem basiert auf der engen Zusammenarbeit der mit dem Bevölkerungsschutz befassten nationalen Organisationen.

So hat das aus Mitteln der EU finanzierte Projekt „Volunteers in Civil Protection“, das im Jahr 2005 begonnen und im Jahr 2006 fortgeführt wurde, zum Ziel, das ehrenamtliche Engagement europaweit zu fördern und Empfehlungen für gemeinsame Mindeststandards für einen funktionierenden Bevölkerungsschutz in der Europäischen Union zu formulieren. Im Rahmen des Projektes richtete das THW einen internationalen Workshop mit 90 Teilnehmern aus 27 europäischen Ländern aus. Dass Projekt auch über die Grenzen der Europäischen Union hinausweist, zeigte die Teilnahme der Türkei und Tunesiens.

In vier Arbeitsgruppen wurden Empfehlungen für Mindeststandards bei den Arbeitsbedingungen und der Ausbildung von Ehrenamtlichen im Bevölkerungsschutz in Europa erarbeitet. Diskutiert wurden Fragen des Managements von Freiwilligenorganisationen, der Einsatzbedingungen sowie der Aus- und Fortbildung. Die Ergebnisse des Workshops sind in Deutschland bereits von der Ständigen Konferenz für Katastrophenfürsorge und Katastrophenschutz (SKK) übernommen und offiziell als Rahmenempfehlung verabschiedet worden.

2.11 EU-Ausbildungslehrgänge auf Zypern

Im Juni 2006 fand der erste EU-Lehrgang zu Erkundungsmissionen (Assessment Mission Course, AMC) im Rahmen des Europäischen Gemeinschaftsverfahren auf Zypern statt. Johanniter-Unfall-Hilfe (JUH) und THW entwickelten im Auftrag der EU-Kommission ein internationales Soforthilfe-Training für Helfer, die unmittelbar nach Katastrophen in den betroffenen Regionen zur ersten Erkundung der Lage (Mission) eingesetzt werden. Der AMC- Kurs ist das erste gemeinsame Projekt beider Organisationen im Bereich der Auslandsausbildung. Damit trägt die 2005 zwischen THW und JUH geschlossene Allianz auf europäische Ebene erste Früchte.

In den gemeinsam von THW und JUH und in Zusammenarbeit mit dem Zivilschutz Zyperns durchgeführten Lehrgängen ging es vor allem um internationale Kriterien und Standards für Erkundungen sind wichtig für eine zielgenaue Ausrichtung von Hilfeleistungen nach Katastrophen. An den von der EU finanzierten Lehrgängen auf Zypern beteiligten sich jeweils Katastrophenschutzorganisationen aus 15 europäischen Ländern.

Damit die Zusammenarbeit im Katastrophenfall auch über Ländergrenzen hinweg reibungslos funktioniert und Vereinbarungen mit Leben gefüllt werden, nahm das THW 2006 an mehreren europäischen Großübungen teil.

2.12 Brückenschlag in Breisach

So entstand bei der deutsch-französischen Großübung „Brückenschlag“ in Breisach im Juli die bislang längste, jemals durch das THW gebaute Schwimmbrücke. 20 Arbeitsplattformen und zwei Anleger verbanden sich zu einer 220 Meter langen Ponton-Brücke über den Rhein. Der THW-Ortsverband Breisach, der am 29. Juli im Rahmen der Übung sein 40-jähriges Jubiläum feierte, hatte das Großprojekt organisiert. Die Freigabe der Brücke erfolgte von französischer Zivil- und Katastrophenschutz (Direction de la Defense et de Se`curite` Civiles). Den Präfekten Henri Masse. Als Vertreter der Bundesregierung eröffnet der Parlamentarische Staatssekretär beim Bundesminister des Innern, Peter Altmaier, die Brücke. An der deutsch-französischen Katastrophenschutzübung nahmen rund 680 THW-Einsatzkräfte der Fachgruppen Wassergefahren, Beleuchtung, Brückenbau, Logistik und Führung/Kommunikation aus 40 Ortsverbänden teil. Weitere 350 Helfer der deutschen und französischen Partnerorganisationen beteiligten sich ebenfalls an dieser grenzüberschreitende Zusammenarbeit der europäischen Katastrophenschutzorganisationen trainiert.

2.13 Europäisches Teamwork

Während der EU DANEX probten Einsatzteams aus Dänemark, Schweden, Slowenien, Estland, Ungarn, Litauen und Deutschland Mitte September in Dänemark und Schweden die Zusammenarbeit bei der Bewältigung von Schadensereignissen nach Terroranschlägen. Einsatzkräfte des THW nahmen zusammen mit der Feuerwehr Hamburg an der Übung teil. Zusätzlich wurden die unterschiedlichen Melde- und Kommunikationswege innerhalb Deutschlands, zur Europäischen Union und nach Deutschland getestet. Die Kollision eines Frachters mit einem Öltanker war das Ausgangsszenario der EUROBALTIC II, einer gemeinsamen EU-finanzierten Ölabwehrübung deutscher und polnischer Katastrophenschützer Anfang Oktober. THW-Helfer aus den Ortsverbänden Pasewalk, Stralsund und Wolgast trainierten gemeinsam mit den Kräften der deutschen und der polnischen Umweltschutz sowie Schiffen des deutschen Havariekommandos und der polnischen Armee die Bekämpfung einer Ölpest. Mit der deutsch-polnischen Übung sollten die bestehenden Regelungen für die grenzüberschreitende Hilfeleistung überprüft und die Gefahrenabwehrpläne weiterentwickelt werden.

Das THW und die polnische staatliche Feuerwehr (PSP) vertieften 2006 ihre Zusammenarbeit durch die Verabschiedung eines Zweijahresarbeitsplans, der gemeinsame Übungen und Veranstaltungen vorsieht. Solche Aktivitäten stehen im Zusammenhang mit dem im Jahr 2003 initiierten Anrainerstaatenkonzept, das die kontinuierliche Verbesserung der Beziehung zwischen dem THW und den Partnerorganisationen der europäischen Nachbarstaaten zum Ziel hat.

2.14 THW – Partner für internationale humanitäre Hilfe

Als Einsatzorganisation des Bundes ist das THW ein nationaler Beitrag der Bundesrepublik Deutschland für die Vereinten Nationen im Bereich der humanitären Hilfe. Das THW war 2006 in die Gremienarbeit eingebunden und unterstützte die UN in Afrika

Die Internationale Search and Rescue Advisory Group (INSARAG) hat seit 15 Jahren zum Ziel, internationale Einsätze nach Großkatastrophen zu verbessern. Im Vordergrund stehen dabei eine reibungslose Koordinierung von internationalen Hilfsmaßnahmen und die Förderung sowie Ausbildung von Rettungskapazitäten in katastrophengefährdeten Staaten. Die INSARAG steht als globales Netzwerk unter der Schirmherrschaft der Vereinten Nationen und ist UN-OCHA (Office for the Coordination of Humanitarian Affairs), dem Büro zur Koordinierung humanitärer Angelegenheiten, zugeordnet. Die INSARAG entwickelt das UN-Erkundungssystem (UN Disaster Assessment and Coordination, UNDAC), Einsatzrichtlinien (INSARAG_Guidelines) und Einsatzabläufe vor Ort weiter. Die INSARAG wurde 1990 auf Initiative der D-A-CH-Arbeitsgruppe gegründet und besteht heute aus drei Regionalgruppen: Afrika/Europa, Asien/Pazifik und Amerika. Die Jahrestagung 2006 der Regionalgruppe Afrika/Europa der INSARAG in Tunis fand unter Beteiligung von 78 Teilnehmern aus 36 Staaten und Organisationen statt. Das THW hat den 2. Vorsitz der INSARAG- Regionalgruppe Afrika/Europa inne. Neuer Präsident ist der Leiter des tunesischen Zivilschutzes (Office National de la Protection Civile, ONPC) Moncef Belkhir. Im Vorfeld der Jahrestagung stand eine Ausbildung mit anschließender Regionalübung auf dem Programm. An der Ausbildungsveranstaltung waren 47 Experten aus 23 Staaten und Organisationen Afrikas, Europas und des nahen Ostens beteiligt. Möglichkeiten und Grenzen des internationalen Hilfeleistungssystems standen im Mittelpunkt. Ortung und Rettung nach Erdbeben war das Thema der Feldübung tunesischer und algerischer Einheiten, an denen sich auch die Bergungsspezialisten des THW, die Schnell-Einsatz-Einheit-Bergung-Ausland (SEEBA), beteiligten. Das THW organisierte gemeinsam mit den Vertretern Tunesiens und den Vereinten Nationen Ausbildung. Übung und Jahrestagung.

Im Jahr 2006 hat das THW für die nächsten fünf Jahre den Vorsitz der D-A-CH-Arbeitsgruppe übernommen. Diese wird vom deutschen THW (D), der österreichischen Austrian Forces Disaster Relief Unit (A) und dem schweizerischen Korps für humanitäre Hilfe/Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit (CH) getragen. Das wichtigste Ziel der deutschsprachigen Expertenarbeitsgruppe besteht neben der Förderung der Zusammenarbeit der drei Organisationen untereinander darin, Vordenker und Motor innerhalb der INSARAG-Regionalgruppe Afrika/Europa zu sein.

2.15 UN-Missionen in Afrika

Ein regionaler Tätigkeitsschwerpunkt des THW im Auftrag der Vereinten Nationen ist die Not- und Katastrophenhilfe in Afrika. In Nord-Darfur (Sudan) wurde ein Kfz- und Generatorenwerkstatt von haupt- und ehrenamtlichen Helfern des THW betrieben. UN- und Nicht-Regierungs-Organisationen konnten Fahrzeuge, Stromerzeuger und Ausstattung warten und reparieren lassen, um in dem strukturschwachen Gebiet handlungsfähig zu bleiben.

Im Auftrag des Auswärtigen Amtes leistete das THW logistische Unterstützung im Rahmen der UN-Friedensmission (UNMIL) in Liberia. Dabei wurde in Monrovia eine Generatorenwerkstatt betrieben, um für den UN-Blauhelmeinsatz die Stromversorgung sicherzustellen.

2.16 Weltweit helfen im Auftrag des Bundes

Das THW war auch 2006 als humanitärer Botschafter Deutschlands im Einsatz (Abb. 3). So half das THW im Rahmen der akuten Nothilfe bei der Evakuierung von Flüchtlingen aus dem Libanon und reparierte die vom Krieg zerstörte Infrastruktur.



Abbildung 3: Suche nach Überlebenden nach Erdbeben im Iran (Foto THW-Archiv).

Aufgrund der anhaltenden Kampfhandlungen im Libanon wurde die Mittelmeerinsel Zypern Ende Juli Dreh- und Angelpunkt für die aus dem Libanon flüchtenden Menschen. Insgesamt mehr als 60.000 Menschen aus dem Krisengebiet suchten Zuflucht auf Zypern.

Wegen der Hauptreisezeit in Europa war die Mittelmeerinsel fast ausgebucht und es gab fast keine freien Unterkünfte. Jeden Tag trafen bis zu 4.000 Personen mit Schiffen auf Zypern ein.

In den Seehäfen Larnaca und Limassol sowie am Flughafen in Nikosia hatte die deutsche Botschaft in Nikosia Empfangsstellen zur Betreuung und Versorgung der Bundesbürger eingerichtet. Auf Ersuchen des Auswärtigen Amtes und im Auftrag des Bundesinnenministeriums unterstützt das THW vierzehn Tage lang die deutsche Botschaft bei der Betreuung der Bundesbürger auf Zypern. Mehrere THW-Teams waren auf Zypern eingesetzt. Sie unterstützten in den Häfen von Larnaca und Limassol gemeinsam mit den Mitarbeitern der deutschen Botschaft die zypriotischen Behörden bei der Bewältigung des Flüchtlingsstroms. Sie betreuten in erster Linie deutsche Staatsangehörige und halfen, die Weiterreise zu organisieren. Mit dem zypriotischen Zivilschutz stimmten sich die Angehörigen des THW bei der Suche nach freien Hallen, Appartements oder Hotels ab.

In der deutschen Botschaft in Nikosia hatte das THW zudem eine Führungsunterstützungsstelle eingerichtet. Dort wurden alle eingehenden und ausgehenden Informationen gesichtet und weiterverarbeitet. Insgesamt konnten mehr als 5.600 Deutsche den Libanon verlassen, 600 davon auf dem Seeweg. 21 Sonderflüge wurden eingesetzt.

Zur Unterstützung des United Nations Joint Logistics Center (UNJLC), der Koordinierungsstelle der Vereinten Nationen für Hilfsmaßnahmen, hatte das THW zwei Logistikexperten nach Damaskus (Syrien) Hilfsgüterkonvois für den Libanon zusammengestellt. Ein weiterer ehrenamtlicher Helfer betreute als EU-Koordinator die Hilfsaktionen der Europäischen Union.

Direkt nach dem Ende der Kampfhandlungen im Süden des Libanon begann die internationale Gemeinschaft mit dem Wiederaufbau. Der THW-Einsatz war Teil des deutschen Beitrags für den Wiederaufbau im Libanon.

2.16.1 Nothilfe und Wiederaufbau im Libanon

Ziel war es, die humanitäre Situation der Bevölkerung vor Ort unmittelbar zu verbessern. Der Einsatz des THW im zerstörten Süden des Libanon dauerte insgesamt zwei Monate. Die drei Einsatzteams des THW leisteten schwerpunktmäßig in der Hafenstadt Tyrus und in Nabatiya im Südosten des Libanon technische Hilfe und unterstützten die örtlichen Behörden an über 360 Einsatzstellen bei der Instandsetzung zerstörter technischer Infrastruktur. Gemeinsam mit den Mitarbeitern der lokalen Wasserwerke spürte das THW Leckagen in den Rohrleitungen auf und reparierte sie.

Insgesamt wurden mehr als 8.000 Haushalte wieder an die Wasserversorgung angeschlossen. Der Einsatz der Wasserexperten vom THW stand unter dem Motto „Hilfe zur Selbsthilfe“. Denn die ehrenamtlichen THW-Helfer reparierten nicht nur Rohrleitungen und reinigten Wassertanks, sondern schulten auch Mitarbeiter der lokalen Wasserversorgungsbehörden im Umgang mit Material und Geräten.

Außerdem führte das THW ein Trinkwasserlabor mit, um die Wasserqualität an den öffentlichen Entnahmestellen in der Region um Nabatiya zu prüfen. Im Auftrag des Kinderhilfswerks der Vereinten Nationen (UNICEF) haben THW-Helfer zusätzlich über eine Laufzeit von zwei Monaten in einem Wasserwerk der südlibanesischen Hafenstadt Tyrus ein Labor eingerichtet, um die Wasserqualität zu überwachen. Die Messwerte gehen in eine Trinkwasserübersicht für das Gebiet um die Hafenstadt ein, um die Wasserqualität dauerhaft zu verbessern. Es war der Zweiteinsatz des THW im Libanon. Bereits 1982 half das THW, in der libanesischen Hauptstadt Beirut die Trinkwasserversorgung sicherzustellen.

2.16.2 Erkundung in Togo und Rumänien

Das Stadtgebiet der togolesischen Hauptstadt Lome wird in der Regenzeit immer wieder von lang anhaltenden und überdurchschnittlich starken Regenfällen überflutet. Im Auftrag des Auswärtigen Amtes erkundete im Juni ein THW-Team vor Ort, welche Maßnahmen, wie beispielsweise der Bau von neuen Rückhaltebecken oder Vorflutsystemen, notwendig sind, um künftig Überschwemmungen und die damit einhergehenden Zerstörungen wie beim Hochwasser im Jahr 2005 zu verhindern.

Nach Rumänien entsandte das THW während des wiederkehrenden Frühlingshochwassers ein Erkundungsteam, um den Einsatz von Hochleistungspumpen und Trinkwasseraufbereitungsanlagen in den Überflutungsgebieten an den Flüssen Bega und Timis zu prüfen.

2.17 Starker Nachwuchs

Die **THW-Jugend e.V.** Nachwuchsorganisation des THW, gehört zu den Aktivposten in der THW-Familie. Zentrales Ereignis im Jahr 2006 war das Bundesjugendlager in Wismar.

Erstmals fand ein Bundesjugendlager in den neuen Bundesländern statt. Anfang August wurde die Hauptstadt Wismar zur Metropole der THW-Jugend. Mehr als 3.500 Junghelferinnen und Junghelfer zwischen zehn und 17 Jahren waren aus 215 Ortsverbänden angereist. Mit dabei waren auch befreundete Jugendgruppen aus Polen, Russland, der Türkei und Tunesien. Der zentrale Tag des Megaevents war der 5. August, der Tag des Wettkampfes. Es war ein

sportliches Kräfteressen der 16 Jugendgruppen, die sich bei den Wettkämpfen auf Landesebene im vergangenen Jahr qualifiziert hatten. Dabei mussten sie Aufgaben aus verschiedenen fachtechnischen Bereichen unter dem kritischen Blick der Schiedsrichter lösen. 2006 kam die Siegesmannschaft des Bundesjugendwettkampfes aus Baden-Württemberg. Die Jugendgruppe des THW-Ortsverbandes Haßmersheim nahm in Wismar den vom Parlamentarischen Staatssekretär Peter Altmaier überreichten Pokal unter dem Jubel hunderter jugendlichen Fans entgegen.

Das Bundesjugendlager ist ein eindrucksvolles Beispiel für die erfolgreiche Jugendarbeit im THW. Die steigenden Jugendhelferzahlen 15.373 im Jahr 2006 – mit einem erneuten Plus im Vergleich zum Vorjahr, zeigen deutlich, was die bundesweit 666 Jugendgruppen zu bieten haben. Denn es ist gerade für eine ehrenamtliche Organisation wichtig, auch in die Zukunft zu schauen.

Ein weiteres Projekt der Nachwuchsförderung im THW war eine Gemeinschaftsaktion von THW-Leitung, des THW-Landesverbandes Nordrhein-Westfalen und der THW-Jugend. Die THW-Jugend präsentierte sich zusammen mit dem Jugendrotkreuz und der DLRG-Jugend im Rahmen einer Imagekampagne (www.was-geht-ab.com) erstmals auf der Jugendmesse „respect our future“ der Aktion Mensch. Rund 40 THW-Helfer und Junghelfer aus den Ortsverbänden Haan, Moers, Siegen, Dinslaken und Duisburg demonstrierten den 18.000 Messebesuchern mit verschiedenen Mitmach-Aktionen ihr technisches Know-how und Spaß an der Arbeit im Team.

Girls`Day 2006: Mädchen machen mit – Das THW beteiligt sich im vergangenen Jahr bereits zum vierten Mal am bundesweiten Girl`s Day, dem Mädchen-Zukunftstag. Unter dem Motto „Technik THW-Mädchen machen mit“ luden bundesweit 57 THW-Ortsverbände interessierte Schülerinnen zu Veranstaltungen in ihre Ortsverbände ein. Dabei konnten die Teilnehmerinnen den Umgang mit moderner Technik live erleben und die Möglichkeiten technischer Hilfeleistung kennen lernen. Mehr als 1.000 Schülerinnen im Alter von elf bis 18 Jahren haben sich an dieser Aktion beteiligt.

Erste internationale Kooperation – In der Jugendarbeit des THW gab es 2006 auch eine Premiere: Die THW-Jugend schloss ihre erste internationale Kooperationsvereinbarung ab, und zwar mit dem Studentischen Korps der Rettungshelfer aus Russland. Im Vordergrund der Vereinbarung stehen eine engere Zusammenarbeit zwischen den Jugendorganisationen sowie gemeinsame Ausbildung und Übungen. Bereits seit einigen Jahren bestehen Kontakte zwischen einzelnen THW-Jugendgruppen und den russischen Katastrophenschützern, von denen einige auch am Bundesjugendlager in Wismar teilgenommen haben. Mit der Kooperationsvereinbarung wird die internationale Ausrichtung der THW-Jugend gestärkt.

Spielen zugunsten des THW – Unter dem Motto der THW-Jugend „Spielend Helfen lernen“ hat Galeria Kaufhof eine THW-Sonderedition des Spielwarenherstellers Playmobil zum Weihnachtsgeschäft bundesweit in seine Filialen gebracht. Das Handlungsunternehmen macht damit Werbung für das THW und seine Nachwuchsorganisation. Mit ihrer einmaligen Aktion wollen beide Unternehmen Kindern und Jugendlichen am Beispiel des THW auf spielerischer Art gesellschaftliche Werte vermitteln und sie zur Übernahme sozialer Verantwortung bewegen. Dies ist ein Zeichen für den gesellschaftlichen Stellenwert, den das THW mittlerweile genießt. Neben dem ideellen Nutzen durch die Aktion, profitiert die THW-Jugend zudem von dem Verkauf von Schlüsselanhängern im THW-Playmobil-Design.

3. Das Ehrenamt in Deutschland

Von Gerd Neubeck, ehemaliger THW-Bundessprecher – Ein Rechenbeispiel aus dem Bereich des Technischen Hilfswerk mag dies verdeutlichen. Setzt man für die rund 45.000 aktiven Helfer einen Durchschnittsstundensatz pro Jahr von 150 Stunden an und bewertet die Stunde mit einem Minimalbetrag von 5 Euro ergibt sich aus 6.750.000 Stunden ein Betrag von 33,75 Millionen Euro. Bei einem Ansatz von 35 Euro die Stunde, der für eine nicht näher spezifizierte Handwerkerstunde im untersten Bereich liegt, ergibt sich ein Betrag von 236.250.000 Euro. Bei dem hier in Rechnung gezogenen Stundenmittel von 150 Stunden jährlich sind Einsätze und Ausbildungslehrgänge nicht eingerechnet; bei den angenommenen Stundensätzen sind die gerade in unserem Lande besonders drückenden Lohnnebenkosten nicht berücksichtigt.

Eine berufsmäßige ausgerichtete Struktur des THW beispielsweise würde dafür hinaus zu hier nicht zu quantifizierenden Kosten im Bereich von Investitionen für die Einhaltung zahlreicher einschlägiger Arbeitsschutzbestimmungen führen, was insbesondere Bau-, aber auch Einrichtungs- und Ausstattungstitel betreffen würde. Beim Einsatz von Ehrenamtlichen wird über derartige Bestimmungen zumeist sehr großzügig hinweggesehen.

Setzt man allein die grob errechneten Zahlen mit dem Haushalt der Bundesanstalt Technisches Hilfswerk (rund 130 Millionen im Jahre) in Bezug, ergibt sich allein rechnerisch ein erhebliches Einsparvolumen beim hierfür zuständigen Bund. Hinzu kommt der Umstand, dass die öffentliche Hand von der Einrichtung entsprechender Planstellen Abstand nehmen kann, die – einmal eingerichtet – Jahre bis Jahrzehnte Folgekosten verursachen.

Daneben bringt der Einsatz von Ehrenamtlichen wohl noch weit höher zu bewertende Vorteile für das gesamte Gemeinwesen. Zum einen bringen die Ehrenamtlichen neben ihrer Bereitschaft, Freizeit für die Erfüllung staatlicher Aufgaben zu opfern, in ganz erheblichem Maße ihrer privat oder beruflich erlangten Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten ein, die mit Aufwand und Kosten verbundene Ausbildungsgänge in vielen Fällen entbehrlich werden lassen. Hierzu gehören nicht nur privat erworbene Fahrerlaubnisse für Kraftfahrzeuge, Motorboote oder Maumaschinen, sondern auch besondere berufliche Fertigkeiten wie Schweißlehrgänge, Erste-Hilfe-Ausbildungen oder auch verwaltungs- und betriebswirtschaftliche Kenntnisse. Bei hauptamtlichem Personal wären die für die Ausübung der jeweiligen Tätigkeit erforderlichen Kenntnisse dem Betreffenden in weitem Umfang auf Kosten des Gemeinwesens zu vermitteln, nachdem auf dem Arbeitsmarkt in vielen Fällen keine genügende Zahl von Bewerbern vorhanden sein dürfte, die von vornherein die entsprechenden Kenntnisse und Fertigkeiten aufweisen. Hinzu kommt, dass auf diese Weise ein Potenzial an Kräften zur Verfügung steht, welches über die Mindestanforderungen zur Erfüllung der jeweiligen Aufgaben hinaus durch die anderweitige Berufstätigkeit und die Lebenserfahrung Fähigkeiten in die Aufgabenerfüllung mit einbringt, die von einem reinen Profi weder verlangt noch erwartet werden können. Die Verwendung hauptamtlichen Personals setzt zudem die Einhaltung sämtlicher tarifvertraglicher Vorschriften und Vereinbarungen voraus. Bereits bei der heutigen Struktur kommt es dabei z.B. beim Technischen Hilfswerk zu Problemen in Fragen der Dienstzeiten für Hauptamtliche, die mit den bereits genannten Dienst- und Ausbildungszeiten der Ehrenamtlichen an Feierabenden und Wochenenden kollidieren. Viele von Hauptamtlichen zu erbringende Sondertätigkeiten – man denke beispielsweise an Rufbereitschaften – führen dazu, dass entweder eine zusätzliche Freizeitabgeltung zu gewähren ist oder Zulagen zu bezahlen sind. All dies ist bei der Verwendung ehrenamtlicher Kräfte kein Thema. Der

Ehrenamtliche fragt in aller Regel nicht, ob es Feierabend, Samstag oder Sonntag ist, wenn er gebraucht wird.

Ganz abgesehen davon würde es bei einer rein berufsmäßigen Ausrichtung der im Bevölkerungsschutz tätigen Organisationen und Einrichtungen wohl unerlässlich werden, qualifizierte Ausbildungsberufe des Katastrophenhelfers oder, für Führungskräfte, des Katastrophenmanagers zu schaffen. Hierbei würden spezielle Ausrichtungen, wie z.B. Brückenbau oder Trinkwasseraufbereitung, aus dem Bereich THW nicht mit abgedeckt, sondern es würden im Ausbildungsgang lediglich die Grundkenntnisse abgedeckt, vermittelt. Den damit verbundenen sachlichen und materiellen Aufwand zur Schaffung von entsprechenden Ausbildungsstätten, die schon allein von der Quantität her in der Lage wären, die zahlenmäßig erforderlichen Mitarbeiter auszubilden, aber auch die Durchführung von Prüfungen und andere Punkte, braucht man nicht eigens zu erwähnen. Eine Umwidmung der vorhandenen Schulungseinrichtungen der Organisationen würde hierzu nicht genügen. Als ganz wesentliches Element für die Gesamtgesellschaft ist darüber hinaus der Umstand anzusehen, dass die Erfahrungen und Motivationmöglichkeiten eines in seiner Freizeit für das Gemeinwohl Tätigen natürlich auch in dessen privates und berufliches Umfeld zurückwirken und ihren Niederschlag finden. Wir stellen immer wieder fest, dass in den meisten Fällen diejenigen, die in ihrem Ehrenamt Hervorragendes leisten, auch in Familie und Beruf zu den Hervorragenden zählen.

Das Ehrenamt – Vernichter von Arbeitsplätzen? Von Fritz Schösser (Vorsitzender DGB Bayern) – Vernichtet das Ehrenamt Arbeitsplätze? Diese Frage scheint so alt zu sein wie ehrenamtliche Arbeit überhaupt. Und Organisationen, die auf ehrenamtliches Engagement angewiesen sind, wie der Deutsche Gewerkschaftsbund oder das Technische Hilfswerk, werden seit Jahren nicht müde, immer wieder darauf hinzuweisen, dass richtig verstandenes Ehrenamt keine Arbeitsplätze auf dem ersten oder zweiten Arbeitsmarkt vernichtet, sondern sogar neue Arbeitsplätze schaffen kann.

Notwendig hierfür ist, dass das Ehrenamt sich auf das begrenzt, was es leisten kann. Es gehört in den letzten Jahren stets zu den Selbstansprüchen und dem Aufgabenverständnis des freiwilligen Sektors, dass wir hauptamtliche, professionelle, soziale Dienste nicht ersetzen können und wollen. Ehrenamtliche oder freiwillige Arbeit kann professionelle Arbeit immer dort nicht ersetzen, wo Art und Schwere der Aufgabe, zeitliche, physische und psychische Anforderungen sowie spezifische Qualifikationen zurück, die sich der Einzelne in der Erwerbsarbeit angeeignet hat. Aber das Ehrenamt darf eben nicht nur „Schwarzarbeit“ werden. Umgekehrt verschafft das Ehrenamt oft erst die Anerkennung und die Zufriedenheit bei der Arbeit, die viele in ihrer Erwerbsarbeit vermissen.

Neu aufgeflammt ist die Diskussion um das Verhältnis von Ehrenamt und Arbeitsmarkt durch die Vorschläge von Ulrich Beck, die dieser beispielsweise im Rahmen des Berichts der Bayerisch-Sächsischen Zukunftskommission gemacht hat. Auf den ersten Blick scheint das, was Beck und andere mit dem Begriff „Bürgerarbeit“ bezeichnen, identisch zu sein mit dem, was wir seit Jahrzehnten „ehrenamtliches Engagement“ oder aber kurz „Ehrenamt“ nennen.

Spätestens hiermit wurde deutlich, dass es den Befürworter der so genannten „Bürgerarbeit“ offenbar wirklich darum geht, auch und gerade in solchen Tätigkeitsfeldern Fuß zu fassen, in denen im Interesse all jener Menschen, die auf soziale Dienste angewiesen sind, ein verlässliches, organisiertes, professionelles Leistungsangebot bestehen muss: zugänglich, dauerhaft, flächen- und bedarfsdeckend. Und damit hat sich Ulrich Beck – später wird noch darauf zurückzukommen sein – nun wirklich meilenweit von dem entfernt, was wir unter dem Begriff des „Ehrenamtes“ verstehen.

Zur ganzen Diskussion um die so genannte „Bürgerarbeit“ ist es notwendig, nochmals einen Blick auf die Entstehungsgeschichte dieses Begriffes zu werfen. Erstmals einem größeren Publikum vorgestellt wurden die Überlegungen von Ulrich Beck unter anderem im Bericht der „Kommission für Zukunftsfragen der Freistaat Bayern und Sachsen“ und zwar im Kapitel „Maßnahmen zur Verbesserung der Beschäftigungslage“. Die Kommission sieht oder sähe unsere Gesellschaft gerne auf dem Weg von einer „arbeitnehmerzentrierten Industriegesellschaft“ zu einer „unternehmerischen Wissensgesellschaft“, in der der einzelne ein höheres Maß an Eigenverantwortung auch für seine Erwerbsarbeit und Daseinsvorsorge übernimmt und deren wichtigster Produktionsfaktor Wissen ist“.

In früheren Zeiten, in denen Arbeit vor allem als Mühsal empfunden wurde, hätte dieser Umstand wohl wenig Verdruss bereitet. Für die Heutigen aber ist Arbeitslosigkeit eine Katastrophe: wirtschaftlich, weil sie ihnen das Einkommen nimmt, sozial, weil unter ihrem Druck die gesellschaftliche Stellung erodiert und physisch, weil sie dem Selbstwertgefühl den Boden entzieht,

Nun ist es freilich nicht so, dass der Arbeitsgesellschaft tatsächlich die Arbeit ausginge. Was ihr knapp wird, ist allenfalls die Erwerbsarbeit, also jene Sorte von Tätigkeiten, die sich mit Aussicht auf Erfolg vermarkten und mit der sich Renditen erzielen lassen. Es war ja schon immer so, dass Vieles, was Mühe macht, unentlohnt blieb: Der riesige Berg der häuslichen Arbeit, die uneigennützig, am Gemeinwohl orientierte Arbeit und schließlich jene Arbeit, die die Menschen auf sich selbst verwenden, um sich, im humanistischen Sinne, zu bilden. Diese Überlegungen scheint nun Beck mit seinem Begriff der „Bürgerarbeit“ aufgenommen zu haben. Einige Bundesländer sind ihm bereits begierig gefolgt und haben erste Modellprojekte zur „Bürgerarbeit“ ins Leben gerufen.

Eine Vermischung von Erwerbsarbeit und Ehrenamt – nichts anders wäre die Einführung der Bürgerarbeit im Sinne der Darlegungen der Zukunftskommission – diene letztlich der Aushöhlung der ehrenamtlichen Arbeit, die für ein demokratisches Gemeinwesen unverzichtbar ist. Nicht Bürgerarbeit und Ehrenamt anstelle von Erwerbsarbeit, sondern die Verbindung von Erwerbsarbeit und Ehrenamt ist unser erstrebenswertes Ziel. Nur wer nicht ausgeschlossen ist von der Teilnahme an Produktion und Verteilung des gesellschaftlichen Reichtums, wird gewillt und in der Lage sein, darüber hinaus auch unentgeltlich für das Gemeinwesen tätig zu werden.

Ehrenamtliche Tätigkeit setzt einen gesicherten Lebensunterhalt voraus! Oder umgekehrt – Menschen ohne gesichertes Einkommen können sich ehrenamtliche Tätigkeiten nicht leisten. Es ist erfreulich, dass die Kommission sich für die gesellschaftliche Anerkennung von ehrenamtlichen Tätigkeiten einsetzen. Die einseitige Fixierung der öffentlichen Wahrnehmung auf Arbeit als Gelderwerb muss überwunden werden. Aber mit dem Ausbau der Bürgerarbeit lässt sich Arbeitslosigkeit nicht reduzieren und der Abbau von sozialstaatlichen Leistungen nicht legitimieren. Für die Anerkennung ehrenamtlichen Engagements gibt es andere und sinnvollere Wege. Und da dieser Beitrag unter dem Gesamtthema „Ehrenamt und Wirtschaft“ steht, sollen zum Abschluss wenigstens stichwortartig noch einige Dinge genannt werden, die der Förderung des Ehrenamtes und der besseren Anerkennung ehrenamtlichen Engagements dienen könnten. Seit dem Regierungswechsel haben wir bereits einiges getan. Als Beispiel seien genannt:

Im Zusammenhang mit dem Ehrenamt wird allzu häufig übersehen und ignoriert, dass ehrenamtliches, soziales Engagement – gleichgültig ob in der Kinder- und Jugendarbeit, in Gewerkschaften oder Wohlfahrtsverbänden oder auch beim THW – soziale Kompetenzen ver-

mittelt, die mittelbar auch dem jeweiligem Arbeitgeber zugute kommen. Übernahme von Verantwortung, die Arbeit im Team, soziale Kompetenz, Kommunikationsfähigkeit und Dialogbereitschaft, nicht zuletzt Konfliktfähigkeit – das sind angeblich die neuen Schlüsselqualifikationen, auf die die Arbeitgeber, zumindest in ihren Sonntagspredigten, so viel Wert legen. Niemand hat so viel Möglichkeiten, diese Schlüsselqualifikationen zu erwerben, wie die vielen Millionen Ehrenamtlichen in den Kirchen, Wohlfahrtsverbänden, den Gewerkschaften oder dem THW.

Es wäre schön, wenn die Arbeitgeber dies auch hin und wieder zu würdigen wüssten zum Beispiel bei Einstellungsgesprächen.

Anmerkung

Abdruck aus dem Jahresbericht 2006 der BA THW und aus „Bevölkerungsschutz im 21. Jahrhundert“ von G. Wittling (Hrsg.) mit deren freundlicher Genehmigung.

Von Wettersystemen zu Extremereignissen: Gefährdungsanalyse über orografisch strukturiertem Gelände

Michael Kunz

Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Universität Karlsruhe (TH) / Forschungszentrum Karlsruhe, 76128 Karlsruhe, Deutschland, E-Mail: michael.kunz@imk.uka.de, Telefon: +49(0)0721/6084225

Kurzfassung

Durch meteorologische Extremereignisse werden jährlich über 100 Mio. € Gebäudeschäden in Baden-Württemberg verursacht, die zu 62% großräumigen synoptischen Wettersystemen und zu 38% lokal-skalige konvektive Wettersystemen zugeordnet werden können. Durch den Einfluss der Orografie können schadenrelevante Wettersysteme wie Winterstürme, synoptisch-skalige Niederschlagssysteme und Gewitterstürme weiterhin verstärkt werden. Dadurch ergibt sich über orografisch strukturierten Gebieten eine hohe räumliche Variabilität der meteorologischen Parameter und der Gefährdung, die nur durch hoch aufgelöste Modellsimulationen wiedergegeben werden können. Es werden zwei Methoden der Gefährdungsabschätzung für Starkniederschläge und Winterstürme über Südwestdeutschland (Baden-Württemberg) vorgestellt, die auf der statistischen Analyse von Beobachtungsdaten und Modellsimulationen basieren.

Stichworte

Naturgefahren, Extremereignisse, Gefährdungsabschätzung, Modellierung, Versicherung

1. Einleitung

Bedingt durch ihre Komplexität in Verbindung mit einer hohen Wertekonzentration sind moderne Industriegesellschaften in zunehmendem Maß verletzbar durch extreme Naturereignissen. Die Skala der schadenrelevanten Wettersysteme reicht dabei von konvektiven Systemen mit einer charakteristischen räumlichen Ausdehnung von 10-50 km, Frontensystemen mit einer Ausdehnung von einigen 100 km und außertropischen Zyklonen mit einer Ausdehnung von bis zu 1000 km. Durch den Einfluss der Orografie können diese Systeme und die damit verbundenen meteorologischen Parameter wie Niederschlag oder Windgeschwindigkeit erheblich verstärkt werden (Barry 1992). So führt beispielsweise die orografisch erzwungene Hebung im Anströmbereich der Berge zu einer Zunahme der Niederschlagssummen während großräumiger Niederschlagsereignisse oder, bei einer bedingt labil geschichteten Atmosphäre, zur Auslösung von Konvektion (Meisner et al. 2007).

Neben der Intensivierung – oder auch Abschwächung – der meteorologischen Ereignisse folgt aus dem Einfluss der Orografie auch eine hohe räumliche Variabilität der Ereignisse. Die Längenskala der horizontalen Variabilität liegt dabei zwischen wenigen hundert Metern und einigen Kilometern. Für eine realistische Wiedergabe der Ereignisse sind daher Beobachtungsdaten oder Modellsimulationen in hoher räumlicher Auflösung bzw. Abdeckung notwendig.

Für die Gefährdungsabschätzung ist eine Stichprobe einzelner Extremereignisse über einen hinreichend langen Zeithorizont notwendig. Diese können sowohl aus Beobachtungsdaten

(z.B. Bartels et al. (1997) für Starkniederschläge oder Kaperski (2002) für Starkwind) als auch mit Hilfe von Modellsimulationen (z.B. Kunz (2003) oder Heneka et al. (2006)) rekonstruiert werden. Dazu werden die gemessenen oder simulierten Extremwerte an einem Punkt einer statistischen Verteilungsfunktion, der so genannten Gefährdungskurve, angepasst. Aus dieser kann dann die entsprechende meteorologische Größe in Abhängigkeit von der statistischen Wiederkehrperiode ermittelt werden.

Es werden zwei verschiedene Ansätze für die Bestimmung der Gefährdung durch großräumige Starkniederschläge und durch Winterstürme vorgestellt. Dabei werden sowohl Messdaten aus verschiedenen Beobachtungssystemen wie auch Modellsimulationen verwendet. Das Beobachtungsgebiet umfasst Baden-Württemberg mit den Mittelgebirgen von Schwarzwald mit einer maximalen Höhe von 1493 m (Feldberg) und Schwäbischer Alb mit einer maximalen Höhe von 1015 m (Lemberg).

2. Schadenerfahrungen durch Naturgefahren in Baden-Württemberg

Durch extreme Wettersysteme werden allein in Baden-Württemberg jährlich Schäden in Höhe von mehreren 100 Mio. € verursacht. Mit Hilfe der Elementarschadendaten der SV Sparkassenversicherung für den Zeitraum 1986-2004 konnten die relevanten meteorologischen Extremereignisse bzw. deren Schadenausmaß rekonstruiert und analysiert werden. Aufgrund der für Baden-Württemberg bis 1994 bestehenden gesetzlichen Versicherungspflicht für private und gewerblich genutzte Gebäude bei gleichzeitiger Monopolstruktur weisen diese Schadendaten eine sehr gute flächenhafte Abdeckung über einen verhältnismäßig langen Zeitraum auf. Aus der Kombination dieser Informationen mit meteorologischen Daten an den verschiedenen SYNOP Wetterstationen im Land konnten die Schadenmuster und Schadenssummen den verschiedenen Wettersystemen zugeordnet werden.

Im betrachteten Zeitraum zwischen 1986 und 2004 waren 42.5% aller Gebäudeschäden durch Winterstürme, 24.3% durch Hagelschlag, 15.5% durch Flusshochwasser, 10.2% durch lokale Überschwemmungen und 3.5% durch lokale Sturmböen verursacht (Abb. 1a). Damit können zusammengefasst knapp 62% der Schäden großräumigen synoptischen Wettersystemen und 38% lokal-skalige konvektive Wettersystemen zugeordnet werden. Die jährlichen Gesamtschadensummen schwanken dabei erheblich mit Werten zwischen 7 Mio. € und über 600 Mio. € (Abb. 1b). Die wesentliche Ursache dieser hohen zeitlichen Variabilität liegt in der Dominanz der Schadenssummen durch einzelne extreme Ereignisse wie beispielsweise die Sturmserie im Dezember 1999 mit den Orkanen Lothar und Martin, die Schäden in Höhe von 526 Mio. € und damit 60.4% der Gesamtschadensumme durch Winterstürme verursachten. Für die Schadenssummen der einzelnen Schadenarten sind also nicht häufig wiederkehrenden kleine und mittlere Ereignisse, sondern extreme Ereignisse mit hohen Wiederkehrperioden bestimmend (Abb. 1c mit der relativen Schadenverteilung als Funktion der Schadentage für Wintersturm und Hagel).

Neben der hohen zeitlichen Variabilität zeigt sich auch eine starke räumliche Variabilität der (relativen) Schadenssummen und Schadenmeldungen sowohl für einzelne Ereignisse als auch im Mittel (Abb. 2 für Wintersturm und Hagelschlag). Grund für diese räumliche Verteilung sind vor allem orografische Einflüsse auf die Strömung, die zu einer Verstärkung oder Abschwächung der atmosphärischen Störungen führen können. Dies wird im nächsten Abschnitt für synoptisch-skalige Wettersysteme diskutiert.

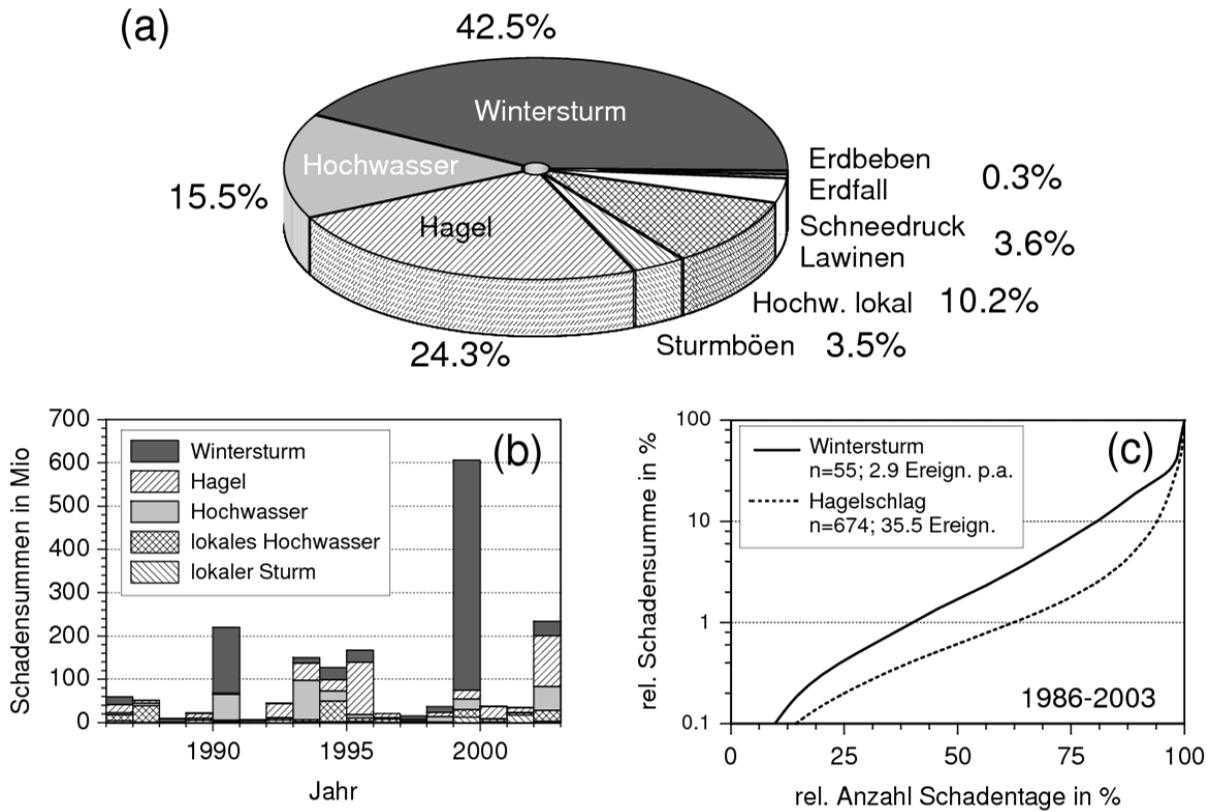


Abbildung 1: Prozentuale Verteilung von Gebäudeschäden nach Elementarschadenart für Baden-Württemberg (a), zeitlicher Verlauf der Schadenssummen (b) und Verteilung der relativen Schadenssummen als Funktion der relativen Gesamtzahl aller Schadentage für Wintersturm und Hagel (c). Datengrundlage: SV-Sparkassenversicherung 1986-2003 (inflationsbereinigt für 2005 und Berücksichtigung des Versicherungsportfolios; nach Kunz und Kottmeier, 2005).

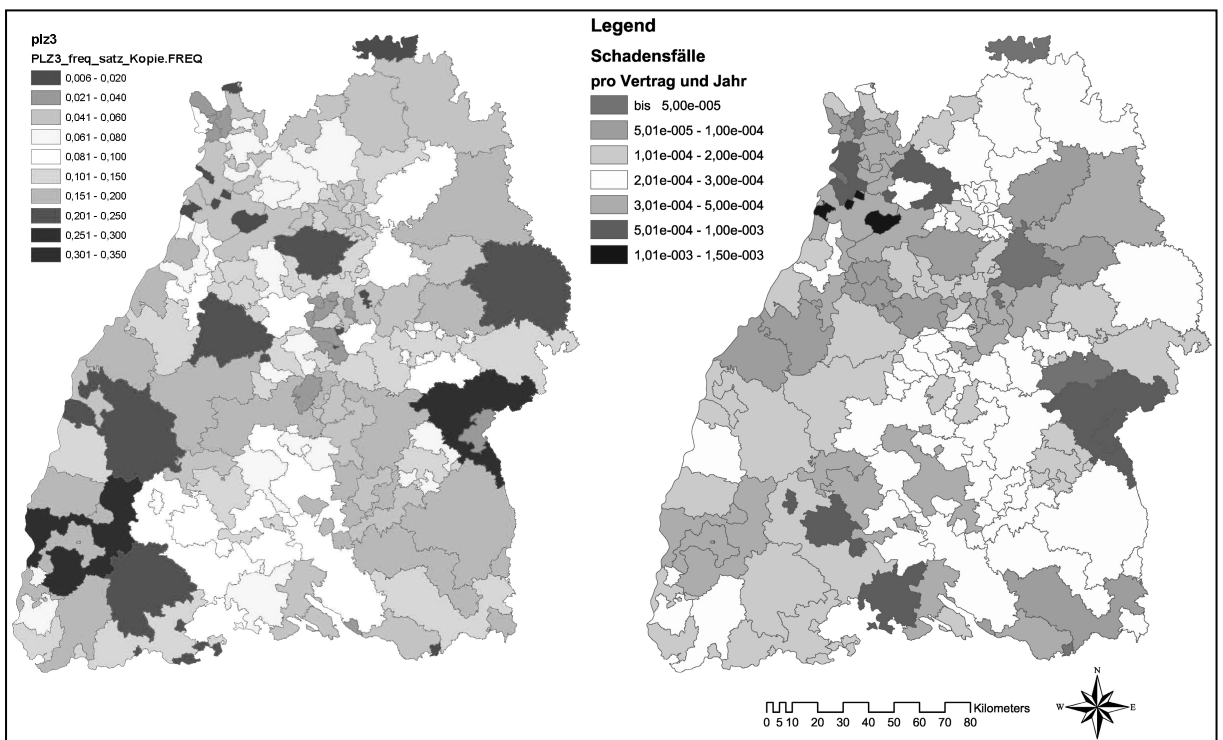


Abbildung 2: Mittlere jährliche Schadenfrequenz (Verhältnis von Schadenmeldungen zu Vertragsanzahl) für 3-stellige Plz-Bereiche von Baden-Württemberg für Wintersturm (links) und Hagelschlag (rechts).

3. Einfluss der Orografie auf die verschiedenen Wettersysteme

Unter dem Einfluss der Orografie können sich verschiedenen Strömungsphänomene und Strömungsregime auf verschiedenen räumlichen und zeitlichen Skalen ausbilden. Maßgeblich sind dabei die Veränderung der vertikalen Impuls- und Wärmeflüsse bei erhöhter Lage des Geländes und die Veränderung der Strömung durch die Geländeform. Im Gegensatz zu den großen Gebirgen wie den Alpen werden über Mittelgebirgen aber keine neuen Wettersysteme generiert, sondern nur bereits vorhandene Störungen in der Atmosphäre weiter amplifiziert.

3.1 Großräumige Niederschläge

Großräumige stratiforme Niederschläge im Bereich einer Warmfront oder im Warmsektor eines Tiefdruckgebiets sind die Folge eines langsamen Aufgleitens feuchter Luftmassen auf geneigten Dichteflächen. Über Bergen kann die orografisch induzierte die synoptisch bedingte Vertikalgeschwindigkeit dominieren und so zu einer erheblichen Niederschlagszunahme führen. Dabei kann bei einzelnen Ereignissen (z.B. Sturmtief Kyrill am 19./20.01.2007) der Niederschlag über den Bergen um einen Faktor von über zehn gegenüber den Tallagen zunehmen. Es ist zu beobachten, dass alle schweren hydrometeorologischen Extremereignisse der Vergangenheit (z.B. Hochwasser Elbe/Donau 2002 oder Iller 2005) durch Niederschlagsverstärkungsmechanismen an Gebirgen verursacht oder ausgelöst wurden.

Für den Fall einer stabilen geschichteten Atmosphäre wird das Verhalten der Strömung neben der Hindernishöhe H und der Hindernisbreite a auch von der Windgeschwindigkeit U_s senkrecht zum Hindernis und der Stabilität in den unteren Schichten, ausgedrückt durch die kommt es zu unterschiedlichen Strömungszuständen. Für $Fr < 1$ dominieren nicht-lineare Wechselwirkungen zwischen Strömung und Orografie mit Umströmung des Hindernisses und Ausbildung eines Stagnationsbereichs vor dem Hindernis. Je nach vertikaler Windscherung können sich horizontal oder vertikal propagierende Schwerewellen ausbilden. Mit zunehmender Froude-Zahl ($Fr > 1$) nähert sich die Strömung einer linearen Beschreibung an und die Störungen begrenzen sich zunehmend auf den Bereich unmittelbar über dem Strömungshindernis.

In diesem Fall kann die orografisch bedingte räumliche Niederschlagsverteilung durch die lineare Strömungstheorie (Smith 1989) in Kombination mit einfachen Parametrisierungsansätzen für die Kondensationsrate bestimmt werden (Smith, 2004; Kunz und Kottmeier, 2006b). Um realistische räumliche Niederschlagsmuster zu erhalten, sind zusätzliche Parametrisierungen für die Niederschlagsdrift und die Evaporation in absinkenden Luftmassen notwendig. All diese Ansätze wurden in einem linearen Niederschlagsmodell mit vereinfachter Mikrophysik zusammengefasst (Kunz und Kottmeier, 2006a). Neben geländespezifischen Parametern wie Steigung, Höhe über NN und Exposition wird die Niederschlagszunahme dabei kontrolliert von der Stabilität der Schichtung, der Windgeschwindigkeit, dem horizontalen Wasserdampffluss und der Wolkenbildungszeit, die wiederum zusammen mit der horizontalen Windgeschwindigkeit die Evaporation von Wolken und Hydrometeoren in Abwindbereichen (z.B. stromab der südlichen Vogesen im Rheintal) bestimmt. Abbildung 3 zeigt als Beispiel die mittleren Niederschlagssummen von 73 ausgewählten unabhängigen Starkniederschlagsereignissen über Südwestdeutschland nach Messungen und Modellsimulationen, jeweils normiert auf eine Dauer von 24 Stunden (Kunz, 2003).

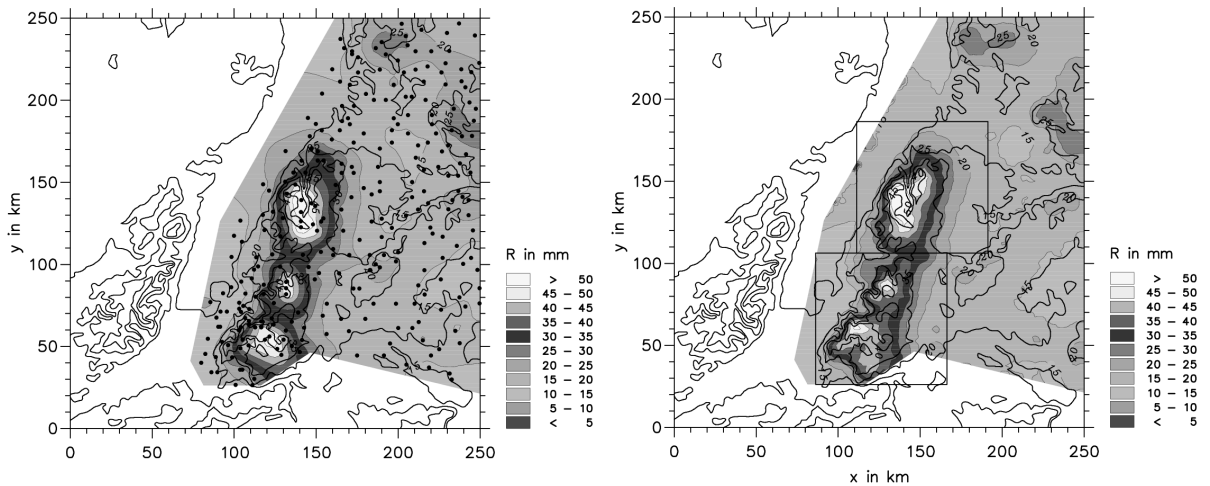


Abbildung 3: Mittlere Niederschlagssummen von 73 ausgewählten Starkniederschlagsereignissen zwischen 1971 und 2000 über Südwestdeutschland normiert auf eine Dauer von 24-h nach Messungen (links) und Modell-simulationen (rechts); Konturen: Höhe über NN im Abstand von 200 m; Modellauflösung: 2.5 km x 2.5 km.

3.2 Winterstürme

Bei Sturmzyklonen mit einer Ausdehnung des Windfelds von mehreren 100 km kommt es zu keiner direkten Wechselwirkung mit den orografischen Strukturen der Mittelgebirge. Die Ablenkung der großräumigen Strömung durch orografische Hindernisse kann aber zu einer erheblichen Verstärkung (oder Abschwächung) der Strömungsgeschwindigkeiten führen. Für das Schadenbild entscheidend sind dabei die turbulenten Geschwindigkeitsstörungen, die innerhalb der atmosphärischen Grenzschicht, d.h. in den untersten ca. 1000 m, der mittleren Strömung überlagert sind. Im lokal-skaligen Bereich sind vor allem Querschnittsverengungen der Stromlinien bei Überströmung der Hindernisse oder Düseneffekte in Tal- und Sattellagen von Bedeutung. Ab einer Geländeneigung von etwa 25° kann es stromab der Hindernisse zu einer Strömungsablösung mit starker Intensivierung der relativen Böengeschwindigkeit kommen. Daneben wird das Windfeld und insbesondere die Böengeschwindigkeit durch Unterschiede in der Rauigkeitslänge über unterschiedlicher Landnutzung bestimmt. Insgesamt führen diese Effekte zu einer starken räumlichen Differenzierung des Windfelds. Für eine annähernd realistische Wiedergabe der Windfelder müssen daher die wichtigsten Strömungseffekte auf der lokalen Skala berücksichtigt werden. Dafür sind Modellsimulationen in hoher räumlicher Auflösung notwendig. Abbildung 4 zeigt beispielhaft das Windfeld eines Orkans am 27. Februar 1990 nach ERA-40 Reanalysen des Europäischen Zentrums für Mittelfristvorhersagen (ECMWF) mit einer Auflösung von $2.5^\circ \times 2.5^\circ$ und nach Simulationen mit dem Karlsruher Mesoskaligen Modell KAMM bei einer räumlichen Auflösung von 1 km x 1 km. Während das Windfeld in den ERA-40 Reanalysen nicht nur wegen der Höhenfläche außerhalb der Grenzschicht, sondern auch wegen der nicht aufgelösten Orografie annähernd glatt erscheint, zeigen sich eine Vielzahl orografisch verursachter Strukturen in der KAMM Simulation wie die markante Strömungsüberhöhung über den Bergkämmen.

4. Gefährdungsanalyse

Der Zusammenhang zwischen den meteorologischen Größen wie Windgeschwindigkeit oder Niederschlagssumme und deren Eintrittswahrscheinlichkeit ist als Bemessungsgrundlage oder für die Abschätzung des damit verbundenen Risikos bei zusätzlicher Berücksichtigung der Vulnerabilität in hoher räumlicher Auflösung notwendig. Diese Informationen können aus

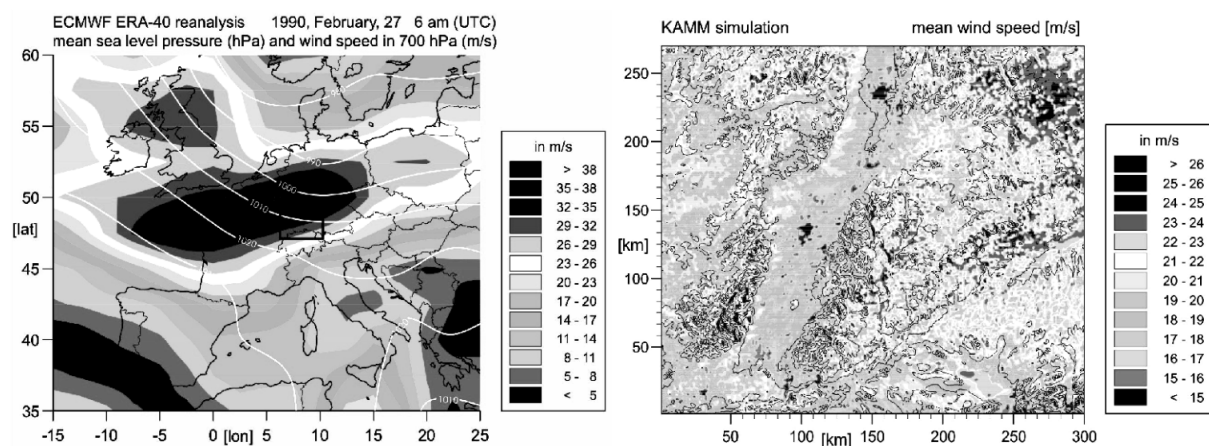


Abbildung 4: Windfeld am 27. Februar 1990 nach ERA-40 Reanalysen in einer Höhe von 500 hPa (5500 m NN) und nach KAMM-Simulationen mit einer räumlichen Auflösung von 1 km x 1 km.

einzelnen Punktmessungen abgeleitet werden, wobei dafür homogene Messreihen bei möglichst hoher räumlicher Dichte der Stationen notwendig sind. Zusätzlich müssen die Punktmessungen unter Verwendung mehr oder weniger komplexer Regionalisierungsverfahren auf die Fläche übertragen werden. Eine zweite Möglichkeit besteht darin, aus einer Stichprobe der stärksten Ereignisse Simulationen mit einem numerischen Modell durchzuführen und mittels Extremwertstatistik Gefährdungskurven für jeden einzelnen Gitterpunkt im Modellgebiet zu bestimmen.

4.1 Gefährdungsabschätzungen durch großräumige Starkniederschläge

Besonders in höher gelegenen Regionen auf der Anströmseite der Berge, wo die Niederschläge in der Regel ihr Maximum erreichen, ist die Dichte der Messnetze oftmals nicht ausreichend, um die Niederschlagsfelder detailliert in ihrer flächenhaften Ausdehnung abzubilden. Daher wurden Modellsimulationen von einzelnen Starkniederschlagsereignissen mit dem linearen Niederschlagsmodell in einer Auflösung von 2.5 km x 2.5 km als Grundlage für die Gefährdungsabschätzung verwendet. Ausgewählt wurden alle Ereignisse zwischen 1971 und 2000, bei denen ein Schwellenwert von 60 mm in 24 h an den SYNOP-Stationen des DWD überschritten wurde. Die insgesamt 73 unabhängigen Starkniederschlagsereignisse mit einer Anströmrichtung zwischen Südwest und Nordwest wurden mit dem linearen Niederschlagsmodell simuliert und durch Messdaten verifiziert. Der Hindergrundniederschlag durch die großräumige synoptische Hebung, der dem orografisch bedingten Niederschlag linear überlagert ist, wurde aus den Niederschlagsmessungen abgeschätzt und den Simulationen hinzu geschlagen.

Für jeden Gitterpunkt wurde aus der partiellen Serie der 73 Ereignisse anschließend eine Verteilungsfunktion (hier: Exponentialverteilung) durch Bestimmung der freien Verteilungsparameter angepasst. Dieses Vorgehen ist in Abbildung 5 dargestellt. Aus der angepassten Exponentialverteilung mit den geschätzten Verteilungsparametern u und w kann durch Interpolation bzw. Extrapolation die Niederschlagssumme für eine zugehörige statistische Wiederkehrperiode geschätzt werden. Als Beispiel sind die Niederschlagssummen für eine Wiederkehrperiode von 50 Jahren über Süddeutschland und Ostfrankreich dargestellt. Diese Niederschlagssummen werden statistisch betrachtet einmal innerhalb von 50 Jahren erreicht oder überschritten. Dabei liegen die Summen im Rheintal und über den flachen Landesteilen unter 40 mm, während sie im Schwarzwald Werte von über 165 mm in 24 h erreichen.

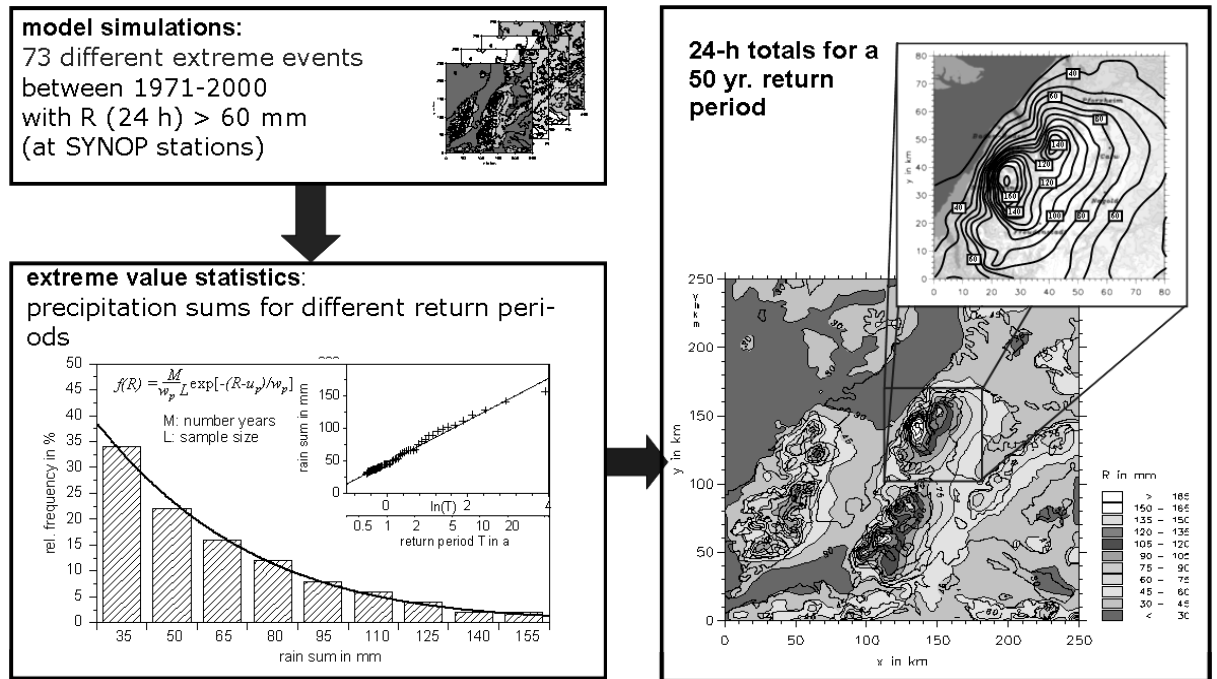


Abbildung 5: Bestimmung der Niederschlagssummen als Funktion der Wiederkehrperiode auf der Grundlage einer Stichprobe von Starkniederschlagsereignissen und Niederschlagssummen für eine Wiederkehrperiode von 50 Jahren mit einem Ausschnitt für den Nordschwarzwald.

4.2 Gefährdungsabschätzung durch Winterstürme

Die Gefährdungsabschätzung für Winterstürme basiert auf prinzipiell ähnlichen Ansätzen wie die für Starkniederschläge (Heneka et al., 2006). Für den Zeitraum 1971 bis 2000 wurden durch Vergleich der Böengeschwindigkeiten an verschiedenen Messstationen die Häufigkeiten und Intensitäten der Winterstürme im Untersuchungsgebiet identifiziert. Für jedes Jahr wurde der stärkste Wintersturm unter Berücksichtigung der räumlichen Ausdehnung des Windfelds ausgewählt (jährliche Serie). In allen Fällen lag dabei die Anströmrichtung zwischen Nordwest und Südwest. Von allen 30 ausgewählten Starkwindereignissen wurden Simulationen mit dem numerischen Modell KAMM in einer

räumlichen Auflösung von 1 km x 1 km durchgeführt. Initialisiert und angetrieben wurde das Modell KAMM mit Daten des globalen Reanalysemodells ERA-40 des ECMWF. Die einzelnen Ereignisse werden dabei, ähnlich wie bei den Niederschlagssimulationen, als räumlich stationäre Felder zum Zeitpunkt der höchsten Windgeschwindigkeit wiedergegeben. Durch Anwendung der Nudging-Technik werden Modellwindfelder abgeleitet, die nahe an den Beobachtungen der Messstationen liegen. Da die Modellwindfelder nur mittlere Windgeschwindigkeiten liefern, wurden die für Sturmschäden relevanten Böengeschwindigkeiten durch empirische multiplikative Böenfaktoren in Abhängigkeit von der an den jeweiligen Gitterpunkten vorherrschenden Geländerauigkeit bestimmt.

Auf der Grundlage der so bestimmten jährlichen Serie der Sturmereignisse mit den 30 stärksten Ereignissen pro Jahr wurde für jeden Gitterpunkt eine Extremwertverteilung, in diesem Fall eine Gumbel-Verteilung, angepasst. Aus dieser Verteilungsfunktion, der Windgefährdungskurve, kann anschließend die Windgeschwindigkeit für bestimmte Jährlichkeiten bestimmt werden. Wie erwartet erreichen die Windgeschwindigkeiten für eine bestimmte statistische Wiederkehrperiode auf den Bergen (z.B. Klippeneck) weit höhere Werte im Vergleich zu Tallagen (z.B. Öhringen Abb. 6, links).

Die Gefährdungskarte (Abb.6, rechts) schließlich zeigt die räumliche Verteilung der Böengeschwindigkeit für eine statistische Wiederkehrperiode von 50 Jahren. Gebiete mit sehr hohen Windgeschwindigkeiten finden sich über den Mittelgebirgen und insbesondere im Bereich der Kammlagen mit Werten bis über 50 m/s (=180 km/h). Die geringsten Geschwindigkeiten mit Werten unter 28 m/s (=101 km/h) werden in den abgeschatteten Tälern des Schwarzwalds erwartet.

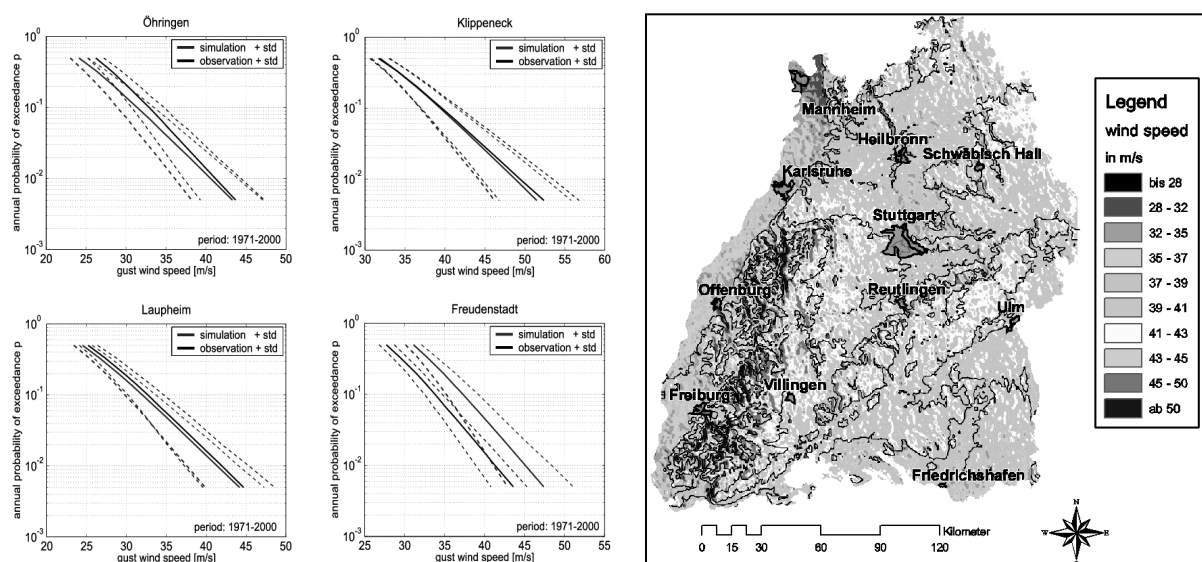


Abbildung 6: Böengeschwindigkeit als Funktion der jährlichen Überschreitungswahrscheinlichkeit (inverse Wiederkehrperiode) für die Punkte Öhringen und Klippeneck nach Beobachtungen und Modellsimulationen (links). Maximale Böengeschwindigkeit in Baden-Württemberg bei einer statistischen Wiederkehrperiode von 50 Jahren (rechts).

5. Schlussbemerkungen

Durch den Einfluss der Orografie auf verschiedenen räumlichen Skalen können schadenrelevante Wettersysteme wie Orkane, Frontensysteme oder Gewitterstürme maßgeblich verstärkt werden. Dadurch ergibt sich eine starke räumliche Strukturierung der Ereignisse, die prinzipiell von hoch aufgelösten Modellsimulationen wiedergegeben werden kann.

Im Fall von großräumigen Starkniederschlägen zeigt sich vor allem über dem Schwarzwald eine massive Zunahme der Niederschlagssummen, je nach Ereignis um einen Faktor zwischen 2 und 10, im Mittel von 2.5. Durch die räumliche Trennung zwischen Niederschlag und Überschwemmung in den Flusstälern kann hier allerdings kein direkter Vergleich zu den Schadendaten vorgenommen werden.

Dies ist anders bei Winterstürmen, bei denen Schadenursache und Schadenauswirkung räumlich zusammen fallen. Prinzipiell ergibt sich bis zu einer oberen Grenze eine Proportionalität zwischen Windgeschwindigkeit und Schäden. Der Vergleich zwischen den klimatologischen Starkwindfeldern und den Schadendaten der SV-Gebäudeversicherung zeigt daher auch eine generelle Übereinstimmung vor allem im Bereich des Schwarzwalds. Allerdings muss bei den Schadendaten berücksichtigt werden, dass in Gebieten mit einer höheren Auftretenswahrscheinlichkeit von Sturmereignissen in der Regel aufgrund von Erfahrungswerten die Bauweise massiver und weniger sturmanfällig ist.

Insgesamt zeigen die verschiedenen Auswertungen und Ansätze grundsätzlich eine starke räumliche Strukturierung der meteorologischen Auswirkungen von Extremereignissen und der Schadenerfahrungen. Unter Berücksichtigung dieser Informationen ist es prinzipiell möglich und sinnvoll, durch angepasste Präktivmaßnahmen in besonders gefährdeten Gebieten potentielle Schäden zu vermeiden oder zu vermindern.

Anmerkungen und Danksagung

Die hier vorgestellten Arbeiten sind aus verschiedenen Projekten der Arbeitsgruppe „Wettersysteme: Modellierung und Gefährdungsanalyse“ des Instituts für Meteorologie und Klimaforschung zusammengestellt. Der Dank gilt Thomas Hofherr (Risikokarte Deutschland für Winterstürme, CEDIM) Oliver Weber, Susanna Mohr und Heike Konow (Seminararbeiten zu Schadendaten der SV-Versicherung); den Herren Herber und Dieterle (SV Sparkassenversicherung) für die Bereitstellung der Versicherungsdaten im Rahmen des Projekts KLARA des Landes Baden-Württemberg sowie dem „Graduiertenkolleg Naturkatastrophen“ der Universität Karlsruhe (TH) und der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die Unterstützung der Arbeiten des Autors zu Starkniederschlägen. Eine Zusammenstellung der aktuellen Projekte der Arbeitsgruppe findet sich unter <http://www.imk.uni-karlsruhe.de/683.php>.

Literaturverzeichnis

- Barry R.G. (1992) Mountain Weather and Climate. - 402 S., Routledge, New York.
- Bartels H., Malitz G., Asmus S., Albrecht F.M., Dietzer B., Guenther T., Ertel H. (1997) Starkniederschlagshöhen für Deutschland - 29 S., KOSTRA. Deutscher Wetterdienst, Offenbach a. M.
- Heneka P., Hofherr T., Ruck B., Kottmeier Ch. (2006) Winter storm risk of residential structures – model development and application to the German state of Baden-Württemberg. - Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 6: 721-733.
- Meissner C., Kalthoff N., Kunz M., Adrian G. (2007) Initiation of shallow convection in the Black Forest Mountains. - J. Atmos. Research. DOI: 10.1016/j.atmosres.2007.03.003
- Kaperski M. (2002) A new wind zone map of Germany. - J. Wind Eng. Ind. Aerod. 90: 1271-1287.
- Konow, H. (2007) Häufigkeiten und Schadenssummen konvektiver Ereignisse in Baden-Württemberg. Seminararbeit am Inst. f. Meteorologie u. Klimaforschung, Universität Karlsruhe (TH), 56 S.
- Kunz M. (2003) Simulation von Starkniederschlägen mit langer Andauer über Mittelgebirgen. Dissertation. Wiss. Berichte d. Instituts für Meteorologie und Klimaforschung der Universität Karlsruhe Nr. 31, 170 S.
- Kunz M., Kottmeier Ch. (2005) Meteorologische Ereignisse mit großem Schadenspotenzial. - In: Stock M. (Editor) KLARA – Klimawandel, Auswirkungen, Risiken, Anpassung. PIK Report 99: 161-172.
- Kunz M., Kottmeier Ch. (2006) Orographic enhancement of precipitation over low mountain ranges, Part I: Model formulation. - J. Appl. Meteor. Climatol. 1: 1025-1040.
- Kunz M., Kottmeier Ch. (2006) Orographic enhancement of precipitation over low mountain ranges, Part II: Simulations of heavy precipitation events. - J. Appl. Meteor. Climatol. 1: 1041-1055.
- Mohr S. (2006) Häufigkeit von Winterstürmen in Baden-Württemberg und ihre Schadenssummen. Seminararbeit am Inst. f. Meteorologie u. Klimaforschung, Universität Karlsruhe (TH), 73 S.
- Smith R.B. (1979) The influence of mountains on the atmosphere. - Adv. Geophys. 21: 87-230.
- Smith R.B., Barstod I. (2004) A linear theory of orographic precipitation. - J. Atmos. Sci. 61: 1377-1391.
- Weber O. (2006) Analyse von Hagelereignissen in Baden-Württemberg anhand von Daten der SV Sparkassen-Versicherung. Seminararbeit am Inst. f. Meteorologie u. Klimaforschung, Universität Karlsruhe (TH), 39 S.

Aktivitäten der Infoterra GmbH: Risikomanagement-Anwendungen und TerraSAR-X

Marc Müller

Infoterra GmbH, 88039 Friedrichshafen, Deutschland, E-Mail: marc.mueller@infoterra-global.com, Telefon: +49(0)7545/88439

Kurzfassung

Der Beitrag gibt einen Einblick in die Aktivitäten der Infoterra GmbH im Themenfeld Risikomanagement bei Hochwasserereignissen. Dazu werden Geoinformationsdienste vorgestellt, die im Rahmen der Projekte RISK-EOS und PREVIEW in enger Abstimmung mit Entscheidungsträgern und Nutzern entwickelt wurden. Im zweiten Teil des Beitrags wird auf den Radarsatelliten TerraSAR-X eingegangen, dessen Start für den Sommer 2007 geplant ist. Die aus diesen Daten abgeleiteten Geoinformationsprodukte und Anwendungsmöglichkeiten eröffnen nicht nur für das Katastrophenmanagement völlig neue Wege.

Stichworte

Fernerkundung, Geoinformation, GMES, PREVIEW, RISK-EOS, Risikomanagement, TerraSAR-X, Hochwasser

1. Einleitung

„Global Monitoring for Environment and Security“ (GMES) ist eine gemeinsame Initiative der Europäischen Kommission (EC) und der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) mit dem Ziel, aus europäischer Sicht eigenständige, auf Erdbeobachtungsdaten basierende operationelle Dienste zu etablieren, die dauerhaft wertvolle Geoinformationen zur Unterstützung der Entscheidungsfindung verfügbar machen. In Bezug auf das Risikomanagement werden dazu sämtliche Phasen (Vorsorge, Vorwarnung, Krisenbewältigung und Nachsorge) in einem konsistenten und harmonisierten Ansatz behandelt, um den Austausch der Informationen zwischen den für die Bereitstellung der Dienste zuständigen Institutionen sowie den Entscheidungsträgern zu erleichtern.

Zur Implementierung der GMES-Dienste werden von der EC und der ESA verschiedene Projekte gefördert, die die Vorgabe haben, Dienste zu entwickeln, die ab 2008 operationell, das heißt routinemäßig, eingesetzt werden können. Zu diesen Projekten zählen das von der EC geförderte Projekt PREVIEW¹ sowie das von der ESA geförderte Projekt RISK-EOS². An beiden Projekten ist die Infoterra GmbH maßgeblich beteiligt. Der Schwerpunkt der Entwicklung von Geoinformationsdiensten liegt dabei jeweils im Themenbereich Risikomanagement bei Hochwasserereignissen.

Weitere Möglichkeiten der Entwicklung von Geoinformationsdiensten und -produkten werden sich nach dem für den im Sommer 2007 geplanten Start des deutschen Radarsatelliten TerraSAR-X ergeben. Die Infoterra GmbH besitzt die alleinigen Rechte an der kommerziellen Vermarktung dieser Daten und den daraus erstellten Standardbildprodukten (s. u.). Das bereits bestehende TerraSAR-X-Portfolio lässt sich in die Gruppen „Standardbildprodukte“, „ver-

edelte Bildprodukte“ und „Geoinformationsprodukte“ unterteilen. Diese Produktgruppen sind sowohl für Basisanwendungen als auch für thematische Anwendungen geeignet.

2. Risikomanagement-Anwendungen bei Hochwasserereignissen

Hochwasser gehören zu den häufigsten Naturkatastrophen in Europa: zwischen 1997 und 2004 ereigneten sich weit über 100 größere Überschwemmungen. Besonders verheerende Auswirkungen hatten die Hochwasser an der Oder (1997), am Oberlauf der Elbe (2002) und in der Alpenregion (2005). Auch bei weniger spektakulären Überflutungsereignissen erleiden die betroffenen Regionen bedeutende soziale, ökologische und wirtschaftliche Schäden. Hochwasser sind natürliche Ereignisse und aufgrund komplexer Wirkungszusammenhänge nicht vermeidbar. Trotz der in Deutschland traditionell vorhandenen Hochwasservorsorge sind gerade bei extremen Wetterereignissen erhebliche Risiken gegeben. Aufgabe des Hochwasser-Risikomanagements ist die Minimierung von Schadens- und Gefährdungspotentialen durch Vorsorge, Vorwarnung, Krisenbewältigung und Nachsorge. Geoinformationsdienstleistungen stellen in all diesen vier Phasen wichtige Informationsquellen dar und unterstützen die beteiligten Stellen bei der Entscheidungsfindung. Die Nutzergruppe umfasst somit Institutionen auf allen Ebenen: von lokalen Einsatzleitern bis hin zu europäischen Behörden, die im Hochwassermanagement, im Katastrophenschutz oder in der Raumplanung aktiv sind.

2.1 Das Projekt RISK-EOS

Im Rahmen des Projektes RISK-EOS wurde ein europaweites Netzwerk von Dienstleistungsanbietern aufgebaut, das mit Hilfe verschiedener Geoinformationen sämtliche Phasen des Risikomanagements (s. o.) bei Hochwasser und Waldbränden unterstützt. Dazu wurden Informationen aus Satellitenbilddaten mit in situ-Daten und Modelltechniken verbunden. Mit der Entwicklung und Qualifizierung der Dienstleistungen wurde in Frankreich, Deutschland, Italien, Spanien und Schweden bereits 2003 begonnen; in der jetzigen zweiten Phase sind die Slowakei und Bulgarien als weitere Partner hinzugekommen. Eine Ausdehnung auf weitere Partnerländer ist in Vorbereitung. Alle Dienstleistungen werden in enger Abstimmung mit den Nutzern weiterentwickelt und validiert mit dem Ziel, daß nur entsprechend verifizierte Dienstleistungen mit in das Portofolio aufgenommen werden. Einen Überblick zur Einbindung des Nutzers in den Validierungsprozess gibt Abbildung 1. Ein erfolgreiches Beispiel für einen

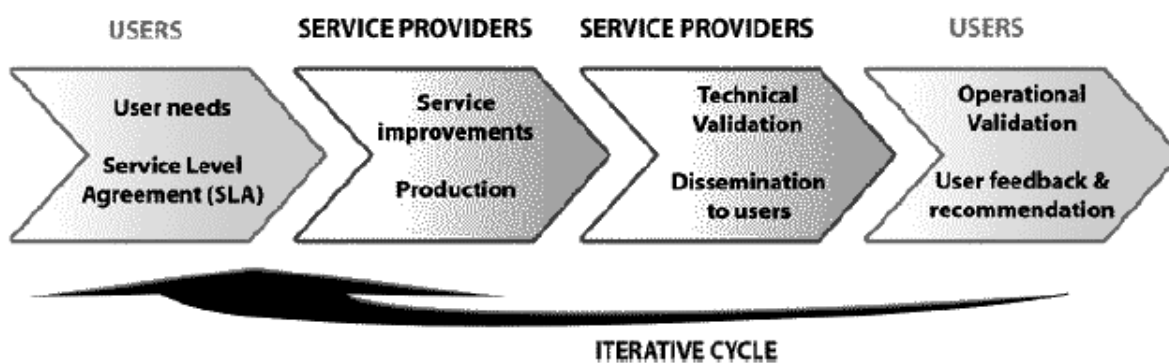


Abbildung 1: Einbindung der Nutzer in den Validierungsprozess. Nur durch ein iteratives Verfahren und das ausführliche Testen der Produkte innerhalb der normalen Arbeitsprozesse können Risikomanagement-Dienstleistungen erstellt werden, die auch im Katastrophenfall Verwendung finden (Quelle: <http://www.risk-eos.com>).

auf dieser Grundlage entwickelten Dienst stellt die von der Infoterra GmbH und Partnern entwickelte Hochwasser-Risikoanalyse (Flood Risk Analysis, s. Kap. 2.1.1) dar.

2.1.1 Dienste für das Hochwasser-Risikomanagement

Die Service-Elemente der Hochwasser-Risikoanalyse lassen sich wie folgt skizzieren:

- Kartierung von Überschwemmungsereignissen

Auf der Grundlage von Luft- oder Satellitenbildern sowie gegebenenfalls historischen Karten werden Überschwemmungsgebiete früherer Hochwasser kartiert. Diese Karten geben Ausdehnung, Höchststände, Dauer und Häufigkeit der Überschwemmungen wieder. Der Nutzen solcher Kartierungen liegt nicht allein in der Dokumentation und der Analyse. Auch für die Gegenwart und die Zukunft sind die Karten relevant, da sie das Risikobewusstsein unterstützen, Rückschlüsse auf das Gefahrenpotential in einer Region zulassen und somit eine objektive Gefahreinschätzung ermöglichen.

- Gefahrenhinweiskarten

Gefahrenhinweiskarten basieren auf Simulationen mit Hilfe hydrologischer Modellierungen, die mit einer GIS-Software gekoppelt sind. Die konkreten Bemessungsereignisse werden mit den Nutzern gemeinsam definiert, meist wird ein HQ100 oder ein größeres Wiederkehrintervall simuliert. Ergänzend werden Simulationen mit Deichversagen durchgeführt. Gefahrenhinweiskarten liefern – je nach Nutzerspezifizierung – eine Vielzahl an Informationen zu Überschwemmungsbereichen, überschwemmungsgefährdeten Bereichen, Schadenpotentialen, Sonderrisiken, Fließgeschwindigkeiten, Fließrichtungen, Deichbruchszenarien und historischen Ereignissen. Mit diesem Informationsgehalt dienen Gefahrenhinweiskarten als Grundlage für Raumplanung und Katastrophenschutz und können somit die Wirkung von Schutzmaßnahmen sowie das Restrisiko verdeutlichen.

- Berechnung von Schadenspotentialen

Schadenspotentialkarten zeigen die durch Hochwasser verursachten wirtschaftlichen Verluste, indem sie die räumliche Verteilung von unterschiedlichen Schadenspotentialen visualisieren. Diese Karten können für tatsächliche oder für potentielle Schäden erstellt werden. Die Berechnung erfolgt durch Zusammenführung der Überschwemmungskartierung mit Landnutzungsinformationen. Statistische Daten über sozioökonomische Verhältnisse und Infrastruktur gehen als Träger der monetären Information in die Bewertung mit ein.

- Hochwasser-Informationssystem

Ein internetbasiertes Hochwasser-Informationssystem bündelt eine Vielzahl von Informationsebenen. Dazu zählen zum Beispiel historische Karten, Satellitenbilder vergangener oder aktueller Hochwasser, Gefahrenhinweiskarten und Schadenspotentialkarten. Das System erlaubt einen schnellen und unkomplizierten Zugriff und sichert Entscheidungsträgern somit einen wertvollen Informationsvorsprung. Für Behörden ist das System ein wichtiges Managementwerkzeug, unter anderem zur Erfüllung von Berichtspflichten gegenüber der EU. Zudem bietet es der Bevölkerung eine allgemein zugängliche Informationsplattform. Alle Dienste basieren auf Nutzerdaten und gewährleisten somit, dass die spezifischen Problemstellungen der Nutzer effizient adressiert werden. Der alltägliche Einsatz und die Integration der Dienste in nutzereigene Systeme und Modelle werden durch entsprechendes Training und Schulungen durch die Dienstleister gewährleistet.

2.1.2 Nutzeranforderungen

Die Analyse der Nutzerbefragung ergaben hohe Anforderungen an die Genauigkeit (räumliche Auflösung sowie Zuverlässigkeit der Ergebnisse) als auch an die schnelle Verfügbarkeit der gewünschten Geoinformation. Das Verfahren der Fernerkundung bietet die Möglichkeit, schnell einen flächenhaften Überblick eines Ereignisses zu geben. Eine Bereitstellung im Katastrophenfall kann jedoch nur gelingen, wenn die gesamte Produktionskette etabliert ist (inkl. Finanzierung und Nutzungsrechte). Durch die Integration von Zusatzinformationen und Modellkopplung läßt sich vielfach der Detaillierungsgrad erhöhen. Ebenso können Fernerkundungsdaten durch wertvolle Zusatzinformationen wie z. B. Überflutungstiefe bzw. Fließrichtung angereichert werden. Die Angebotspalette umfaßt hier folgende Produktionsstufen: 1) Satellitenbild, 2) klassifizierte Satellitenbildkarte (überschwemmte Flächen) mit abgestimmter Kartographie, 3) Ergänzung durch Zusatzinformationen wie Fliesstiefe/-richtung aus der Modellkopplung und 4) Überlagerung mit Landnutzungsdaten und Errechnung von Schadenpotentialen für aktuelle Ereignisse. Die Bereitstellung der Ergebnisse erfolgt je nach Anforderungen des Nutzers in digitaler oder analoger Form. Für das Katastrophenmanagement ist die Verwendung robuster und leicht zu bedienender Modelle eine wichtige Voraussetzung. Im Rahmen von RISK-EOS wird für die Modellierung der Überflutungsflächen z. B. das in ArcGIS integrierte rasterbasierte Modell FloodArea eingesetzt (Assmann 2005, Assmann & Jäger 2003, Assmann & Ruiz Rodriguez 2002).

2.1.3 Ausblick

Ergänzende Dienste werden aktuell in dem eher forschungsorientierten Projekt PREVIEW entwickelt (s. Kap. 2.2). Diese werden nach dem Praxistest die bestehende Produktpalette ergänzen.

2.2 Das Projekt PREVIEW

Im Rahmen des Projektes PREVIEW werden operative GMES-Dienstleistungen zur Unterstützung des europäischen Katastrophenschutzes und der zuständigen lokalen und regionalen Behörden definiert, entwickelt und deren operationelle Machbarkeit demonstriert. Unter der Beteiligung von 58 europäischen Partnern aus 15 Ländern – darunter Vertreter von Nutzerorganisationen, wissenschaftlichen Einrichtungen und aus der Industrie – werden die Risikofelder Waldbrand, Hochwasser, Sturm, Erdbeben und Vulkanismus sowie Industrierisiken thematisiert. In Bezug auf die Naturgefahr Hochwasser wird in Deutschland unter Koordination der Bundesanstalt für Gewässerkunde und der Infoterra GmbH das Thema „Kurzfristvorhersage und Hochwasserrisikomanagement“ abgedeckt (vgl. Krahe et al., 2006).

2.2.1 Kurzfristvorhersage und Hochwasserrisikomanagement

In diesem Themenbereich arbeiten sieben Projektpartner mit dem Ziel, am Beispiel des bayrischen Donauebietes einen Prototyp zu entwickeln, der wesentliche Komponenten eines integrierten Hochwasserrisikomanagements für die in dieser Region typischen Hochwasserereignisse enthält. Neben Aspekten der hydrometeorologischen und hydrologischen Vorhersage sind die für das Risikomanagement wichtigen Komponenten der Gefahrenkarten ebenso wie eine rasche Bereitstellung der aktuellen Ausdehnung der überfluteten Flächen und der davon betroffenen Infrastruktur von besonderer Bedeutung. Bei den Vorhersagediensten soll insbesondere der Aspekt der Quantifizierung der Unsicherheiten unter Berücksichtigung der Fort-

pflanzung der Fehler in der für die Vorhersage eingesetzten Modellkette betrachtet werden. Die bestimmten Unsicherheiten sollen dann entsprechend nutzerfreundlich aufbereitet werden, um sie im Rahmen der Entscheidungsfindungen, die von den Betroffenen auf den verschiedensten Ebenen während eines Hochwassers getroffen werden müssen, einzusetzen. Damit wird auch eine Verlängerung des Vorhersagezeitraumes von derzeit einigen Stunden auf bis zu zwei bis drei Tage angestrebt.

2.2.2 Nutzeranforderungen und Portfolio der Dienste

Als ein erstes Ergebnis im Sinne der GMES-Anforderungen wurden fünf Dienste und korrelierende Produkte definiert, die zusammen mit einem Fragenkatalog im Rahmen von Interviews potentiellen Endnutzern vorgestellt und diskutiert wurden. Die hierbei gewonnenen Erkenntnisse flossen wiederum in eine Verfeinerung der Dienste und der Produktbeschreibungen ein. Die daraus resultierenden fünf Teildienste werden im Folgenden vorgestellt (Abb. 2).

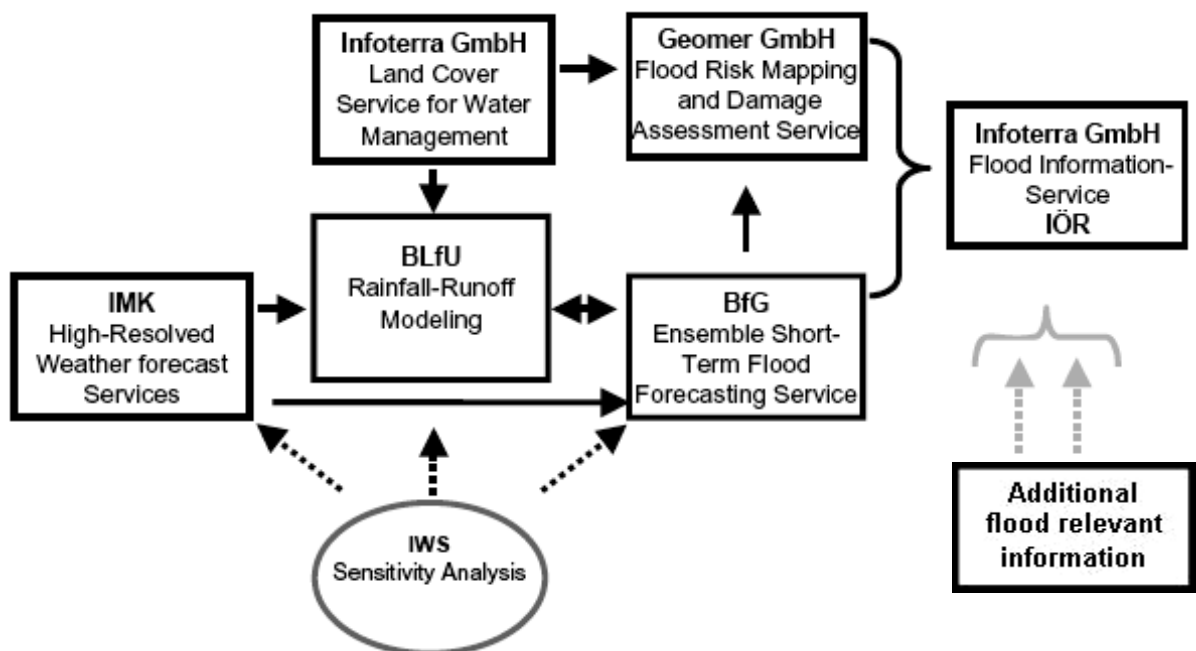


Abbildung 2: Übersicht des Dienstportfolios im Teilprojekt „Kurzfristvorhersage und Hochwasserrisikomanagement“ im Rahmen des Projektes PREVIEW.

2.2.3 Hochauflösender Wettersvorhersagedienst

Für eine präzisere Bestimmung von Niederschlagsfeldern werden räumlich und zeitlich hochauflösende Niederschlagsdaten mit Hilfe von sogenannten genesteten Simulationen des neu entwickelten Lokalmodells Kürzestfrist (LMK) des Deutschen Wetterdienstes (DWD) abgeleitet. Als höchste räumliche Auflösung wird ein 1 km x 1 km Raster angestrebt. Ebenso wird geprüft, inwieweit mit einer LMK-Ensemble-Vorhersage in dem angestrebten Vorhersagezeitraum (bis zu drei Tagen) Verbesserungen bezüglich der Quantifizierung der Unsicherheiten bei der Niederschlagsvorhersage zu erzielen sind.

2.2.4 Ensemble Kurzfrist-Hochwasservorhersagedienst

Hierfür wird ein hydrometeorologischer Präprozessor entwickelt, der es erlaubt, die hydrometeorologischen Beobachtungswerte sowie die aus verschiedenen Quellen stammenden hydro-meteorologischen Vorhersagedaten unter Berücksichtigung ihrer Fehlercharakteristik in Eingangsdaten für die hydrologischen Vorhersagemodelle umzuwandeln. Diese Daten finden zunächst Anwendung in der N-A-Modellierung, müssen dann aber auch entsprechend bei der Wellenablaufmodellierung in der Donau beachtet werden. Weiterhin wird eine Reduzierung der auf die hydrologische Modellierung zurückzuführenden Unsicherheiten über eine Verfeinerung des bestehenden N-A-Modells unter Berücksichtigung der im Rahmen des Projektes bereitgestellten Landnutzungsdaten angestrebt. Das Ergebnis dieses Vorhersagedienstes wird letztlich zu probabilistischen Vorhersagen führen, die die verschiedenen Fehlerquellen wie Eingangsdaten, mathematische Beschreibung der maßgeblichen Prozesse sowie der oft nur durch unzureichende Meßdaten erfaßten Anfangs- und Randbedingungen der jeweils eingesetzten Modelle berücksichtigen.

2.2.5 Landnutzungs-/Landbedeckungsinformation aus Fernerkundungsdaten

Für die Anwendung in hydrologischen Modellen sowie bei der Berechnung von Schadenspotentialen in Überflutungsräumen werden aus hochauflösenden Satellitenbilddaten Landnutzungen klassifiziert, optimiert aufbereitet und modellspezifisch angepaßt. Hierzu werden auch die bereits im Rahmen des Projektes RISK-EOS (s. o.) erzielten Ergebnisse integriert. Für einen Überblick über die weiteren Aktivitäten der Infoterra GmbH im Bereich Landnutzung sei an dieser Stelle auf Kuntz et al. verwiesen.

2.2.6 Gefahrenhinweiskarten und Berechnung von Schadenspotentialen

Gefahrenhinweiskarten zeigen die im Hochwasserfall überfluteten Gebiete, basierend auf Simulationen von Hochwasserereignissen bestimmter Jährlichkeiten und aktueller Vorhersagedaten. Ergänzend erlaubt die Zusammenführung der Information über Flutungsgebiete mit aus Fernerkundungsdaten gewonnener Landnutzungsinformation die multitemporale sowie ereignisbezogene Berechnung von Schadenspotentialen. Hierbei kommt das hydraulische 2-D Modell FloodArea zum Einsatz, das im Rahmen des Projektes hinsichtlich seiner Funktionalität (insbes. verringerte Rechenzeit durch Einsatz von Multiprozessoren) weiterentwickelt wird. Über eine Kombination der Modelldaten mit Routingdaten werden Informationen über befahrbare Wegstrecken in einem Einsatzgebiet bereitgestellt.

2.2.7 Hochwasserinformationssystem

Alle Dienste und weitere Informationsebenen werden in ein Informationssystem integriert, dessen Einsatz durch entsprechende Schulung unterstützt wird. Das Informationssystem gewährleistet die Bereitstellung und den sicheren Zugriff auf alle hochwasserrelevanten Informationen für Entscheidungsträger. Darüber hinaus wird es auch eine Datenbank zu historischen Ereignissen mit verfügbaren Luftbildaufnahmen und Daten zur Siedlungsentwicklung etc. enthalten.

2.2.8 Ausblick

In der kommenden Projektphase werden die definierten Dienste entwickelt und zunächst seitens der Entwickler validiert. Über entsprechend aufzubereitende Trainings- und Demonstrationsveranstaltungen wird dann den Vertretern der Nutzerorganisationen Gelegenheit gegeben, einerseits die Dienste praktisch zu erfahren und andererseits Verbesserungsvorschläge einzubringen. Diese werden dann in der letzten Projektphase eingearbeitet.

3. TerraSAR-X

Seit mehr als 40 Jahren erkunden Satelliten die Erde. Anfänglich war die Erdbeobachtung fast ausschließlich wissenschaftlich motiviert. Doch nach und nach fanden sich immer mehr praktische Anwendungen – auch kommerzieller Art. Diese Entwicklung mündete nun in dem deutschen Satelliten TerraSAR-X, der die Erde mit Radarstrahlen abtasten wird. Die vor sechs Jahren in Friedrichshafen gegründete Infoterra GmbH besitzt die alleinigen Rechte an der kommerziellen Vermarktung dieser Daten und den daraus erstellten Standardbildprodukten (s. u.).

TerraSAR-X ist der erste nationale Fernerkundungssatellit, der in öffentlich-privatwirtschaftlicher Partnerschaft (Public Private Partnership, PPP) entstanden ist. Das Raumfahrtunternehmen EADS Astrium hat ihn im Auftrag des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt, DLR, gebaut. Beide haben ihn gemeinsam finanziert. Das DLR bleibt Eigentümer der Daten und koordiniert deren wissenschaftliche Nutzung. Die Infoterra GmbH besitzt die alleinigen Rechte an der kommerziellen Vermarktung. Die Konzeption von TerraSAR-X unterschied sich somit von Beginn an von denen früherer Fernerkundungssatelliten.

Die Vorteile des neuen Satelliten sind schnell zusammengefasst: TerraSAR-X umkreist die Erde in etwa 514 Kilometern Höhe auf einer polaren Bahn und kann von dort innerhalb von zweieinhalb Tagen zu einer Wahrscheinlichkeit von 95 Prozent jeden Punkt der Erde erreichen. Sein Radar hat gegenüber einem optischen Sensor mehrere entscheidende Vorteile: Es schafft sich seine eigene, stets genau definierte Beleuchtung, arbeitet Tag und Nacht und durchdringt Wolken. Von großer Bedeutung für die Nutzer ist vor allem auch die hohe Auflösung von bis zu einem Meter. Bereits jetzt gehört die regelmäßige Durchführung radarbasierter Kartierungsprojekte in den verschiedensten Regionen der Erde zum Alltagsgeschäft der Infoterra GmbH – dabei wird bis zum Start von TerraSAR-X auf flugzeuggestützte Datenakquisition zurückgegriffen. Darüber hinaus entwickelt und testet die Infoterra GmbH im Rahmen mehrerer nationaler und internationaler Projekte zukunftsweisende Geoinformationsprodukte, die durch die TerraSAR-X Daten noch verbessert und erweitert werden können.

TerraSAR-X Services: Portfolio

Basierend auf den TerraSAR-X-Daten hat die Infoterra GmbH ein umfangreiches Portfolio aus Bildprodukten, Geoinformationsprodukten, Datenzugangsdiensten und zahlreichen Anwendungsmöglichkeiten zusammengestellt. Während einige der Geoinformationsprodukte sich noch in der Entwicklung befinden – welche nicht endgültig abgeschlossen werden kann, bevor die TerraSAR-X Daten tatsächlich verfügbar sind – können Kunden bereits heute Datenrechte erwerben, um sich einen exklusiven und bevorzugten Zugang zu den zukünftigen Daten zu sichern. Das Portfolio setzt sich aus folgenden Produktgruppen und Anwendungsfeldern zusammen:

Basic Image Products – Standardbildprodukte

Abhängig von der Kundespezifikation und den gewünschten Anwendungsfeldern können die Standardbildprodukte in verschiedenen Kombinationen der folgenden Charakteristika (Aufnahmemodi) erfaßt werden:

- SpotLight (bis zu 1 m Auflösung, 10 km x 5 oder 10 km)
- StripMap (bis zu 3 m Auflösung, 30 km x bis zu 1500 km)
- ScanSAR (bis zu 16 m Auflösung, 100 km x bis zu 1500 km)

Enhanced Image Products – Veredelte Bildprodukte

Orthorectified Image ORI^{SAR}: Die sogenannten “enhanced ellipsoid corrected (EEC)” SAR-Daten sind Standardbildprodukte, die den Höhenmodell-Standards des DLR entsprechen. Sie liefern eine Qualität, die für den Großteil möglicher Anwendungen ausreichend ist. Bei Bedarf können aber auch Höhenmodelle mit einer höheren Genauigkeit als Grundlage für den Orthorektifizierungsprozess beigelegt werden: Daraus ergibt sich dann eine höhere geometrische Genauigkeit des ORI^{SAR}. Zusätzlich kann eine radiometrische Normalisierung RaN^{SAR} durchgeführt werden, die die Abhängigkeit der erfaßten Objekte vom lokalen Einfallswinkel kompensiert.

Mosaic MC^{SAR}: Dieses Produkt verbindet benachbarte orthorektifizierte Aufnahmen zu einem Bildprodukt. Durch die Generierung einer Mosaikierungslinie und die radiometrische Angleichung aller Szenen entsteht ein einheitliches Mosaik ohne sichtbare Übergänge zwischen den einzelnen Szenen.

Oriented Image OI^{SAR}: Diese orientierten Bildprodukte sind Ausschnitte aus einem Mosaik oder einer Szene. Diese Ausschnitte können einem standardisierten Kartenblattschnitt oder den individuellen Spezifikationen des Kunden entsprechen.

Ascending-Descending Merge ADM^{SAR}: Für bestimmte Anwendungen sind TerraSAR-X Daten möglicherweise besser verwendbar, wenn eine Kombination aus je einer Aufnahme im aufsteigenden und im absteigenden Orbit verwendet wird – die Kombination minimiert den Anteil an Flächen im Bild, die durch die Aufnahmegeometrie des Radars von Schatten und Layover betroffen sind. Alle veredelten Bildprodukte sind auch als ADM^{SAR} verfügbar. Im Lieferumfang eines ADM^{SAR} sind auch die zugehörigen Aufnahmen im aufsteigenden und absteigenden Orbit als orthorektifizierte Bildprodukte enthalten.

Geo-Information Products – Geoinformationsprodukte

Orthomap OM^{SAR}: Ein OM^{SAR} ist ein orthorektifiziertes Bild in einem Kartenrahmen mit Legende. Layout-Optionen reichen von einfachen Kartenrahmen bis hin zu hochkomplexen kartographischen Produkten, abhängig vom jeweiligen Kartierungsstandard oder den Kundenspezifikationen.

Change Detection Map CDM^{SAR}: Das CDM^{SAR} enthält Informationen zur Oberflächenversiegelung und der Ausbreitung urbaner Gebiete. Diese Informationen können zum Beispiel in die Stadtplanung, die Überwachung der Stadtentwicklung, oder die Aktualisierung von Kartierungen einfließen.

Subsidence Map SUB^{SAR}: Das SUB^{SAR} Produkt liefert Informationen über langfristige Bewegungen der Erdoberfläche. Solche Bewegungen können beispielsweise durch den unterirdi-

schen Abbau von Bodenschätzen verursacht werden. Die Kartierungen dienen somit z. B. der Abschätzung und Erfassung von Risiken.

Basic Applications – Basisanwendungen

Basisanwendungen, die auf TerraSAR-X Daten basieren, dienen als Grundlage oder Eingangsdaten für vielfältige Prozeßketten:

Die *Aufklärung* ist eines der Hauptanwendungsfelder für TerraSAR-X Daten: Nachrichtendienste, Aufklärer und Hilfsorganisationen profitieren von Systemen, die nicht nur eine sehr hohe Auflösung bieten, sondern auch eine zeitgerechte Datenerfassung erlauben. Heute greifen diese Organisationen üblicherweise auf Daten optischer Sensoren zurück. Dies kann gegebenenfalls eine längere Wartezeit erfordern. Die Datenerfassung in beinahe Echtzeit, die mit TerraSAR-X möglich wird, bietet diesen Organisationen nie da gewesene Möglichkeiten zur Nutzung von Satellitendaten in zeitkritischen Situationen. Darüber hinaus machen die sehr hohe Auflösung von bis zu einem Meter, die hohe geometrische Genauigkeit, die Wetter- und Tageslichtunabhängigkeit und die schnellen Zugriffszeiten zu einem bestimmten Punkt auf der Erde (maximal 2,5 Tage, 2 Tage mit 95% Wahrscheinlichkeit) TerraSAR-X zu einem Sensor, der für die Belange und Bedürfnisse sensitiver Entscheidungsprozesse in zeitkritischen Situationen geradezu ideal ist.

Topographische Basiskartierungen liefern Informationen zur Beschaffenheit der Erdoberfläche, sei diese künstlicher oder natürlicher Art. Die von TerraSAR-X erfaßten linearen, punktuellen und räumlichen thematischen Merkmalsklassen stellen einen wertvollen Beitrag zu derartigen Kartierungen sowie der Aktualisierung dieser Kartierungen dar. Insbesondere in Äquatornähe, wo eine quasi permanente Wolkenbedeckung die Erfassung der Gebiete mit optischen Sensoren beinahe unmöglich macht, ermöglicht TerraSAR-X eine kosten- und zeit-effiziente Basiskartierung.

Somit können in allen Gebieten der Welt regelmäßige Aktualisierungen bereits existierender, hochgenauer Kartierungen mit Hilfe von TerraSAR-X durchgeführt werden. Dabei stellt die Nutzung von Radaraufnahmen eine innovative und wettbewerbsfähige Alternative zur heute üblichen Verwendung von optischen Satelliten oder flugzeuggetragenen Sensoren dar. Abhängig von Zielsetzungen und Spezifikationen können mit Hilfe von TerraSAR-X großflächige Übersichtskartierungen (Maßstab 1:250.000) oder höher aufgelöste Kartierungen (1:10.000) durchgeführt werden.

Kartierungsarbeiten der *Landnutzung* können von TerraSAR-X ebenfalls profitieren: Die neuen Daten stellen eine zusätzliche, neuartige Informationsquelle dar, die eine Verbesserung der bestehenden Interpretationsmethoden und somit auch eine Verbesserung der Kartierungsergebnisse erlauben wird.

Digitale Höhenmodelle (DHM) bilden das Relief der Erdoberfläche ab. TerraSAR-X kann wertvolle Eingangsdaten für die Generierung und Aktualisierung von Höhenmodellen liefern. Eine Implementierung der Mission TanDEM-X – ein zweiter, baugleicher Satellit, der mit TerraSAR-X in einer Formation fliegen soll – wird ab 2009 die Generierung weltweiter Höhenmodelle mit einer nie da gewesenen Genauigkeit, Abdeckung und Qualität ermöglichen.

Thematische Anwendungen

TerraSAR-X wird zu einer steigenden Effizienz in der Erstellung von Geoinformationsprodukten und zur langfristigen Etablierung von Dienstleistungen beitragen.

Raumplanung: TerraSAR-X unterstützt die bisher verwendeten Erdbeobachtungsdaten durch seine vielfältige geometrische Auflösung sowie multitemporale und verschieden polarisierte Aufnahmen von abgelegenen Gebieten, die bisher nur schwer zu erfassen waren. Die Intensität der Rückstreuung und die erfaßten Texturen lassen Rückschlüsse auf die Beschaffenheit der Oberfläche zu.

Katastrophenmanagement: Die wetterunabhängig erfaßten Daten stellen eine wichtige Basis für zeitnahe Kartierungen bei katastrophalen – natürlichen und menschenbedingten - Ereignissen dar. Solche Karten stellen eine wesentliche Hilfe bei der Entscheidungsfindung für Einsatzkräfte und Helfer vor Ort dar. Darüber hinaus können sie im Nachgang auch für Versicherungsgesellschaften bei der Erfassung von Schäden und der Überprüfung der Rechtmäßigkeit von Ansprüchen von Bedeutung sein.

Forstwirtschaft: Großräumige forstliche Übersichtskartierungen werden mit Hilfe von TerraSAR-X genauso ermöglicht, wie die Erfassung von kleineren Interessensgebieten mit einer hohen Auflösung.

Landwirtschaft: Multitemporale und verschieden polarisierte Daten von TerraSAR-X unterstützen weiterhin landwirtschaftliche Kartierungen. Großflächige Übersichtskartierungen werden ebenfalls möglich sein. Landwirtschaftliche Anwendungen, basierend auf TerraSAR-X und ergänzenden Datensätzen, werden anhand individueller Bedürfnisse und Spezifikationen entwickelt.

4. Literaturverzeichnis

- Assmann, A. (2005): Simulation von Überflutungsflächen und Deichbrüchen auf der Grundlage von Rasterdaten. - In: Simulation in den Umwelt- und Geowissenschaften. Hrsg. Wittmann, J. & N. Xuan Thinh. Shaker, Aachen, S. 109-116.
- Assmann, A. & S. Jäger (2003): GIS-Einsatz im Hochwassermanagement. - In: Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XV, Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2003. Hrsg. J. Strobl, T. Blaschke & G. Griesebner, S. 7-14
- Assmann, A. & E. Ruiz Rodriguez (2002): Modellierung im GIS - Erfahrungen beim Einsatz eines rasterbasierten Modells für Überschwemmungssimulationen. - In: GeoBIT 7/2002, S. 14-16.
- Kuntz, S., Kahabka, H., Kaptein, A., Schrader, H., Schrage, T. & P. Jacob (o. J.): Contributions of GMES land projects to European land monitoring. EARSeL SIG Remote Sensing of Land Use & Land Cover.
- Krahe, P., Holzhauer, V., Tinz, M., Assmann, A., Bliefernicht, J., Daamen, K., Kunz, M. Meinel, G. & S. Rademacher: Hochwasservorhersage und Hochwasserrisikomanagement im bayerischen Donaugebiet – Erste Ergebnisse des EU-Projektes "PREVIEW". In: Risikomanagement extremer hydrologischer Ereignisse Beiträge zum Tag der Hydrologie 2006, 22./23. März 2006 an der Universität der Bundeswehr München. Heft 15/06, Bd. 3.

¹ PREVIEW = „Prevention, information and early-warning pre-operational services for the management of risks“ (<http://www.preview-risk.com>)

² RISK-EOS = „Earth observation based services for flood and fire risks management“ (<http://www.risk-eos.com>)

Schadenpotenzialanalyse von Naturgefahrenprozessen im alpinen Raum aus geographischer und gesamtgesellschaftlicher Perspektive – ein interdisziplinärer Ansatz

Clemens Pfurtscheller¹, Matthias Huttenlau¹

¹alpS Zentrum für Naturgefahren Management, Grabenweg 3, 6020 Innsbruck, Österreich, E-Mail: pfurtscheller@alps-gmbh.com, huttenlau@alps-gmbh.com, Internet: <http://www.alps-gmbh.com>, Telefon: +43/512/392929

Kurzfassung

Das vorgestellte integrative Forschungsvorhaben untersucht zwei mögliche Wege der Auseinandersetzung und Betrachtung des alpinen Naturgefahrenrisikos auf regionaler Maßstabsebene. Als zentrale Herausforderung ist hierbei das interdisziplinäre Denken und Arbeiten innerhalb Projekts zu nennen, welche den gegenwärtig stattfindenden Diskurs und die damit verbundene Diskrepanz unterschiedlicher Disziplinen aufnehmen und in diesem Zusammenhang die Vor- und Nachteile interdisziplinärer Forschungsprojekte klar zu identifizieren vermögen.

Im Rahmen der geowissenschaftlich ausgelegten Betrachtung des objektbezogenen Risikos, werden die von extremen („worst-case“) Naturgefahrenereignissen induzierten Ausmaße, Schadenpotenziale sowie Schadenlasten ermittelt, um einerseits die versicherten als auch andererseits die gesamtheitlichen Schäden für die einzelnen Objektkategorien aufzuzeigen. Darüber hinaus liegt ein zweiter Fokus auf der Entwicklung einer nachhaltigen und anwenderfreundlichen Geodatenbankstruktur, um eine zukünftige Nutzung der Projektergebnisse zu gewährleisten.

Die ökonomische Betrachtung bearbeitet die Anwendungsmöglichkeiten des breiten Methoden- und Ansatzspektrums von Verletzlichkeitsuntersuchungen und deren Umsetzung im regionalen Kontext des Bundeslandes Tirol. Verletzlichkeit wird als Konstrukt aus sozialen, räumlichen und ökonomischen, aber auch als hazarddependents Indikatoren angesehen. Der Fokus der Untersuchung richtet sich demnach auf Größen und Teilbereiche der Vulnerabilität, die durch ökonomische Instrumente beeinflussbar sind.

Stichworte

Risikoanalyse, Extremereignisse, Geodatenbank, PML, ökonomische Verletzlichkeit

1. Einleitung

Das im Folgenden vorgestellte Forschungsprojekt entstand aufgrund bestehender und neuer Anforderungen an die (Erst-)Versicherungswirtschaft in einem regionalen Kontext. Hierbei ist vor allem die Solvency II – Eigenkapitalrichtlinie der EU¹ – und ein Sensibilisierungsprozess innerhalb der Assekuranzbranche zu nennen, die ein risikoorientiertes Handeln und die Anwendung wissenschaftlich fundierter Schadensmodelle zur Ermittlung möglicher Folgen für das entsprechende Risikoportfolio fordern. Primärer Kerngedanke hinter der Forschungsarbeit ist die Fragestellung „was wäre wenn?“ im Zusammenhang mit der Betrachtung extremer – zumeist auch außerhalb des kollektiven Gedächtnisses liegender – Naturgefahrenereignisse

¹ Für weiterführende Informationen siehe http://ec.europa.eu/internal_market/insurance/solvency_en.htm.

und deren Folgenpotenzial zum einen auf die Versicherungswirtschaft und zum anderen auf administrative Raumeinheiten (in diesem Zusammenhang auf das österreichische Bundesland Tirol).

Wesentlicher Projektansatz ist die Analyse von Extremereignissen, welche – gekennzeichnet durch Frequenz und Amplitude - außerhalb der gesetzlichen Bemessungsereignisse liegen und im Rahmen von „klassischen“ Risikoanalysen eine geringe Beachtung finden bzw. nicht berücksichtigt werden; bspw. das Katastrophenpotenzial von äußerst seltenen Erdbebenereignissen. Die Risikobetrachtung schließt die Naturgefahrenprozesse Hochwasser, Hagel, Sturm, Erdbeben, Bergsturzereignisse und mit diesen Prozessen im Zusammenhang stehende Sekundärprozesse mit ein. Im diesem Kontext kann auch von definierten „worst-case-Szenarien“ gesprochen werden.

Neben der objektbasierten Ermittlung der monetären Schadenslasten und der zu erwarteten Versicherungsleistungen, ist die Erfassung des Schadenpotenzials und der möglichen monetären Folgen, in einer umfassenderen Sichtweise, wichtiger Bestandteil der vorgestellten Untersuchung. Vergleicht man die Folgen von Naturereignissen für ein Unternehmen mit denen für eine administrative Einheit, so ist eine Integration von weiterführenden Indikatoren für die Erfassung einer gesamtgesellschaftlichen Verletzlichkeit notwendig. Daher ergibt sich eine gesamtgesellschaftliche resp. volkswirtschaftliche Fragestellung, die sich im Wesentlichen mit der Erfassung von Verletzlichkeiten und deren integrative Bestandteile befasst. Verletzlichkeit und dessen theoretische Einbettung stellt sich aufgrund der multidisziplinären Ausrichtung als breites Ansatz- und Methodenspektrum in der „Scientific Community“ dar. Es werden hier v.a. ökonomisch relevante Aspekte des Vulnerabilitätsansatzes untersucht und entsprechend angewendet.

2. Zwei Wege der Risikobetrachtung – mögliche geo- und sozialwissenschaftliche Ansätze

Die nachstehenden Ausführungen erläutern zum einen die Fokussierung auf eine geowissenschaftliche, zum anderen auf eine sozialwissenschaftliche Betrachtungsweise² des Risikos und deren Anwendungen im Rahmen für das vorliegende Forschungsprojekt.

2.1 Analyse extremer Naturgefahren – der objektorientierte Weg

Die vorgestellte Methode im Rahmen einer objektspezifischen Betrachtung von definierten Schadenindikatoren basiert auf der „klassischen“ Risikoanalyse bei der Untersuchung gravitativer Naturgefahren – neben der Risikobewertung und dem Risikomanagement ein elementarer Baustein im Konzept einer modernen Risikobetrachtung (Hollenstein 1997, Heinemann et al. 1998) – und untersucht die Frage: Was kann passieren? Schäden im Allgemeinen und naturgefahreninduzierte Schäden im Speziellen entstehen durch das Vorhandensein eines gefährlichen Prozesses sowie der Exposition von (Wert-)Objekten und der Interaktion zwischen diesen Elementen, welche durch die Vulnerabilität (Hollenstein et al. 2002) ausgedrückt wird. Die Vorgehensweise im Rahmen einer Risikoanalyse besteht im Wesentlichen aus einer Ereignisanalyse, einer Expositions- und Schadenpotenzialanalyse sowie einer darauf aufbauenden Folgenanalyse. Das Ziel der im Konzept vorgestellten Arbeit ist das Erkennen des Schadenausmaßes – in ihrer Amplitude und daraus induzierten Folgen - extremer Naturgefahrenprozesse und die Ermittlung des zu erwartenden Schadenkumuls. Kernintention hinter der

² Weiterführende Diskussion siehe hierzu auch Müller-Mahn 2005.

Arbeit ist die Frage „Was wäre wenn?“, im Rahmen eines versicherungstechnischen Probable-Maximum-Loss - Verständnisses (PML), um hiermit eine adäquate Rückversicherungspolitik zu gewährleisten, welche den regionalen Charakter (prozess- als auch schadenpotenzialseitig) des betrachtenden Gebietes, im Gegensatz zu den Maßstabsebenen der Rückversicherungsgesellschaften, berücksichtigt. Der PML-Term basiert in diesem Zusammenhang auf dem voraussichtlich maximalen Prozess- und Schadenpotenzial, wobei allgemein anerkannt davon auszugehen ist, dass höhere Schäden möglich sind (Woo 2002). Diese mögliche höhere Schadenlast steht zu einem im Zusammenhang mit einer potenziell stärkeren Prozessamplitude, zum anderen in der dynamischen Entwicklung des Schadenpotenzials ausgehend vom Ist-Zustand während des Untersuchungszeitraums. Im Rahmen von Maximum-Loss-Analysen sollten die drei Teilaspekte Gefährdungsprozess, Schadenpotenzial und Vulnerabilität unter Berücksichtigung der Definition nach Bennett (1992): „it should be the largest possible loss which it is estimated may occur, in regard to a particular risk, given the worst combination of circumstances“ angewandt werden. Basis der Betrachtung sind extreme (worst-case) (Natur-) Gefahrenprozesse, welche in jüngster Zeit vermehrt in den Fokus wissenschaftlichen Interesses gerückt sind und auch mit dem Term Xevent – ein Ereignis mit sehr geringer Wahrscheinlichkeit aber katastrophaler Wirkung – in der Literatur beschrieben werden (Albeverio et al. 2005).

Derartige Analysen ermöglichen einem Erstversicherer eine risikobasierte Einschätzung des eigenen Portfolios hinsichtlich der Deckungshöhe im Rahmen von Rückversicherungsverträgen. Neben der risikospezifischen Berücksichtigung des Polizzenbestandes von Versicherungsunternehmen und den zu erwartenden Entschädigungsleistungen, wird auch wesentlich der Frage nachgegangen, mit welchen Schadenausmaßen man gesamtheitlich für derartige Extremereignisse (und den definierten Schadenindikatoren) in einem Untersuchungsgebiet wie Tirol zu rechnen hat. Das Hauptaugenmerk liegt hierbei auf Prozessarten, welchen ein hohes Totalschadenrisiko mit existenzgefährdenden Ausmaßen immanent ist. Dies sind – wenn man anderweitige, bereits durchgeführte Untersuchungen aus der Schweiz auf Westösterreich überträgt - vor allem Erdbeben, Hochwasser, Sturm- und Hagelereignisse sowie tiefgreifende Massenbewegungen (Bergstürze) (Katarisk 2003, Bachmann 2002).

2.1.1 Ereignisanalyse

Im Rahmen der Ereignisanalysen werden zum einen Gefährdungsanalysen für die einzelnen Prozesse durchgeführt (flächige Erarbeitung einer Gefahrenhinweiskarte im regionalen Maßstab für das Untersuchungsgebiet), zum anderen werden die zu erwartenden Ausmaße für definierten Szenarien ermittelt. Beispielhaft sei hierzu die Erdbebengefährdung für ein definiertes Untersuchungsgebiet – zumeist in Form einer kartographischen Übersicht wie bspw. „Erdbebengefährdung für die D-A-CH Staaten“ (Grünthal et al. 1998) – und zum anderen die zu erwartenden Intensitätsabnahme – bei Erdbebenanalysen dargestellt durch Isoleisten - für definierte Epizentren genannt. Da im Rahmen der Untersuchung die eingangs aufgestellt Frage „Was wäre wenn?“ verfolgt wird, wurde bewusst und gezielt auf die Quantifizierung der Frequenz, im Unterschied zur „klassischen“ Risikoanalyse – hierbei besteht die Prozessermittlung aus einem Produkt von Frequenz und Amplitude - verzichtet. Dies liegt zum einen in der Unsicherheit der Aussage im Zusammenhang (begrenzte Datenkollektiv bzw. Messreihen, unterschiedlichste Anwendung von extremwertstatistischen Ansätzen u.a.) mit Extrem- bzw. „worst-case“ - Ereignissen, zum anderen in der Hauptintension der Untersuchung; Ereignisse mit einer sehr geringen Wahrscheinlichkeit, welche jedoch potenziell jederzeit möglich sind und unabhängig von der Frequenz auch eintreten werden.

Die Prozessbetrachtung hat im Rahmen dieser Arbeit den Charakter einer Regionalanalyse. Es ist dieser Vorgehensweise innewohnend, dass keine parzellscharfen Abgrenzung aufgrund der Unsicherheiten getroffen werden können, diese Unsicherheiten neutralisieren sich jedoch wieder anhand der Größe des Untersuchungsgebietes und der Anzahl der potenziellen Schadenobjekte, sodass eine für das jeweilige Ereignis gesamtheitliche Aussage hinsichtlich der zu erwartenden Schäden getroffen werden kann. Die Ermittlung der Erdbebengefährdung fußt auf einer geostatistischen Interpolation der horizontalen Bodenbeschleunigung (ÖNORM B 4015, Lenhardt 1995) für ein Ereignis mit einer zehnpromzentigen Nichtüberschreitens-Wahrscheinlichkeit eines 50-jährlichen Ereignisses (EUROCODE 8 konform) unter Berücksichtigung der quartärgeologischen Situation im Untersuchungsgebiet. Diese probabilistischen Bemessungsgrößen – im Unterschied zur deterministischen Ermittlung - der horizontalen Bodenbeschleunigung beruhen wesentlich auf dem österreichischen Erdbebenkatalog, und stellen den 70-prozentigen Wert der maximalen Bodenbeschleunigung für das Untersuchungsgebiet dar (Lenhardt 1995). Die Zuordnung der lokalen Bodenbeschleunigung auf die Epizentralintensität erfolgt nach Vorgaben der entsprechenden Norm (ÖNORM B 4015). Ausgehend von diesen regionalen Gefährdungsanalysen wurden entsprechende potenzielle Epizentren entlang bekannter Störungslinien gewählt (Tollmann 1977), welche zum einen in historischer Vergangenheit bereits stärkere Erdbebenereignisse zu verzeichnen hatten bzw. durch ein hohes Schadenpotenzial gekennzeichnet sind. Die Abnahme der Lokalintensität vom Epizentrum ausgehend, wurde für jeden Rasterzelle (50x50m) im Untersuchungsgebiet grid-basiert ermittelt, um somit die entsprechende Lokalintensität für jeden beliebigen Raster ausweisen zu können.

Die primäre Hochwassermodellierung wurde im Rahmen des HORA-Projektes (Hochwasserzonierung Austria) durchgeführt. In die vorliegende Arbeit findet das 200-jährliche Pegelergebnis unter der Annahme des Versagens aller Schutzmaßnahmen („worst-case“) Eingang, wobei die aus der eindimensionalen Modellierung stammenden Ausspiegelungsfehler korrigiert wurden. Bei der Analyse von meteorologischen Ereignissen (namentlich Sturm und Hagel) in regionalem Maßstab, liefern numerische Lösungen aufgrund der kleinräumigen Situation, der komplexen Topographie und nicht zuletzt aufgrund der vorhandenen Stationsdichte keine plausiblen Ergebnisse. In einem ersten Schritt wurde deshalb von der Regionalstelle der Zentralanstalt für Meteorologie und Geophysik in Innsbruck auf Basis eines Expertensystems, die unter vorherrschenden Rahmenbedingungen maximal vorstellbaren Windgeschwindigkeiten für den siedlungsrelevanten Bereich (keine Gipfelregionen!) ausgewiesen. Darauf aufbauend wurde der Einfluss der Oberflächenrauigkeit auf die Windgeschwindigkeit, auf Basis einer adaptierten Rauigkeitsklassifikation (Davenport et al. 2000, Oke 2006) unter Verwendung – auf alpine Verhältnisse der Landschaftselemente angepasst – der CORINE-Daten (Coordination of Information on the Environment), modelliert, um Aussagen hinsichtlich der zu erwartenden maximalen Spitzenböen treffen zu können. Für die Ermittlung des maximalen flächigen Ausmaßes von Hagel-Superzellen wurde eine Kompilation unterschiedlichster Arbeiten zu diesem Thema (Verlagerungen von Gewittern, Auswertungen des österreichischen Blitzortungssystems, Untersuchungen zu Superzellen und deren Zugbahnen etc.) durchgeführt. Des Weiteren kamen Interpolationen von Hagel- und Gewitterdaten zur Anwendung. Das Münchener Hagelereignis aus dem Jahr 1984 wirkte hierbei quasi als Vorbild, wobei die topographischen Verhältnisse in Tirol unter Berücksichtigung der genannten Kompilation und Interpolationen berücksichtigt wurden. Somit wurden verschiedenste Indizien zu einem potenziellen „Ereignisbild“ zusammen getragen. Zur Ermittlung des Transit- und Ablagerungsbereiches von Bergsturzereignissen waren vorab umfangreiche Geländearbeiten zur Aufnah-

me des Gefüges und der Strukturgeologie notwendig, um potenzielle Anbruchgebiete und deren Kubatur ausweisen zu können. Auf Grundlage dieser Vorarbeiten wurde zuerst die Reichweite der drei größten und „prominentesten“ Anbruchgebiete mit einem Fahrböschungswinkelansatz ermittelt. Die entsprechenden Werte des Fahrböschungswinkels entstammen hierbei empirischen Arbeiten (Abele 1974). In weiterer Folge wurden die durch die geologische Analyse und Begehung bekannten Anbruchgebiete mit einem Energielinienansatz nach Körner (1976) modelliert, um somit Aussagen hinsichtlich eines zweidimensionalen Ausmaßes für weitere potenzielle Ereignislokalitäten treffen zu können. Die hierfür notwendigen Gleitreibungskoeffizienten entstammen aus der Rückrechnung eines fossilen Ereignisses im Untersuchungsgebiet. Die Verifizierung des Energielinienansatzes konnte anhand der Ergebnisse der empirischen Reichweitenmodellierung durch den Fahrböschungswinkel durchgeführt werden. Darüber hinaus wird im Rahmen der Arbeiten eine potenzielle Dammbildung eines Bergsturzereignisses und die, durch einen möglichen Dammbbruch, ausgelöste Flutwelle im Unterlauf des Dammes numerisch modelliert.

2.1.2 Expositions- und Schadenpotenzialanalyse

Im Rahmen der Analyse fokussiert sich diese (geowissenschaftliche) Teilarbeit auf klar definierte objektbezogene Schadenindikatoren – Gebäude und Hausrat sowie KFZ. Den Kern dieser Anwendung stellt eine relativ komplexe Geodatenbank dar, in die unter anderem die nachgeführte digitale Katastralmappe, eine geokodierte Adressdatenbank, der Polizzenbestand eines großen regionalen Versicherungsunternehmens, statistische Rasterdaten (Stand Großzählung 2001) sowie eine durchgeführte Bausubstanzanalyse Eingang fanden. Bei der Schadenpotenzialermittlung von Immobilienwerten können prinzipiell vier unterschiedliche Methodiken angewandt werden (Flächenansatz, Kubaturansatz, geokodierte Zuweisung von Risikopolizzen sowie die Ermittlung des Werteinventars mit Hilfe des Versicherungseinheitswertes 1914), wobei im Rahmen der Untersuchung die beiden letztgenannten zur Anwendung kommen. Bei der Anwendung der Risikopolizzen können für die beteiligte Unternehmung absolute objektscharfe und für den gesamten Untersuchungsperimeter aggregierte – jedoch auf Basis realer Versicherungswerte – Aussagen getroffen werden, der Versicherungseinheitswert 1914 stellt auf Basis einheitlicher Eingangsdaten einen potenziellen Weg dar, um objektive Aussagen (losgelöst von der subjektiven Einschätzung der einzelnen Versicherungsagenten) treffen zu können. Die Schadenpotenzialanalyse verfolgt eine wesentliche Kernaussage: es soll das absolute Schadenpotenzial im semantischen Wortsinn – zu 100 Prozent des Wertes – für die einzelnen Gefährdungsanalysen ausgewiesen werden. Damit kann eine erste wichtige Aussage getroffen werden: Welche Werte können prinzipiell im Untersuchungsgebiet durch die einzelnen Prozesse betroffen werden? Diese Ausweisung geschieht anhand einer GIS-basierten Verschneidung der Gefährdungsanalysen mit der Schadenpotenzial-Datenbank.

2.1.3 Folgenanalyse

Im Rahmen der Folgenanalyse kann darüber hinaus eine Abschätzung für die zu erwartenden Schäden (PML) im Zuge von Extremereignissen getroffen werden. Dieser Arbeitsschritt berücksichtigt zum einen potenzielle Szenarien – im Unterschied zu flächigen Gefährdungsanalysen – und integriert zur Ermittlung der Auswirkungen die objektspezifische Vulnerabilität, eine Querschnittsmaterie von physisch-kinetischer Prozesseinwirkung und den individuellen Objekteigenschaften. Somit subsumiert die Folgenanalyse alle relevanten Terme der Risikoformel: Prozess, Schadenpotenzial und Vulnerabilität. Als Produkt der Folgenanalyse können

differenzierte monetäre Folgeerscheinungen für die untersuchten Schadenindikatoren deklariert werden; zum einen der versicherte Schaden (zu erbringende Versicherungslösungen) und zum anderen der wahrscheinlich gesamtgesellschaftlich eintretende Schaden.

2.2 Ökonomische Analyse von Naturgefahren - Vulnerabilität und Entscheidungen

Die Ökonomie als Wissenschaft betrachtet reale ökonomische Phänomene und versucht durch den Erkenntnisgewinn die gesamtgesellschaftliche Wohlfahrt zu verbessern. Unter gegebenen knappen öffentlichen Mitteln ist es Ziel des staatlichen Handelns, die wachsenden Bedürfnisse der Bevölkerung bestmöglich durch eine effiziente Güter-Bereitstellung zu befriedigen. Insbesondere die Finanzwissenschaft - mit dem Teilbereich der Umweltökonomie - stellt dazu leistungsfähige Instrumente bereit, um das Effizienzkriterium zu erfüllen. Die Grundlage für dieses Kriterium bildet das Pareto-Prinzip der Wohlfahrtsökonomie. Ist das Optimum erreicht, ist es nicht möglich durch eine alternative Allokation der Ressourcen eine Person besser zu stellen, ohne dass mindestens eine andere Person schlechter gestellt wird. Zentrales Anliegen ökonomischen Handelns ist demgemäß eine effiziente Allokation der Ressourcen, sowie deren objektive Abwägung der Vor- und Nachteile, die Verteilung der produzierten Güter und Einkommen und die Erstellung einer Auswahl an Handlungsalternativen. Gerade im Naturgefahren Management kann die ökonomische Analyse öffentlicher Güter wertvolle anwendungsorientierte Methoden und zielgerichtete Informationen für staatliche Entscheidungsträger liefern; die Errichtung von Schutzmaßnahmen gegenüber Naturgefahren (z.B.: Lawinenanriß-Verbauungen, Flussverbauungen, Uferbefestigungen, etc.) stellen beispielsweise in Österreich primär eine hoheitliche Aufgabe dar. Die Ökonomie kann auch Nutzen für die Privatwirtschaft stiften, denn aufgrund des steten Zunehmens der versicherten Schäden durch Naturgefahren und -katastrophen (2005 betragen diese auf globaler Ebene etwa 185 Mrd. USD³), sind ökonomische Instrumente wie z.B. die Risikoanalyse und deren Bedeutung für sozio-ökonomische Systeme (Schadenspotenzialanalyse) einsetzbar, um methodische Lösungsansätze zu bieten. Dies spricht in erster Linie die Erst- und Rückversicherer an, die sich an die Trends der aktuellen Änderungen der sozio-ökonomischen Systeme und auch der naturräumlichen Rahmenbedingungen, wie etwa der allgemeinen Temperaturzunahme aufgrund anthropogener Treibhausgas-Emissionen und unter anderem damit verbundener möglicher Frequenzsteigerungen von extremen Niederschlagsereignissen⁴, anpassen müssen. Das oben einleitend beschriebene interdisziplinäre Projekt umfasst sowohl natur- und wirtschaftswissenschaftliche Fragestellungen. Zudem muss darauf hingewiesen werden, dass der wirtschaftswissenschaftliche Teil als betriebs- und volkswirtschaftliches Konstrukt verstanden werden muss. Der Betriebswirtschaftliche Teil beschäftigt sich mit der Monetarisierung von möglichen Schäden, deren Ausmaß durch die konstatierten Szenarien der Geowissenschaften festgelegt wurden („Probable Maximum Loss“ für den Erstversicherer). Aufbauend auf verschiedensten Datenquellen und einer Verknüpfung von Geodaten werden die potenziell betroffenen Schadensobjekte respektive Risiken aus versicherungstechnischer Sicht entsprechend bewertet und monetarisiert. Dies entspricht einer probabilistischen PML-Betrachtung⁵ auf lokalem Maßstab für definierte Szenarien (Hochwasser, Erdbeben, Sturm, Hagel).

³ Münchner Rück (2006)

⁴ IPCC (2007)

⁵ Woo (2002)

2.2.1 Vulnerabilität als maßgebende Größe des Naturgefahren Managements aus finanzwissenschaftlicher Sicht

Aus einer volkswirtschaftlichen Perspektive betrachtet kann der Verletzlichkeitsansatz dazu dienen, Handlungsempfehlungen und -alternativen im Naturgefahrenbereich respektive Schutzmaßnahmen und -investitionen zu identifizieren und zu bewerten. Dies stellt sich nicht nur als reine Messung von Verletzlichkeiten dar, sondern erfordert eine genaue Betrachtung der Variablen und Indikatoren, die eine holistische (umfassende) Vulnerabilität beschreiben können.

Verletzlichkeitsforschung wurde schon in den 1980er-Jahren stark von (entwicklungs-) geographischer Seite bearbeitet. Die Ergebnisse dieser Aktivitäten führten mitunter zu der Entwicklung des HDI / Human Development Index als Ausdruck des Entwicklungsstandes einzelner Staaten. Der Entwicklungsschwerpunkt von meist lokalen ökonomischen Verletzlichkeitsuntersuchungen setzte sich mit Vincent (2004) und Briguglio et al. (2004) fort. Auch die Soziologie untersuchte schon früh Ansätze von verletzlichen Gesellschaften und Gemeinschaften. Hier ist das Konzept der sozialen Verletzlichkeit - Ausdruck der Interaktion zwischen der sozialen und physischen Sphäre - als Querschnittsmaterie zur Geographie zu nennen. Parallel dazu haben die technischen Wissenschaften Verletzlichkeitsfunktionen im Sinne von Zerstörungsgraden von Gebäuden u.ä. empirisch erhoben, die in der Monetarisierung von PML-Szenarien ein wesentliches Kriterium bilden. Verletzlichkeitsuntersuchungen sind als ein zentrales Forschungsfeld der aktuellen „Hazardwissenschaften“ zu bezeichnen. Cutter (2001), Young et. al (2006) und Birkmann (2006) geben hiezu einen klaren Forschungsauftrag vor. Bedarf besteht in theoriegeleiteten quantitativen regionalen Studien, die Verletzlichkeit auch unter Globalisierungsaspekten für ein verbessertes Verständnis der Mensch-Umwelt-Beziehungen untersuchen. Die Ergebnisse sollen zudem als praxisrelevantes Instrumentarium für Entscheidungsträger konzipiert und umgesetzt werden. Diese Aspekte sind unter sich verändernden räumlichen und zeitlichen Rahmenbedingungen zu verstehen. Dementsprechend sollen auch die eingesetzten Methoden und Analyseinstrumente (etwa Szenarienbildung für Prognosen, geographische Informationssysteme) eingeordnet werden. Die theoretische Basis dafür liefert u.a. Wisner et al. (2004) mit dem „pressure and release“ - Modell (PAR), das Vulnerabilität als Konstrukt aus sozial-ökonomischen Rahmenbedingungen, unsicheren (Lebens-) Bedingungen, mittelfristigen natur- und kulturräumlichen Veränderungen und prozessorientierten Faktoren (Erdbeben, Hochwasser, etc.) betrachtet.

2.2.2 Die Anwendung der Verletzlichkeitsansätze für das Forschungsprojekt

Die zentrale Fragestellung des volkswirtschaftlichen Teiles des vorgestellten Projekts befasst sich mit Anwendungsmöglichkeiten des breiten Methoden- und Ansatzspektrums von Verletzlichkeitsuntersuchungen und deren Umsetzung im regionalen Kontext des Bundeslandes Tirol. Villagrán De Leon (2006) gibt eine Übersicht über die Ansätze der Verletzlichkeitsforschung der letzten Jahrzehnte mit Fokus auf aktuellen Entwicklungen, die versuchen, das Verletzlichkeitskonstrukt zu modifizieren und zu verfeinern. Hier sind die Begriffe „Coping Capacities“, „Resilience“ und „Perception“ zu nennen, deren Auswirkungen im Rahmen eines Risikomanagements den Widerstand einer Gesellschaft gegen Naturgewalten zur Zeit des „events“ stärken. Die ökonomische betonte Betrachtungsweise der Verletzlichkeit [“Vulnerability, therefore, is a human-induced situation that results from public policy and resource availability / distribution, and it is the root cause of many disaster impacts (...)” (Chakraborty et al. 2005 in K. Thywissen (2006), S. 30)] soll als holistisches Konzept verstanden und an-

gewendet werden. Für eine umfassende Verletzlichkeitsuntersuchung gelten in diesem Kontext interdisziplinäre und anwendungsorientierte Rahmenbedingungen, deren Anwendung Müller-Mahn (2005) zum Konzept der „Complex Emergencies“ kumuliert. Das Konzept zum Verständnis einer umfassenden Verletzlichkeit kann mit Gleichung (1) umschrieben werden. Verletzlichkeit wird hier nicht rein als (technische) Funktion der Zerstörung angesehen; vielmehr sind es soziale, räumliche und ökonomische Faktoren und Variablen, die als hazardunabhängig angesehen werden und zusammen mit hazarddependenten Indikatoren - physische Verletzlichkeit und präventives Risikomanagement - ein umfassendes Konstrukt von Vulnerabilität bilden.

$$V_{hol} = f [I_{soc}, I_{spat}, I_{econ}, (I_{event}, I_{riskm.})] \quad (1)$$

Ökonomisch betrachtet, ist es sinnvoll und notwendig die oben beschriebenen Teilindikatoren auf Endo- oder Exogenität zu untersuchen, denn Ziel einer ökonomischen Betrachtung ist der Einsatz von ökonomischen Instrumenten zur Erhöhung der gesamtgesellschaftlichen Wohlfahrt. Die Umsetzung dieser quantitativen Betrachtung der Verletzlichkeit wird aus einem Methodenset der Sozial- aber auch der Naturwissenschaften⁶ bestehen, da gerade bei anwendungsorientierten Fragestellungen die Interdisziplinarität eine wesentliche Rolle einnimmt. Die Daten für das Forschungsvorhaben beruhen primär auf veröffentlichten Daten der Statistik Austria, die v.a. den Bereich der sozialen und ökonomischen Indikatoren abdecken. Zusätzlich fließen Daten der ansässigen Unternehmen und hazardspezifische Daten, die durch den geowissenschaftlichen Part des Projektes erhoben und berechnet werden, mit ein. Schließlich ist eine Validierung anhand von Ereignisdaten (private und öffentliche monetäre Schäden und erhobene Schäden eines Erstversicherers) vorgesehen. Der Nutzen von umfassenden Verletzlichkeitsuntersuchungen liegt nicht nur in der wissenschaftlichen Auseinandersetzung mit dieser Thematik, sondern v. a. im Input für ein adäquates Risikomanagement. Dies betrifft u.a. Katastrophenschutzpläne, Regional- und Raumplanung aber auch als maßgebende Größe für Entscheidungen in Präventions- und Schutzmaßnahmeninvestitionen. In diesem Sinne sind Verletzlichkeitsstudien als alternatives ökonomisches Instrument zur Kosten-Nutzen-Analyse, die etwa in Österreich im Bereich der Wildbach- und Lawinenverbauung eingesetzt wird, anzusehen.

3. Diskussion und Ausblick

Abschließend soll noch die Frage aufgegriffen werden, welche weiterführenden Erkenntnisse und Anwendungsmöglichkeiten das beschriebene Forschungsprojekt und die darin erzielten Ergebnisse über die primären Projektfragestellungen hinaus liefern kann? Zum einen zeigt es eine praxisorientierte Möglichkeit für Versicherungsunternehmungen auf, um das entsprechende Risikoportfolio zu verwalten und zum anderen PML-Betrachtungen für eine adäquate Rückversicherungspolitik anzustellen und zu gewährleisten.

Neben der Versicherungswirtschaft stellen administrative Raumeinheiten wie Länder oder Gemeinden weitere Adressaten für gewonnene Ergebnisse und dadurch mögliche Aussagen dar. Zu nennen sei hierbei die entsprechenden Raumplanungsebenen als auch Organisationseinheiten des strategischen Risiko- und Katastrophenmanagements, wobei die Implementierung der Ergebnisse und eine weiterführende Nutzung sowie Anwendung auf zusätzlich identifizierte Risiken anzustreben ist. Diese aufgezeigte Ist-Situation ist unter dem Aspekt des

⁶ Zum Diskurs der unterschiedlichen Methoden- und Ansatzkonzeptionen und deren Bedeutung für die Verletzlichkeitsforschung der Sozial- und Geowissenschaften siehe Müller-Mahn (2005).

„Global change“ im Allgemeinen und deren regionale Auswirkungen im Speziellen dynamisch weiter zu entwickeln, um frühzeitig negative Auswirkungen auf den Wirtschafts- und Lebensraum aufzeigen und entsprechende Handlungsstrategien entwickeln zu können.

Literaturverzeichnis

- Abele G. (1974) Bergstürze in den Alpen: Ihre Verbreitung, Morphologie und Folgeerscheinungen. - Wissenschaftliche Alpenvereinshefte, Heft 25, München.
- Albeverio S., Jentsch V., Kantz H. (2005) Extreme Events in Nature and Society. - Springer, Berlin.
- Bachmann H. (2002) Erdbebengerechter Entwurf von H
- Bennet, C. (1992) Dictionary of insurance. - Pitman, London.
- Birkmann J. (2006) Measuring Vulnerability to Natural hazards - towards disaster resilient societies. - 524 S., United Nations University, Tokyo.
- Briguglio L., Kisanga E. J. (2004) Economic Vulnerability and Resilience of Small States. - 480 S., University of Malta, Commonwealth Secretariat, Malta, London.
- Bundesamt für Bevölkerungsschutz (2003) KATARISK – Katastrophen und Notlagen in der Schweiz: eine Risikobeurteilung aus der Sicht des Bevölkerungsschutzes. - Online-Dokument, <http://www.bevoelkerungsschutz.admin.ch>, Zugriff Mai 2007. Environmental Hazards. - IHDP, Newsletter No2.
- Davenport A.G., Grimmond T.R., Oke T.R., Wieringa J. (2000) Estimating the roughness of cities and sheltered country. - In: American Meteorological Society: Proceedings 12th Conference on Applied Climatology: 96-99.
- Grünthal G., Mayer-Rosa D., Lenhardt W.A. (1998) Abschätzung der Erdbebengefährdung für die D-A-CH-Staaten – Deutschland, Österreich, Schweiz. - In: Bautechnik 75, Heft 10: 753-767.
- Heinimann H., Hollenstein K., Kienholz H., Krummenacher B., Mani P. (1998) Methoden zur Analyse von Naturgefahren. - Umwelt-Materialien Nr. 85, Naturgefahren. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaften (BUWAL), Bern.
- Hollenstein K. (1997) Analyse, Bewertung und Management von Naturrisiken. - Vdf, Hochschulverlag an der ETH, Zürich.
- Hollenstein K., Bieri O., Stüchelberger J. (2002) Modellierung der Vulnerability von Schadenobjekten gegenüber Naturgefahrenprozessen. - Vdf, Hochschulverlag an der ETH, Zürich.
- IPCC (2007) Climate Change 2007: The Physical Scientific Basis - Summary for policymakers. - Online-Dokument, <http://www.ipcc.ch>, Zugriff März 2007.
- Körner H.J. (1976) Reichweite und Geschwindigkeit von Bergstürzen und Fliesslawinen. - In: Rock mechanics, Jahrgang 1976, Band 8: 225-256.
- Lenhardt W.A. (1995): Regional earthquake hazard in Austria. - In: Duma G.: Proceedings of 10th European Conference on Earthquake Engineering: 63-68.
- Müller-Mahn D. (2005) Von „Naturkatastrophen“ zu „Complex Emergencies“ - Die Entwicklung integrativer Forschungsansätze im Dialog mit der Praxis. In: Müller-Mahn, D., Wardenga U. Forum ifl, Leibnitz-Institut für Länderkunde, Heft 2: 69-77.
- Münchener Rück (2006) Naturkatastrophen 2006 - Analysen, Bewertungen, Positionen. - München.
- Oke T.R. (2006) Initial guidance to obtain representative meteorological observations on urban sites. - World Meteorological Organization (WMO), Geneva.
- Österreichisches Normungsinstitut (2002) ÖNORM B 4015: Belastungsannahmen im Bauswesen – Außergewöhnliche Einwirkungen – Erdbebeneinwirkungen: Grundlagen und Berechnungsverfahren. - Wien.
- Thywissen K. (2006) Components of Risk - A Comparative Glossary. - Source No.2, 48 S., UNU-EHS, Bonn.
- Tollmann A. (1977) Die Bruchtektonik Österreichs im Satellitenbild. In: Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Jahrgang 1977, Heft 153: 1-27.

- Villagrán De Leon J. C. (2006) Vulnerability - A Conceptual and Methodological Review. - Source No. 4, 64 S. UNU-EHS, Bonn.
- Vincent K. (2004) Creating an index of social vulnerability to climate change for Afrika. - working paper 56, Tyndall Centre for Climate Change Research.
- Young O. R., Berkhout F., Gallopin G. C., Jaanssen M. A., Ostrom E., van der Leeuw S. (2006) The globalization of socio-ecological systems: an Agenda for scientific research. - *Global Environmental Change* 16:304-316.
- Woo G. (2002) Natural Catastrophe Probable Maximum Loss. - *British Actuarial Journal*, Vol. 8, Part V., Online-Dokument, http://www.rms.com/Publications/PML_Woo.pdf, Zugriff März 2008.

PRO DV Software AG – Unternehmensportrait

Uwe Osterkamp

PRO DV Software AG, Hauert 6, 44227 Dortmund, Deutschland, E-Mail: office@prodv.de, Telefon: +49(0)23197920

1. Überblick

Die PRO DV Software AG positioniert sich als Software- und Systemhaus für raumbezogene und prozessoptimierte (E-)Businesslösungen. Das Unternehmen mit Hauptsitz in Dortmund bietet ein komplettes Dienstleistungsportfolio: von der Analyse der kundenspezifischen Anforderungen über die Systementwicklung bis hin zur Integration sowie Wartung und Schulung. Die Kompetenzschwerpunkte liegen hierbei im Bereich der Service-orientierten Architekturen, portalbasierte Anwendungen und Geo Solutions (Anwendungen, die den Raumbezug von Daten berücksichtigen). PRO DV konzentriert sich in diesem Umfeld auf die Bereiche Zivile Sicherheit, wichtige Infrastrukturen, Umwelt- und Verbraucherschutz sowie die Finanzwirtschaft. Im Mittelpunkt von Beratung, Entwicklung und Service des IT-Spezialisten stehen offene und interoperable Applikationen im Bereich Geoportale und Katastrophenschutz, die sich als zuverlässige Planungs- und Entscheidungshilfen bei Unternehmen, Behörden und Organisationen mit Sicherheitsauftrag bewähren.

2. Zivile Sicherheit

Als "First-Mover" für Anwendungen und Lösungen im Bereich des Zivil- und Katastrophenschutzes ist PRO DV in diesem Bereich Marktführer und baut Know-how und Geschäft kontinuierlich aus. Herausragendes Beispiel für unsere Kompetenz ist der Aufbau des deutschen Notfallvorsorge-Informationssystems deNIS II^{plus}. Das System stellt mittlerweile die IT-Basis des Bevölkerungsschutzes in der Bundesrepublik Deutschland dar und steht auch Unternehmen, Behörden und Organisationen zur Verfügung, die mit Sicherheitsaufgaben betraut sind.

Mit deNIS II^{plus} werden Krisenstäbe in Unternehmen, auf Bundes-, Landes- und Landkreisebene sowie von Hilfsorganisationen umfassend und praxisorientiert unterstützt. Dabei sind Leitstände, Einsatzplanungswerkzeuge und Simulationsmodelle sowie Geodatenbestände portalbasiert in einem übergreifenden Decision Support System integriert. Insgesamt zeichnet sich das Zivil- und Katastrophenschutzsystem durch intuitive, fehlertolerante Bedienung sowie akteurspezifische und ereignisabhängige Darstellung von Informationen aus.

Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology (CEDIM) – Ergebnisse und Perspektiven

Friedemann Wenzel¹, Annegret Thieken², Heidi Kreibich², Petra Köhler², Matthias Müller², Gottfried Grünthal², Patrick Heneka¹, Thomas Hofherr¹, Rutger Wahlström², Lorenz Kleist¹, Bruno Büchele¹, Andreas Kron¹, Sergiy Tyagunov¹, Joachim Wächter², Bruno Merz², Christoph Kottmeier¹, Bodo Ruck¹, Franz Nestmann¹, Lothar Stempniewski¹, Jochen Zschau²

¹*CEDIM, Universität Karlsruhe (TH), 76128 Karlsruhe, Deutschland, E-Mail: friedemann.wenzel@gpi.uni-karlsruhe.de, Telefon: +49(0)721/6084431*

²*GeoForschungsZentrum Potsdam, Telegrafenberg, 14473 Potsdam, Deutschland*

Kurzfassung

CEDIM (<http://www.cedim.de>) wurde im November 2002 gemeinsam vom GeoForschungsZentrum Potsdam und der Universität Karlsruhe gegründet. An diesem virtuellen Institut sind sechs Sektionen des GFZ und elf Institute der Universität Karlsruhe beteiligt. Wesentliches Ziel der Forschungsarbeiten in CEDIM ist es, Risiken durch Naturgefahren und mensch-gemachte Gefahren besser zu verstehen, früher zu erkennen und die Folgen von Katastrophen besser zu beherrschen. Dazu ist die Zusammenarbeit verschiedener, in der Katastrophenforschung tätiger wissenschaftlicher Disziplinen notwendig. In CEDIM reicht dieser Verbund von den Geowissenschaften und der Meteorologie über die Ingenieurwissenschaften, die Regionalplanung und die Informatik bis hin zu den Wirtschafts- und Sozialwissenschaften. In einem ersten Projekt wurden Methoden und Werkzeuge zur Risikokartierung in Deutschland erarbeitet, und zwar für Gefährdungen durch Hochwasser, Stürme, Starkbeben, Weltraumwetter und 'Anthropogene Katastrophen'. Für keine dieser Gefahren existiert zurzeit eine deutschlandweite Karte mit quantitativen Risikoangaben. Alle Teilprojekte des CEDIM-Projektes 'Risikokarte Deutschland' sind in Abb. 1 zusammengestellt.

Stichworte

Gefährdung, Vulnerabilität, Risiko, Risikokartierung

1. Konzept der Risikoanalyse im CEDIM-Projekt 'Risikokarte Deutschland'

Ein Ziel im Projekt 'Risikokarte Deutschland' war es, die Risiken, die durch die Naturgefahren Sturm, Hochwasser und Erdbeben entstehen, miteinander vergleichbar darzustellen (Abb. 1). Um dieses Ziel zu erreichen, wurde folgendes Konzept für die Risikoanalyse erarbeitet, das am Beispiel der Naturgefahr Hochwasser in Abb. 2 schematisch dargestellt ist.

In den Ingenieurwissenschaften und bei technischen Risikoanalysen wird der Begriff Risiko häufig als Wahrscheinlichkeit definiert, mit der ein bestimmter Schaden eintritt bzw. überschritten wird (z.B. Kaplan and Garrick, 1981; Crichton, 1999; CEDIM, 2005; Grünthal et al., 2006). Diese Definition liegt auch den Arbeiten im CEDIM-Projekt 'Risikokarte Deutschland' zugrunde. In diesem Kontext beinhaltet Risiko drei verschiedene Aspekte: Gefährdung, Vulnerabilität (im Sinne von Schadensanfälligkeit) und (Vermögens-)Wert der potenziell betroffenen Objekte (Risikolemente).

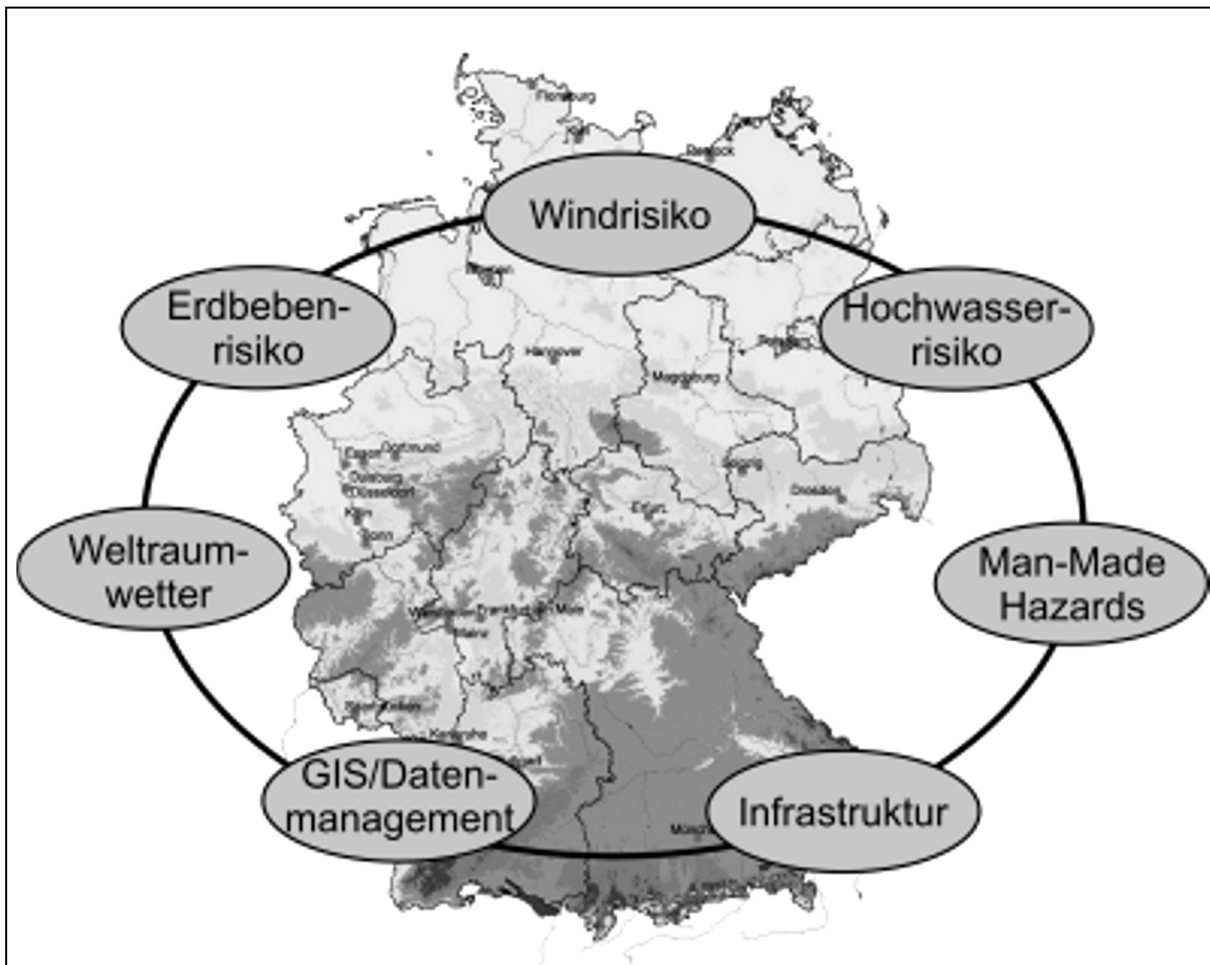


Abbildung 1: Teilprojekte im CEDIM-Projekt 'Risikokarte Deutschland'.

Gefährdungsabschätzungen werden für jede Naturgefahr getrennt durchgeführt und beinhalten räumliche Szenarien mit Intensitätsaussagen, zum Beispiel Überflutungstiefen für Hochwasser, Böenwindgeschwindigkeiten für Stürme und makroseismische Intensitäten für Erdbeben (Büchle et al., 2006; Heneka et al., 2006; Tyagunov et al., 2006). Für quantitative Risikoabschätzungen muss jedem Szenario außerdem eine Überschreitungswahrscheinlichkeit oder eine Wiederkehrperiode zugeordnet werden (vgl. Abb. 2). Das Wiederkehrintervall beschreibt die Zeitdauer, die im langjährigen statistischen Mittel zwischen Ereignissen derselben Grö-

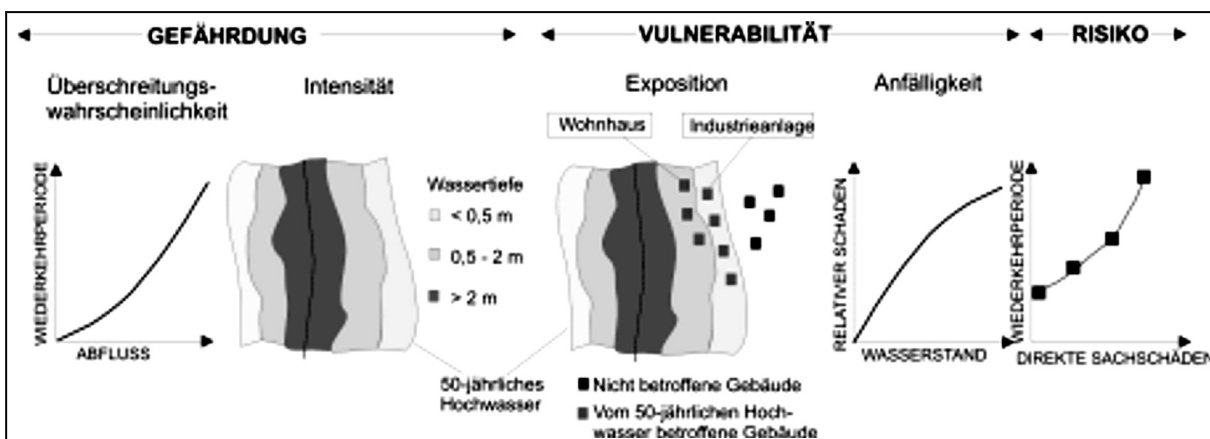


Abbildung 2: Elemente einer quantitativen Risikoanalyse, dargestellt am Beispiel Hochwasser (Merz et al. 2004).

Benennung liegt und ist der Reziprokwert der Überschreitungswahrscheinlichkeit:

$$T = \frac{1}{P_{\bar{u}}} \quad (1)$$

mit T: Jährlichkeit oder Wiederkehrintervall und $P_{\bar{u}}$: Überschreitungswahrscheinlichkeit.

Da die Auswirkungen der meisten Naturkatastrophen in Deutschland weniger durch eine große Zahl von Opfern als vielmehr durch Schäden an Vermögenswerten und der öffentlichen Infrastruktur sowie durch Produktionsausfälle charakterisiert werden, stehen im Projekt 'Risikokarte Deutschland' wirtschaftliche Schäden im Vordergrund. Dabei wird prinzipiell zwischen direkten Kosten (Reparatur- und Wiederherstellungskosten, Kosten für Hilfeleistungen) und indirekten Kosten (Kapitalkosten, Umzugskosten, Einkommensverluste, Mietverluste, Arbeitslosigkeit) unterschieden, die für verschiedene Sektoren oder Risikoelemente (Privat Haushalte, Unternehmen, Infrastruktur, Land-/Forstwirtschaft etc.) abgeschätzt werden können. Für die Risikoanalyse in CEDIM wurden zunächst direkte ökonomische Schäden an Wohngebäuden - definiert als Wiederherstellungskosten für das Referenzjahr 2000 - als Risikoindikator ausgewählt. Darüber hinaus wurden in den Teilprojekten 'Infrastruktur' und 'Man-Made Hazards' Auswirkungen von extremen Ereignissen auf kritische Infrastrukturen in Deutschland untersucht.

Um verschiedene Risiken vergleichen zu können, ist es essentiell, dass alle Schadensabschätzungen auf demselben Kostenansatz (z.B. Zeitwerte oder Wiederherstellungswerte) und Wertinventar basieren. Um dies zu gewährleisten, wurde ein einheitliches Inventar der potentiell gefährdeten Vermögenswerte entwickelt. Diese Festlegung impliziert, dass die verwendeten Schadenmodelle nur Schadensgrade berechnen, d.h. den Schaden als Prozentanteil des Gesamtwertes des geschädigten Objekts liefern. Der monetäre Schaden wird danach durch Multiplikation der Schadensgrade mit dem entsprechenden Vermögensbestand ermittelt.

Risikoaussagen entstehen durch die Berechnung von Schäden für mehrere Gefährdungsszenarien, denen jeweils eine Überschreitungswahrscheinlichkeit oder ein Wiederkehrintervall zugeordnet ist. Diese Risikokurve quantifiziert das Risiko über die gesamte Bandbreite von denkbaren Ereignissen. Aufgrund der Unsicherheit der Schadenabschätzung werden Risikoaussagen im Allgemeinen aggregiert (z.B. pro Gemeinde). Für Planungen und Risikobewertungen wird oftmals nicht die gesamte Risikokurve ausgewertet, sondern es wird stattdessen der Schadenserwartungswert $E(D)$ berechnet, der z.B. für Hochwasser folgendermaßen definiert werden kann (s. Merz & Thielen, 2004):

$$R = E\langle D \rangle = \int_{q_D}^{\infty} D(q) f(q) dq \quad (2)$$

wobei q den jährlichen maximalen Abfluss, $f(q)$ die kontinuierliche Verteilungsfunktion von q und $D(q)$ den zu erwartenden Schaden beschreibt. q_D ist der Abfluss, ab dem Hochwasserschäden auftreten. Wenn nur wenige Szenarien betrachtet werden, wird der Schadenserwartungswert folgendermaßen ermittelt:

$$R = E\langle D \rangle = \sum_{j=1}^m \Delta P_j D_j \quad (3)$$

wobei D_j und ΔP_j den mittleren Hochwasserschaden und das Wahrscheinlichkeitsinkrement für das j -te Intervall angeben und m die Anzahl der Wahrscheinlichkeitsinkremente ist. Die Berechnung für andere Risiken erfolgt analog.

Extreme Ereignisse tragen aufgrund ihrer Seltenheit nur wenig zum Schadenerwartungswert bei (Merz & Thieken, 2004). Risikobewertungen, die nur auf dem Schadenerwartungswert basieren, tendieren demnach dazu, extreme Ereignisse zu vernachlässigen. Es wird daher empfohlen, die gesamte Risikokurve in die Bewertung einzubeziehen.

2. Abschätzung der Vermögenswerte von Wohngebäuden in Deutschland

Um die Vergleichbarkeit der Risikoanalysen zu gewährleisten, wurde eine gemeinsame Datenbasis erstellt. Diese besteht sowohl aus akquirierten Datensätzen als auch aus eigenen Berechnungen zu den Vermögenswerten. Die Bereitstellung der Daten erfolgt über einen internetbasierten Server, der im Nachfolgenden beschrieben wird.

Während Eingangsdaten und Methoden der Gefährdungs- und Vulnerabilitätsanalysen für die verschiedenen Naturgefahren variieren, muss für einen konsistenten Vergleich von Risiken eine einheitliche Datenbasis über die potenziell exponierten Werte verwendet werden. Um Vermögenswerte der Wohngebäude in ganz Deutschland zu ermitteln, wurde eine interdisziplinäre Arbeitsgruppe gebildet. Diese entwickelte eine Methode zur Abschätzung der Wohngebäudewerte auf Basis von Normalherstellungskosten (NHK), INFAS Geodaten (2001) zur Anzahl und Art der Gebäude pro Gemeinde und weiteren statistischen Daten, z.B. den Wohnflächen pro Landkreis.

In einem ersten Berechnungsschritt wurde für die Gebäude nach Angaben von INFAS die Wohnfläche pro Gebäudetyp und Gemeinde mit Hilfe von Daten des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung (BBR, 2003) und des Statistischen Bundesamtes (2004) berechnet. In einem zweiten Schritt wurde die Wohnfläche pro INFAS-Gebäudetyp auf NHK-Gebäudetypen aufgeteilt. Danach wurden mit Hilfe der Normalherstellungskosten (BMVBW, 2001) und der Korrekturfaktoren pro Bundesland und Gemeindegröße monetäre Größen pro Gebäudetyp und Gemeinde ermittelt (s. Kleist et al., 2006).

Mit diesem Ansatz wurden Berechnungen für ganz Deutschland durchgeführt, d.h. pro Gemeinde liegt ein Wert für das Gesamtwohnvermögen und das Pro-Kopf-Wohnvermögen vor. Abb. 3 zeigt die geographische Verteilung des Pro-Kopf-Wohnvermögens in Deutschlands Gemeinden für das Referenzjahr 2000. Das mittlere Pro-Kopf-Wohnvermögen beträgt 42820 €, wobei ein deutlicher Nord-Süd-Unterschied zu erkennen ist (Thieken et al., 2006).

3. Risikoanalysen für verschiedene Naturgefahren

3.1 Risikoanalyse Erdbeben

Die Erdbebengefährdung wurde auf Basis der existierenden D-A-CH-Karte für eine Nicht-Überschreitungswahrscheinlichkeit von 90% in 50 Jahren abgeleitet (Grünthal et al., 1998). Weiterhin wurden Vulnerabilitätsverteilungsmodelle für ausgewählte repräsentative Kommunen mit unterschiedlichen Einwohnerzahlen konstruiert. Dafür wurden Schadenswahrscheinlichkeits-Matrizen sowie Fragilitäts- und Vulnerabilitätskurven für unterschiedliche Gebäudetypen entsprechend der Vulnerabilitätsklassifikation der Europäischen Makro-seismischen Skala EMS-98 erstellt (Grünthal, 1998) und auf die INFAS-Daten zum Gebäudebestand angewendet. Diese Auswertungen lieferten die Basis für Schadenskurven für Kommunen unterschiedlicher Größe sowie für Abschätzungen von potentiellen Schadensverteilungen abhängig vom seismischen Input.

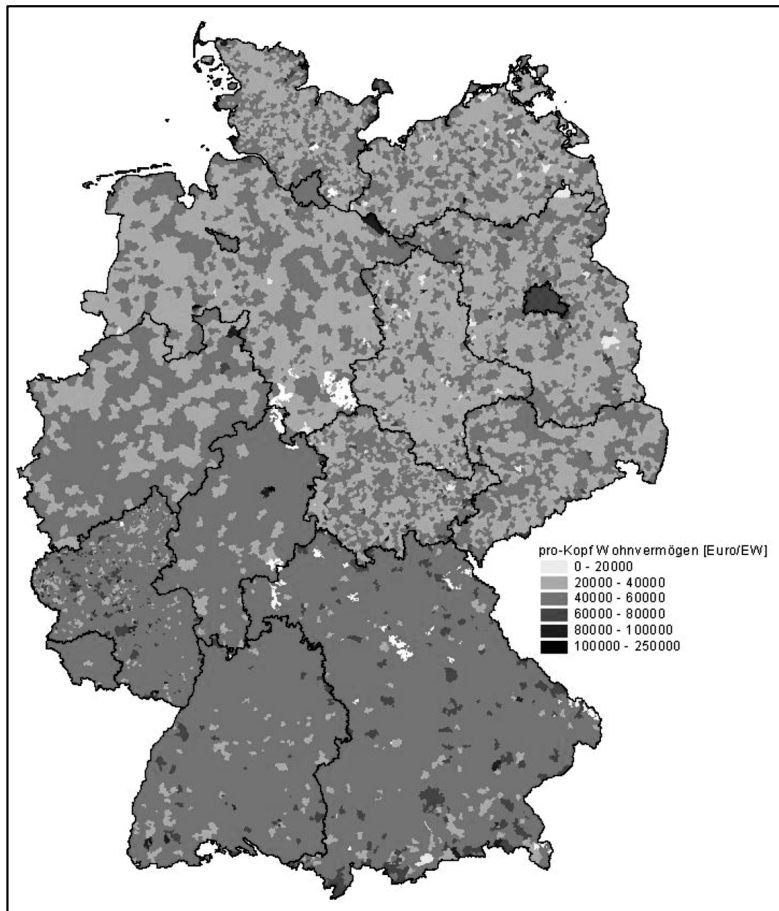


Abbildung 3: Pro-Kopf-Wohnvermögen auf Gemeindeebene in Deutschland (Angabe in [Euro/Einwohner] für das Referenzjahr 2000).

Mit diesem Ansatz wurden potentielle Schäden am existierenden Gebäudebestand von Kommunen in ganz Deutschland analysiert, und die räumliche Verteilung des Risikopotentials für das Gesamtgebiet Deutschlands wurde aus der Kombination von seismischer Gefährdung, Vulnerabilitäten des Gebäudebestands und den Werten der gefährdeten Gebäude grob abgeschätzt.

Insgesamt wurde in diesem Projekt eine Methodik zur groben Abschätzung der Erdbebengefährdung sowie der seismischen Schäden entwickelt. Die gewonnenen Resultate zeigen die Anwendbarkeit des entwickelten Ansatzes hinsichtlich der Erdbebenrisikoanalyse im regionalen und nationalen Maßstab. Mit einigen Modi-

fikationen kann die Methodik für die Schadens- und Verlustabschätzung für einzelne seismische Ereignisse und die Entwicklung von Erdbebenszenarien verwendet werden.

Auf der Grundlage der gesammelten Informationen über den Gebäudebestand der ausgewählten repräsentativen Kommunen wurden die Vulnerabilitätsstrukturmodelle für fünf Bevölkerungsklassen zusammengestellt. Es wird angenommen, dass diese Modelle repräsentativ und anwendbar auf alle Kommunen in erdbebengefährdeten Gebieten Deutschlands sind. Die Ergebnisse der Abstimmung zeigen, dass die Modelle zur groben Abschätzung der monetären Verluste bei zukünftigen Erdbeben verwendet werden können.

Aus den Arbeiten sind folgende Karten entstanden:

- Eine Karte des spezifischen Schadens (mean damage ratio) für den vorhandenen Gebäudebestand deutscher Kommunen wurde produziert.
- Eine Karte der Verteilung des Erdbebenrisikopotentials für das Territorium der Bundesrepublik Deutschland wurde als Kombination aus der Erdbebengefährdung und Vulnerabilität von Bauwerken sowie den Gebäudewerten erstellt.

Die erzielten Ergebnisse entsprechen dem betrachteten Erdbebengefährdungsniveau für eine Nichtüberschreitenswahrscheinlichkeit von 90% in 50 Jahren. Die Karten stellen eine erste Näherung zur Abschätzung der Erdbebenrisikoverteilung in Deutschland dar.

Von Erdbeben betroffene Gebiete nehmen beträchtliche Teile Deutschlands ein. Die besonders von Erdbeben betroffenen Gebiete sind teils dicht besiedelt, industrialisiert und weisen eine hohe Konzentration an Infrastruktur auf mit besonderer Herausforderung für künftige

Katastrophenvorsorgemaßnahmen und Risikominderungsaktivitäten. Für Deutschland stellt sich das typische Problem, dass kleine Eintreffenswahrscheinlichkeiten potentiell schwerwiegende finanzielle Verluste hervorrufen. Dadurch sind Erdbeben-Risikoanalysen unentbehrlich für Planer, Versicherer und Entscheidungsträger zur Vorsorge bei möglichen künftigen seismischen Ereignissen größeren Ausmaßes, wie diese in der Historie mehrfach aufgetreten sind.

3.2 Ermittlung des Sturmschadensrisikos für Wohngebäude in Deutschland und Erstellung einer hochaufgelösten Risikokarte

Die Quantifizierung des Sturmschadensrisikos (Schadenserwartungswerte) ist für Vorsorge, Anpassungs- und Bewältigungsmaßnahmen unerlässlich. Im vorliegenden Vorhaben wird deshalb eine Sturmschadensrisikokarte für Wohngebäude für ganz Deutschland erstellt. Eine solche bundesweite Risikokartierung wurde bisher noch nicht durchgeführt und verlässliche Angaben über das Sturmrisiko in hoher räumlicher Auflösung fehlen gänzlich.

Das Projekt besteht aus zwei eng miteinander verzahnten Teilprojekten. Das Teilprojekt am Institut für Meteorologie und Klimaforschung (Universität Karlsruhe / Forschungszentrum Karlsruhe) befasst sich mit der Sturmgefährdung; am Laboratorium für Gebäude- und Umweltaerodynamik des Instituts für Hydromechanik (Universität Karlsruhe) werden die Berechnungen zur Vulnerabilität von Gebäudestrukturen und zum Sturmschadensrisiko durchgeführt.

Die Ziele des Projekts sind, ein Verfahren zur bundesweiten Abschätzung des Sturmschadensrisikos in hoher räumlicher Auflösung zu entwickeln, Sturmgefährdungskarten für beliebige Überschreitungswahrscheinlichkeiten mit einer Auflösung von 1km x 1km zu erstellen sowie die Schadensanfälligkeit von existierenden Wohngebäuden zu modellieren.

Im Projekt wurden folgende Arbeiten durchgeführt: Mit Hilfe von Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) wurden die stärksten Sturmereignisse der letzten 30 Jahre detektiert. Für die räumlich hoch aufgelöste Starkwindsimulation dieser Sturmereignisse wurde das numerische Modell KAMM (Karlsruher Atmosphärisches Mesoscaliges Modell) modifiziert. Die Anfangsfelder für das Modell wurden mittels eines Tools aus ERA-40 Daten des ECMWF gewonnen. Mit extremwertstatistischen Methoden wurde dann an jedem Punkt des 1 km x 1 km Rasters eine Verteilungsfunktion (Gumbel) angepasst, mit der Aussagen über die Auftretenswahrscheinlichkeiten bestimmter Windgeschwindigkeiten an einem bestimmten Ort gemacht werden können.

Die Vulnerabilität von privaten Wohngebäuden wurde mit Schadensfunktionen abgeschätzt. Dazu wurde ein theoretisches Modell erstellt und mit Schadensdaten vergangener Sturmergebnisse der SV-Gebäudeversicherung Baden-Württemberg kalibriert und validiert. Dieses Modell ermöglicht die Berechnung der Anzahl der betroffenen Gebäude und der Schadenshöhe innerhalb einer Gemeinde in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeiten und der Ortslage.

Die Verknüpfung von Sturmgefährdung, Vulnerabilität und betroffenen Werten resultiert in der Risikoabschätzung. Dazu wurden mit Hilfe von Monte-Carlo Methoden für jede Gemeinde spezifische Schadens-Häufigkeitskurven (Risikokurven) erstellt. Es lassen sich für jährliche Überschreitenswahrscheinlichkeiten bis $p_{min} = 0,005$ (das entspricht einer mittleren Wiederkehrperiode von 200 Jahren) die zu erwartenden Schäden inklusive einer Angabe der Unsicherheiten ablesen.

Mit dieser Vorgehensweise konnten folgende Ergebnisse erzielt werden: Die Starkwindgefährdungskarte für Baden-Württemberg (Abbildung 4) veranschaulicht die stark von den o-

rographischen Gegebenheiten geprägte Gefährdung im südwestdeutschen Raum. Diese führen zu großen räumlichen Unterschieden in der Auftretenswahrscheinlichkeit bestimmter Windgeschwindigkeiten. Windgeschwindigkeiten von 45 m/s, die am Feldberg in fast jedem Jahr auftreten, erwartet man in Freiburg nur alle 200 Jahre. Allgemein liegen die Werte in dem zu erwartenden Bereich. Während Geschwindigkeitsmaxima an Flanken, Kanten und Kuppen auftreten, befinden sich die Minima meist in kleinen und engen Tälern.

Das Schadensrisiko für bestimmte Gebiete innerhalb Baden-Württembergs ist in Abbildung 5 dargestellt. Die statistisch am stärksten betroffenen Gebiete liegen entlang des östlichen Schwarzwaldes und der nord-westlichen Schwäbischen Alb. Des Weiteren wurden fiktive Sturmszenarien berechnet. Bei einem Sturmszenario mit 10% höheren Windgeschwindigkeiten als beim Orkan 'Lothar' (26.12.1999) muss für Baden-Württemberg mit der dreifachen Schadenshöhe und der doppelten Anzahl der betroffenen Gebäude gerechnet werden.

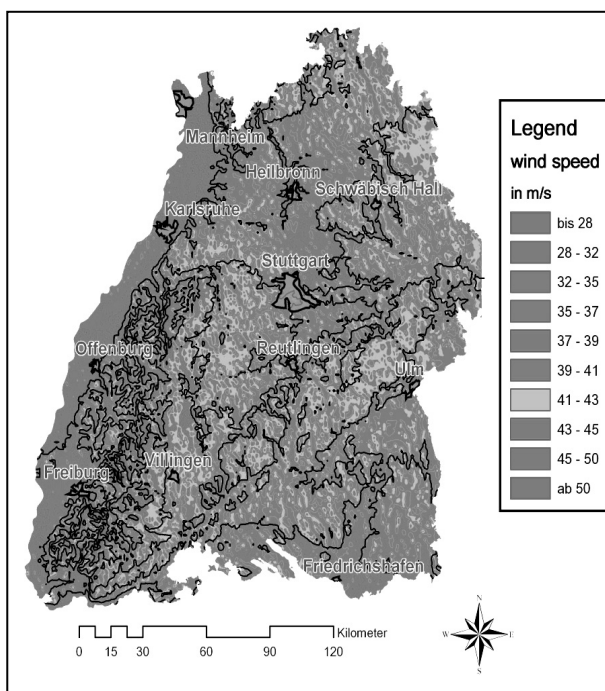


Abbildung 4: Starkwindgefährdungskarte für Baden-Württemberg. Dargestellt ist die Bienenwindgeschwindigkeit die mit einer jährlichen Wahrscheinlichkeit von 2% erreicht oder überschritten wird für das Referenzjahr 2000).

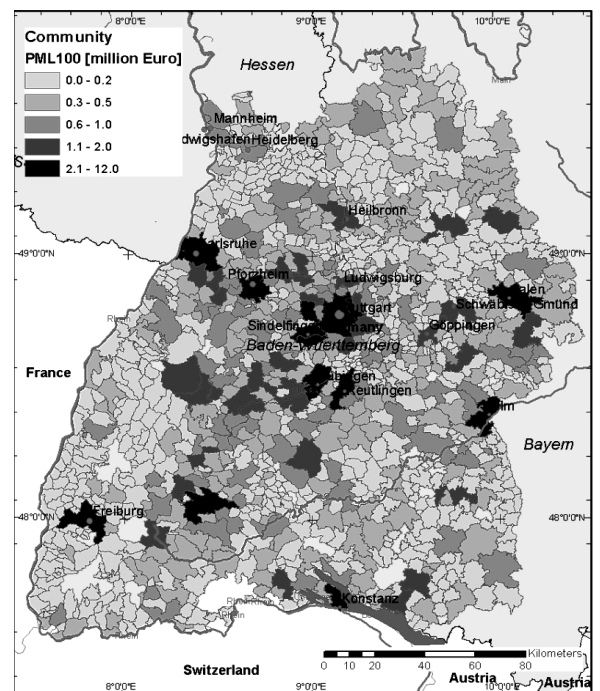


Abbildung 5: Sturmschadensrisikokarte für Baden-Württemberg. Dargestellt ist der Schaden der mit einer jährlichen Wahrscheinlichkeit von 1% erreicht oder überschritten wird.

3.3 Methodenentwicklung für eine verbesserte Hochwasserrisikoabschätzung

Trotz der Tatsache, dass Hochwasserereignisse natürliche Erscheinungen sind, die schon immer aufgetreten sind und auch zukünftig immer wieder auftreten werden, ist in den letzten Jahrzehnten ein Anstieg der durch Hochwasser verursachten Schäden zu verzeichnen. Ein wesentlicher Faktor ist hierbei die Siedlungsentwicklung der letzten Jahre und Jahrzehnte, die zu einem ständigen Wertezuwachs in gewässernahen Bereichen geführt hat. In Deutschland verursachten zum Beispiel die Rheinhochwasser der Jahre 1993 und 1995 insgesamt 810 Mio. €, das 1997er Oderhochwasser 330 Mio. €, das Pfingsthochwasser 1999 an der Donau 412 Mio. € und das Augusthochwasser 2002 an der Elbe und Donau 11800 Mio. € Schäden (Kron, 2004). Der Bedarf an verbesserten Methoden zur Einschätzung des Hochwasserri-

sikos und an räumlichen Daten, insbesondere an Gefahren- und Risikokarten, für die Verbesserung des Risikomanagements ist offensichtlich. Somit lag der Fokus des Teilprojektes 'Hochwasserrisiko' auf der Entwicklung verbesserter Methoden zur Gefahren- und Vulnerabilitätsabschätzung sowie der Hochwasserrisikokartierung. Die Methodenentwicklung und ihre Implementierung in operationelle Werkzeuge wurden in ausgewählten Testgebieten durchgeführt. Die entwickelten Methoden sind auf andere Flüsse übertragbar.

Entsprechend dem Konzept der Risikoanalyse (Abb. 2) wird der Bereich Hochwasser in den Teilprojekten 'Hydrologie', 'Hydraulik', 'mikroskalige Schadenabschätzung' (Institut für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe) und 'mesoskalige Schadenabschätzung' (Sektion Ingenieurhydrologie am GeoForschungsZentrum Potsdam) bearbeitet.

In der Hydrologie wurde das Regionalisierungsmodell für Hochwasserabfluss-Kennwerte in Baden-Württemberg (LfU, 1999; 2001) für den Extrembereich, das heißt für Wiederkehrintervalle zwischen 200 und 10.000 Jahren, erweitert. Die Validierung erfolgte durch den Vergleich der berechneten Hochwasserabfluss-Kennwerte mit den Ergebnissen extremwertstatistischer Analysen an verfügbaren Pegelstellen und mit den Ergebnissen einer Niederschlags-Abflussmodellierung im Einzugsgebiet der Fils.

Im hydraulischen Teil des Projektes wurde als Referenzszenario für Extremereignisse das Hochwasser im Jahr 1824 am Neckar modelliert, und das Hochwassersimulationsmodell Neckar für Extremsituationen erweitert. Die Unsicherheiten in der Berechnung der Wasserstände und als Folge auch die Auswirkungen auf die berechneten Hochwasserschäden wurden analysiert.

Für die mikroskalige Schadenabschätzung wurde auf Basis des Hochwassersimulationsmodells für den Neckar eine spezifische Modellkomponente zur Schadenabschätzung entwickelt, so dass ein praktisches, GIS-basiertes Tool zur Hochwasserschadenanalyse bereitgestellt werden konnte. Da Voruntersuchungen gezeigt hatten, dass die Variabilität in den Schadendaten und somit die Unsicherheit bei der Schadenabschätzung um so geringer wird, je mehr spezifizierende Einflussfaktoren berücksichtigt werden, wurde für die mesoskalige Schadenabschätzung ein multifaktorielles regelbasiertes Schadenabschätzungsmodell entwickelt.

4. Zusammenführung der Ergebnisse im CEDIM Risk Explorer

Um alle Projektergebnisse einheitlich aufzubereiten und in einem System zu veröffentlichen, wurde ein Konzept für einen internetbasierten Kartenservice erarbeitet. Dafür wurde zunächst die vorhandene Client-Server-Struktur des CEDIM Data Centers (s.o.) genutzt und parallel zum bestehenden Geodatenservice ein neuer Kartenservice 'CEDIM Risk Explorer' aufgesetzt, der ebenfalls auf dem Internet Map Service ArcIMS von ESRI beruht (Abb. 6). Für den Kartenservice wurde eine der neuen Bestimmung angepasste grafische Oberfläche erzeugt. Außerdem wurden die Funktionalitäten angepasst und z.B. um eine Druckfunktion ergänzt.

Die in CEDIM erarbeiteten Karten werden im CEDIM Risk Explorer nach Gefahren-, Vulnerabilitäts- und Risikokarten sowie nach den Katastrophentypen eingeteilt. Einzelne Karten können für die Visualisierung ausgewählt und miteinander kombiniert werden. Durch das Software Tool 'CEDIM Risk Explorer' wurde ein nutzerorientiertes Werkzeug geschaffen, mit dem zukünftige Daten und Ergebnisse verschiedener CEDIM-Projekte konsequent aufgenommen und dargestellt werden können.

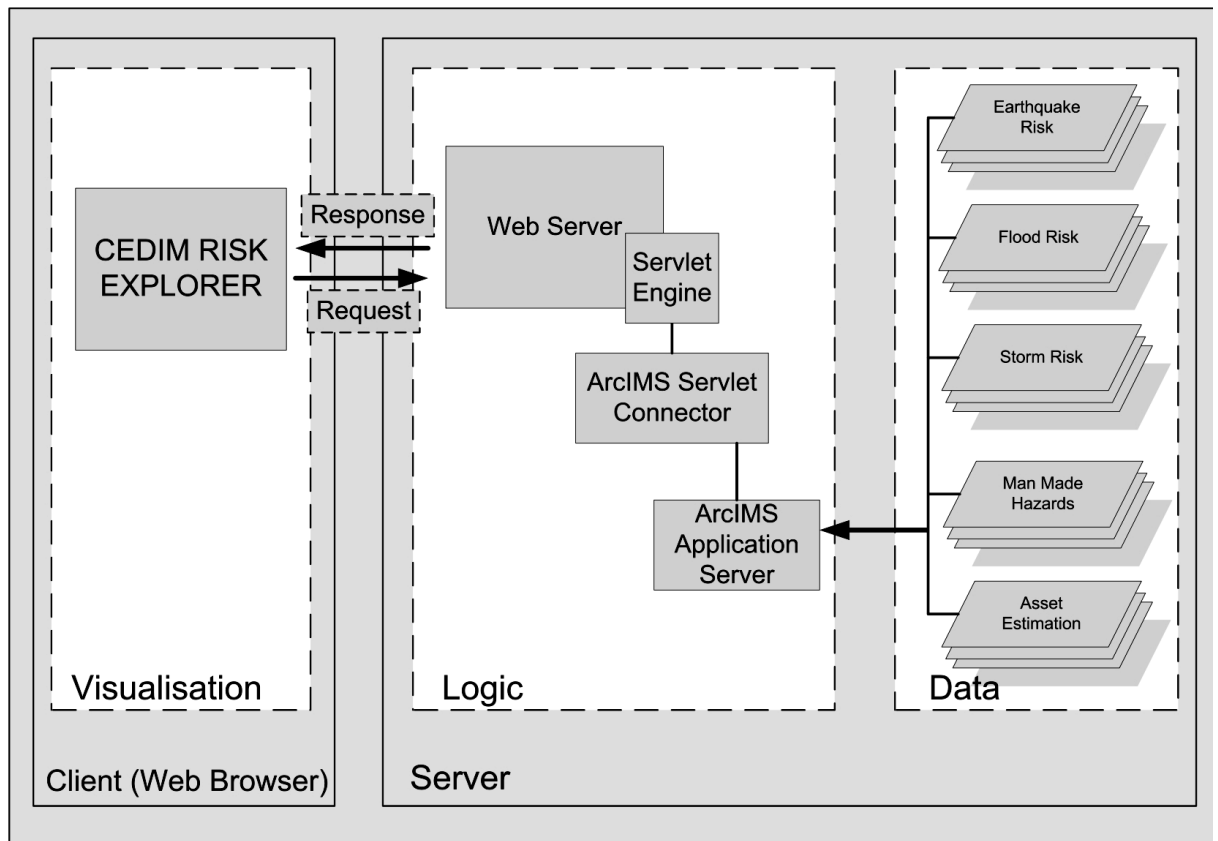


Abbildung 6: Client-Server-Struktur des digitalen Risikoatlases (Prototyp).

5. Weitere CEDIM-Projekte

Eine interdisziplinäre Arbeitsgruppe von CEDIM beschäftigt sich mit einer systematischen synoptischen Analyse der Naturgefahren Hochwasser, Wintersturm und Erdbeben für das Bundesland Sachsen. Auf dem Niveau von Gemeinden, von denen es in Sachsen 539 gibt, werden diese Risiken quantitativ, unter Heranziehung einer probabilistischen Betrachtungsweise analysiert. Dabei werden für jede dieser Gemeinden die Risikokurven für die 3 Desastertypen entwickelt und Größen wie 'Annual Average Loss (AAL)' und 'Probable Maximum Loss (PML)' berechnet, angegeben und bewertet.

Ein weiteres wichtiges Thema einer Arbeitsgruppe, der 'Asset Estimation Group (AEG)', ist die Abschätzung der Werte von Objekten mit kommerzieller Nutzung (Industriewertabschätzung), die insbesondere die Bestimmung des Anlagevermögens auf Gemeindeebene in unterschiedlichen Branchen beinhaltet. Dabei kommen zwei grundlegend verschiedene Verfahren zur Anwendung. (1) Der Top-Down-Verhältnisansatz, der in der Disaggregation von Anlagevermögen mittels verwandter wirtschaftsstatistischer Größen besteht; (2) der Bottom-Up Referenzanlagen-Ansatz, der in der Zuordnung einzelner Produktionsanlagen zu bestimmten Referenzklassen an Anlagevermögen unter Verwendung von Wertannahmen pro Referenzklasse besteht. Beide Ansätze werden zurzeit im Neckarraum vergleichend verfolgt. Der Referenzanlagenansatz ermöglicht zusätzlich zu einer Werteabschätzung den Einschluss von Vulnerabilitätsuntersuchungen. Der Vergleich der beiden Ansätze wird zum einen auf Betriebsebene (für kleine, mittlere und große Betriebe einer Branche) erfolgen. Zum zweiten werden die Ergebnisse auf Gemeinde-, Kreis- und Landesebene aggregiert, und schließlich mit 'externen' Datensätzen, zum Beispiel aus Befragungen oder Betriebsbegehungen abgeglichen.

Die Arbeitsgruppe 'Einwirkungen von Katastrophen auf Infrastruktursysteme' hat zum Ziel, vorhandene wissenschaftliche Ansätze zur Quantifizierung von Flüssen in Infrastruktursystemen mit Modellen der Gefährdung und Schadenseinwirkung zu verknüpfen. Solche Infrastruktursysteme sind Transportsysteme (Straße, Bahn), Stromnetze Kommunikationsnetze Frischwasser-, und Brauchwassersysteme. Der Fokus liegt momentan in der Betrachtung des Einflusses von Erdbeben und Hochwasser auf Verkehrsflusssysteme. Dabei werden entsprechende Programme des Instituts für Wirtschaftspolitik und Wirtschaftsforschung (IWW) und daran geknüpfte makroökonomische Module zum Einsatz kommen und mit Gefährdungs-, und Vulnerabilitätsmodellen von Straßen, Brücken und Tunnels verbunden.

In einem Projekt der Helmholtzgemeinschaft (HGF) wird die Vulnerabilität der Megastadt Istanbul untersucht. Die Vulnerabilität dieser Großstadt hat sich nicht nur während des jüngsten großen Erdbebens am 24. August 1999 bei Koaceli gezeigt, sondern ändert sich dynamisch durch das Anwachsen der Bevölkerung, die daraus resultierende Bautätigkeit, aber auch durch die Veränderung der Gefährdung selbst nämlich durch Stressaufbau und Umlagerung als Folge früherer Ereignisse. CEDIM strebt in diesem Projekt die Entwicklung von Methoden zur Überwachung von Erdbebengefährdung, Fragilität und Vulnerabilität an. Die Ergebnisse werden mit den zuständigen Stellen für Katastrophenmanagement und Stadtplanung der Stadt Istanbul diskutiert, aufgebracht und diesen Institutionen zur Verfügung gestellt.

Neue Instrumente für Echtzeitanwendungen von Gefährdungs- und Risikoanalysen werden in zwei von externen Geldgebern finanzierten Projekten entwickelt. In einem von BMBF im Rahmen des Programms Geotechnologien geförderten Projekts 'Earthquake Disaster Information System for the Marmara Region, Turkey (EDIM)' werden die notwendigen Werkzeuge zur schnellen Übermittlung, Auswertung und Nutzung von Informationen bei Erdbeben wie Magnitude und Hypozentrum, voraussichtliche Bodenbewegung und voraussichtliche Schäden in Echtzeit entwickelt. Eine vergleichbare Zielsetzung hat das europäische Projekt SAFER, das als Akronym für 'Seismic Early Warning for Europe' dient. Es verbindet 22 Partner in Europa und angrenzenden Ländern und wird von einem der CEDIM-Träger, dem GFZ Potsdam koordiniert.

6. Ausblick

CEDIM hat sich bei seiner Gründung im Jahr 2002 auf die Kartierung von Risiken auf der Skala der Bundesrepublik konzentriert, und in diesem Bereich eine Datenbasis und eine Kenntnisbasis für Deutschland entwickelt, die es zuvor in dieser systematischen Weise nicht gab. Die Perspektiven liegen in der Nutzung dieser Basis im Sinne einer Synopse und einer Multi-Hazard und Risikobetrachtung sowie in der Einbeziehung industrieller Schäden in die Risikobetrachtung. Ein weiteres wichtiges Zukunftsthema ist die Einwirkung von Katastrophen auf Infrastruktursysteme, bei denen die 'Risikogleichung' stark nichtlinear wird und deshalb die Vorhersagbarkeit oder Bewertung von Schäden besonders schwierig wird. Ein weiterer Schwerpunkt in der zukünftigen Entwicklung wird die Bereitstellung der wissenschaftlichen Grundlagen für Echtzeitanwendungen sein. Diese werden heute schon systematisch im Bereich Erdbeben projektweise vorangetrieben, geplant ist aber auch diese Ideen auf den Bereich des Hochwassers vor allem aber auch des Wintersturms auszudehnen. Die Perspektiven bestehen darin, in Zukunft die Wettervorhersage der Dienste durch eine Schadensvorhersage zu ergänzen. Die Ergebnisse von CEDIM sollen schnellen und wirkungsvollen Eingang in die Praxis finden. Wir sichern dies einerseits durch die intensive Interaktion mit unseren externen Beratungsgremien ab. Ein weiterer Weg besteht darin, Ergebnisse über eine Firma - die cedim

AG - zu vermarkten (www.cedim-ag.de). Die cedim AG mit ihrem Sitz in Karlsruhe bietet intelligente Lösungen für ein verantwortungsvolles Risiko- und Katastrophenmanagement. Sie verfügt über die Geschäftsbereiche 'Beratung' und 'Entwicklung von Informationssystemen'. Die Tätigkeit der cedim AG basiert im Wesentlichen auf dem Knowhow, auf Daten und Methoden, die wissenschaftlich in dem Exzellenzzentrum CEDIM entwickelt wurden.

Literaturverzeichnis

- BBR (Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung) (2003) INKAR 2003 - Indikatoren und Karten zur Raumentwicklung 2003, CD-ROM, Bonn.
- BMVBW (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen) (2001) Normalherstellungskosten 2000 (NHK 2000), Berlin.
- Büchle, B., Kreibich, H., Kron, A., Thielen, A.H., Ihringer, J., Oberle, P., Merz, B., Nestmann, F. (2006) Flood-risk mapping: contributions towards an enhanced assessment of extreme events and associated risks. - Submitted to NHESS.
- CEDIM (2005) Glossary: Terms and definitions in risk science. http://www.rz.uni-karlsruhe.de/~gd202/www.cedim/english/seite_16.php, Zitiert 2005.
- Crichton, D. (1999) The Risk Triangle. - In: Ingleton, J. (Editor) Natural Disaster Management. Tudor Rose, London 102-103.
- Grünthal, G. (1998) European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98). - 99 S., Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Luxembourg.
- Grünthal, G., Mayer-Rosa, D., Lenhardt, W.A. (1998) Abschätzung der Erdbebengefährdung für die D-A-CH-Staaten - Deutschland, Österreich, Schweiz. - Bautechnik 75:10:753-767.
- Grünthal, G., Thielen, A.H., Schwarz, J., Radtke, K., Smolka, A., Merz, B. (2006) Comparative risk assessment for the city of Cologne, Germany – storms, floods, earthquakes. - Natural Hazards 38(1-2): 21-44, DOI: DO00018598, Zitiert 2006.
- Heneka, P., Hofherr, T., Ruck, B., Kottmeier, Ch. (2006) Development of a striom damage risk assessment method nad application to the German state of Baden-Württemberg. - Submitted to NHESS.
- INFAS GEOdaten GmbH (2001) Das DataWherehouse, Bonn. Status December 2001.
- Kaplan, S., Garrick, B.J. (1981) On the quantitative definition of risk. - Risk Analysis 1(1):11-27.
- Kleist L., Thielen A., Köhler P., Müller, M., Seifert I., Borst D., Werner U. (2006) Estimation of the regional stock of residential buildings as a basis for comparative risk assessment for Germany. - Submitted to NHESS.
- Kron, W. (2004) Zunehmende Überschwemmungsschäden: Eine Gefahr für die Versicherungswirtschaft? – Fachbeitrag auf der ATV-DVWK Bundestagung Würzburg, DCM, Meckenheim, 47-63.
- LfU (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) (1999) Hochwasserabfluss-Wahrscheinlichkeiten in Baden-Württemberg. - Oberirdische Gewässer/ Gewässerökologie 54, Karlsruhe.
- LfU (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) (2001) Hochwasserabfluss-Wahrscheinlichkeiten in Baden-Württemberg. - Oberirdische Gewässer/ Gewässerökologie 69, Karlsruhe, CD.
- Merz, B., Thielen, A.H. (2004) Flood risk analysis: Concepts and challenges. - Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft 56(3-4):27-34.
- Statistisches Bundesamt (2003) GENESIS online. 3. Wohnen, Umwelt. <https://www-genesis.destatis.de>, Wiesbaden. Zitiert 2003.
- Thielen, A.H., Müller, M., Kleist, L., Seifert, I., Borst, D., Werner, U. (2006) Regionalisation of asset values for risk analyses. – in press NHESS.
- Tjaganov, S., Grünthal, G., Wahlström, R., Stempniewski, L., Zschau, J. (2006) Seismic risk mapping for Germany. - Submitted to NHESS.

Forschungsarbeiten zum Risiko- und Katastrophenmanagement

Christine Schweier¹, Hagen Engelmann¹, Fritz Gehbauer¹, Michael Markus¹, Theodoros Zikas¹

¹*Institut für Technologie und Management im Baubetrieb, Universität Karlsruhe (TH), 76128 Karlsruhe, Deutschland, E-Mail: christine.schweier@kit.edu, engelmann@tmb.uni-karlsruhe.de, gehbauer@tmb.uni-karlsruhe.de, markus@tmb.uni-karlsruhe.de, zikas@tmb.uni-karlsruhe.de, Telefon: +49(0)721/6088265*

Kurzfassung

Risiko- und Katastrophenmanagement kann durch einen Zyklus beschrieben werden, der durch einen präventiven Bereich (Vorbeugung und Vorbereitung) vor dem Katastrophenereignis und einem reaktiven Bereich (Bewältigung und Wiederaufbau) nach einem Ereignis gekennzeichnet ist. Durch gezielte präventive und reaktive Maßnahmen können die oft verheerenden sozialen und wirtschaftlichen Folgen einer Katastrophe vermindert werden. Die hier vorgestellten Forschungsarbeiten zum Risiko- und Katastrophenmanagement am Institut für Technologie und Management im Baubetrieb an der Universität Karlsruhe haben zum Ziel, die Verantwortlichen in den unterschiedlichen Phasen des Katastrophenzyklus zu unterstützen um die negativen Folgen von Erdbeben zu mindern.

Vorgestellt werden: (1) EQ-Rescue, ein Tool zur Unterstützung des Katastrophenstabes, das sowohl bei der Vorbereitung auf die Katastrophe als auch bei deren Bewältigung genutzt werden kann; (2) ein geometriebasiertes Opferabschätzungsmodell zur Abschätzung der Verschütteten nach Erdbeben; (3) quantitative Methoden zur Entscheidungsunterstützung bei Ertüchtigungsprojekten mithilfe von Kosten-Nutzen Analysen in der Phase der Katastrophenvorbeugung; (4) ein Experten- und Informationssystem zur Unterstützung der Rettungskräfte vor Ort bei Gebäudeeinstürzen. All diese Methoden und Werkzeuge wurden im Rahmen des Sonderforschungsbereichs (SFB) 461 „Starkbeben: Von geowissenschaftlichen Grundlagen zu Ingenieurmaßnahmen“ entwickelt. Sie sind Teil des Disaster Management Tools, einer gemeinsamen Entwicklung der Ingenieurprojekte dieses SFBs.

Stichworte

Entscheidungsunterstützung, Expertensystem, Kosten-Nutzen Analyse, Opferabschätzung, Simulation

1. Einleitung

Um die Folgen von Erdbebenkatastrophen zu mindern, muss in allen Phasen des Katastrophenzyklus, von der Katastrophenvorbeugung und –vorbereitung über die Bewältigung der Katastrophe bis zum Wiederaufbau, angesetzt werden. Die Entwicklung geeigneter Werkzeuge zur Unterstützung der Verantwortlichen in den einzelnen Phasen ist eine komplexe Aufgabe, die eine Zusammenarbeit verschiedener Disziplinen erfordert. Der von der Deutschen Forschungsgemeinschaft seit 1996 geförderte Sonderforschungsbereich 461 „Starkbeben: Von geowissenschaftlichen Grundlagen zu Ingenieurmaßnahmen“, bietet eine Plattform für diese interdisziplinäre Forschung. Am Beispiel der Vrancea Region in Rumänien wird die gesamte Wirkungskette vom Verständnis der Erdbebenursachen, über die Ausbreitungsmechanismen bis hin zu schadensmindernden Maßnahmen betrachtet (Wenzel, 1997). Dieser Artikel präsentiert einige Arbeiten der Ingenieurprojekte dieses Sonderforschungsbereichs. Zuerst wird EQ-Rescue vorgestellt, ein Tool zur Unterstützung des Katastrophenstabes, das sowohl bei

der Vorbereitung auf die Katastrophe als auch bei deren Bewältigung genutzt werden kann. Ebenfalls als Unterstützung für die Verantwortlichen im Stab dient das Modell der geometrie-basierten Opferabschätzung zur Abschätzung der Verschütteten nach Erdbeben, das im Anschluss beschrieben wird. Das Kapitel über quantitative Entscheidungsmodelle beschreibt einen Ansatz zur Beurteilung alternativer Ertüchtigungsprojekte auf Basis der Kosten-Nutzen-Analyse. Dabei ist vor allem mit Hilfe einer Risikoanalyse der Umgang mit Unsicherheitsfaktoren bei der Beurteilung zukünftiger Erdbebenereignisse und der Abschätzung des Gebäudeverhaltens zu berücksichtigen. Das Experten- und Informationssystem für Rettungsarbeiten, das abschließend vorgestellt wird, wendet sich an die Rettungskräfte bei Gebäudeeinstürzen und soll sie bei der Suche und Rettung von Verschütteten unterstützen.

Die vorgestellten Modelle und Werkzeuge sind Komponenten des Disaster Management Tools (DMT). Das DMT ist ein Werkzeug, das die verschiedenen Benutzergruppen wie z.B. die Stadtverwaltung, den Katastrophenstab oder Feldkräfte in den verschiedenen Phasen des Katastrophenzyklus bei ihrer Arbeit unterstützen soll. Dabei stellt das DMT eine Plattform dar, um die Funktionalität der Komponenten miteinander zu kombinieren, wobei abhängig von der Aufgabe und der Benutzergruppe verschiedene Komponenten zum Einsatz kommen. Aus der Verbindung einzelner Lösungen zu einem gemeinsamen System ergeben sich Synergien, die die Funktionalität jeder Komponente erweitern, wodurch ein Gesamtsystem mit umfassenderen Möglichkeiten geschaffen wird. Die Komponenten des DMTs lassen sich in drei Gruppen einteilen: (1) Simulation, (2) Planungs- und Entscheidungsunterstützung sowie (3) Kommunikation und Visualisierung. Eine gemeinsame Datenbank dient als Datenbasis aller Komponenten. Eine ausführliche Beschreibung des Disaster Management Tools ist in Markus et al., 2006 zu finden.

2. EQ-RESCUE

Die ersten Tage nach einem Erbeben spielen bei der Rettung von Menschenleben die entscheidende Rolle. Schon nach 72 Stunden sinken die Chancen, verschüttete Personen lebend zu befreien, rapide. Doch gerade während dieser Zeit ist die Einsatzleitung oft von der Lage überfordert und hat nicht ausreichend Einsatzkräfte zur Bewältigung der Katastrophe verfügbar. Daher ist eine optimale Entscheidung über den Einsatz der begrenzten Ressourcen ausschlaggebend für die Zahl der Opfer. Um zur Lösung dieses Problems beizutragen, verfolgt das EQ-RESCUE Modul des DMTs zwei Ansätze:

- Im Rahmen der Vorbereitung auf eine Katastrophe wird eine Plattform zum realitätsnahen Training der Entscheidungsträger auf Basis einer dynamischen Simulation bereitgestellt.
- Während der Bewältigung einer Katastrophe erfolgt durch das System eine aktive Unterstützung des Entscheidungsprozesses der Mitglieder im Katastrophenstab.

2.1 Systemarchitektur

Die Architektur des Systems ist so konzipiert, dass Systemkomponenten in unterschiedlichen Einsatzfeldern genutzt werden können. Dazu wird eine verteilte Simulation auf Basis der High Level Architektur (HLA) mit einem Multiagentensystem (MAS) basierend auf der „FIPA Agent Management Specification“ kombiniert. Eine gemeinsame Datenbank dient den Systemkomponenten als Datenbasis und Datenablage.

Ein Mediator Agent ist für die Anbindung der Simulation an das MAS verantwortlich und sorgt auch für das Management mehrerer gleichzeitig laufender Simulationen. Dies wird u.a.

bei der Entscheidungsunterstützung genutzt, um mögliche Konsequenzen von Entscheidungen zu vergleichen. Eine Übersicht über die Simulatoren und Agenten des Systems bietet Abbildung 1, für weitere Details siehe auch Engelmann et. al., 2006.

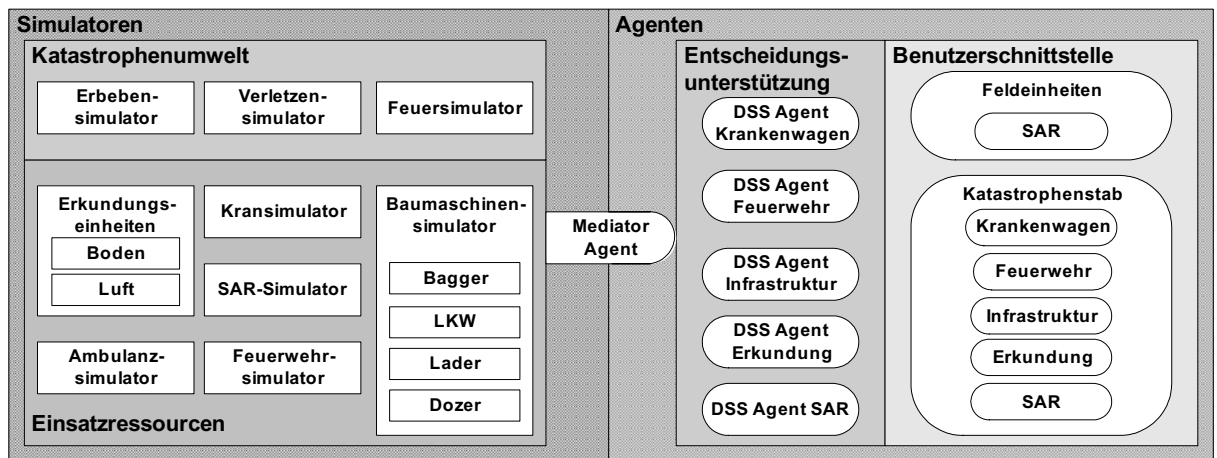


Abbildung 1: EQ-RESCUE Systemkomponenten.

2.2 Übung

Zur Vorbereitung der Entscheidungsträger sind Übungen unerlässlich. Neben festgelegten Regeln und Abläufen zur Bewältigung einer Katastrophe müssen Entscheidungsträger mit der ungewohnten Situation vertraut gemacht werden. Gegenüber ihrem Tagesgeschäft ist diese geprägt durch eine sich schnell ändernde teils chaotische Entwicklung an vielen unterschiedlichen Einsatzorten sowie durch eine dynamische und oft unsichere Informationslage.

Um dies realistisch nachzubilden, bietet das System eine interaktive Simulation der Katastrophenumwelt und der darin agierenden Einsatzressourcen (vgl. Abb. 2). Als Ausgangslage dient ein Schadensszenario geliefert durch ein Schadensprognosetool des DMTs für Erdbeben, EQSIM. (Näheres dazu siehe Fiedrich et al., 2004). Abhängig von den Entscheidungen der Stabmitglieder wird die Ausgangslage von der Simulation weiterentwickelt. Stabsmitglieder erhalten Informationen über die aktuelle Lage durch die Meldung der im Einsatzgebiet agierenden Ressourcen. Deren Beobachtungen sind allerdings durch einen begrenzten Sichtradius und mögliche Fehleinschätzungen eingeschränkt und ungenau. Die Erfüllung von Aufträgen erfordert meist ein Interagieren der Simulatoren, so z.B. bei der Brandbekämpfung, die als Interaktion von Feuer- und Feuerwehrsimulator realisiert ist. Zusätzlich zur Simulation ist es möglich das Verhalten von durch Menschen dargestellte Einsatzressourcen einzuspielen. Damit ist es möglich besser die Interaktion zwischen Stab und Einsatzkräften zu üben.

Der gesamte Nachrichtenaustausch während der Übung erfolgt in elektronischer Form und wird strukturiert in der Datenbank des Systems abgelegt. Dies ermöglicht eine genaue Analyse des Übungsverlaufs und damit eine Überprüfung der Leistungen jedes Teilnehmers.

2.3 Entscheidungsunterstützung

Die Entscheidungsfindung einer Person kann in aktiver wie passiver Weise unterstützt werden. Passive Unterstützung liefert EQ-RESCUE durch eine automatische Informationsaufbereitung, wie z.B. der automatischen Darstellung von Meldungsinhalten auf der Lagekarte. Dies wird kombiniert mit einer aktiven Entscheidungsunterstützung, die den Entscheidungsprozess durch unterschiedliche Werkzeuge in all seinen Phasen begleitet.

Als Modell des Entscheidungsprozesses kommt das Recognition Primed Decision Modell (RPD) von Gary Klein zum Einsatz (Klein, G.A., 1998). Basierend auf Studien in der Praxis geht Klein davon aus, dass Entscheider während einer Katastrophe Befehle nicht aufgrund detaillierter Analysen eines Problems und der Bewertung möglicher Alternativlösungen bestimmen. Stattdessen nutzen sie Erfahrungen und versuchen, die aktuelle Situation mit einem bekannten Problem zu vergleichen. Wird eine Übereinstimmung gefunden, wird die bereits bekannte Lösung anhand einer mentalen Simulation auf ihre Tauglichkeit geprüft und realisiert.

EQ-Rescue nimmt die Phasen des RPD Modells als Grundlage für eine Unterstützung des Entscheidungsprozess von Mitgliedern im Katastrophenstab, wie sie in Abbildung 2 dargestellt wird. Durch Simulation möglicher Katastrophenverläufe sowie die Aufbereitung und Filterung der Informationen soll das Wiedererkennen einer Situation erleichtert werden. Die Erkennung der Gefahren jedes Einsatzortes im Katastrophengebiet wird durch ein Bewertungsschema unterstützt, welches das System anhand der Auswertungen der Lagedaten soweit wie mögliche selbständig ausfüllt. Anhand dieser Situationsbewertung erfolgen Empfehlungen für die zu wählenden Einsatzkräfte, wobei die eigentlichen Entscheidungen auf der Seite des Anwenders liegen. Allerdings macht das System auf mögliche Schwächen in der Planung aufmerksam, indem Entscheidungen durch eine Regelbasis analysiert werden und Simulationen mögliche Auswirkungen aufzeigen. Die aus der Entscheidung resultierenden Befehle werden automatisch vom System generiert und an die Feldeinheiten verschickt.

Das Modell verfolgt dabei durchgängig die Philosophie einer Entscheidung auf Basis des Dialoges zwischen Mensch und Maschine, bei dem aus der Ausnutzung der Stärken der jeweiligen Partei die beste Entscheidung folgt. Für weitere Details zu EQ-Rescue siehe Engelmann & Fiedrich, 2007.

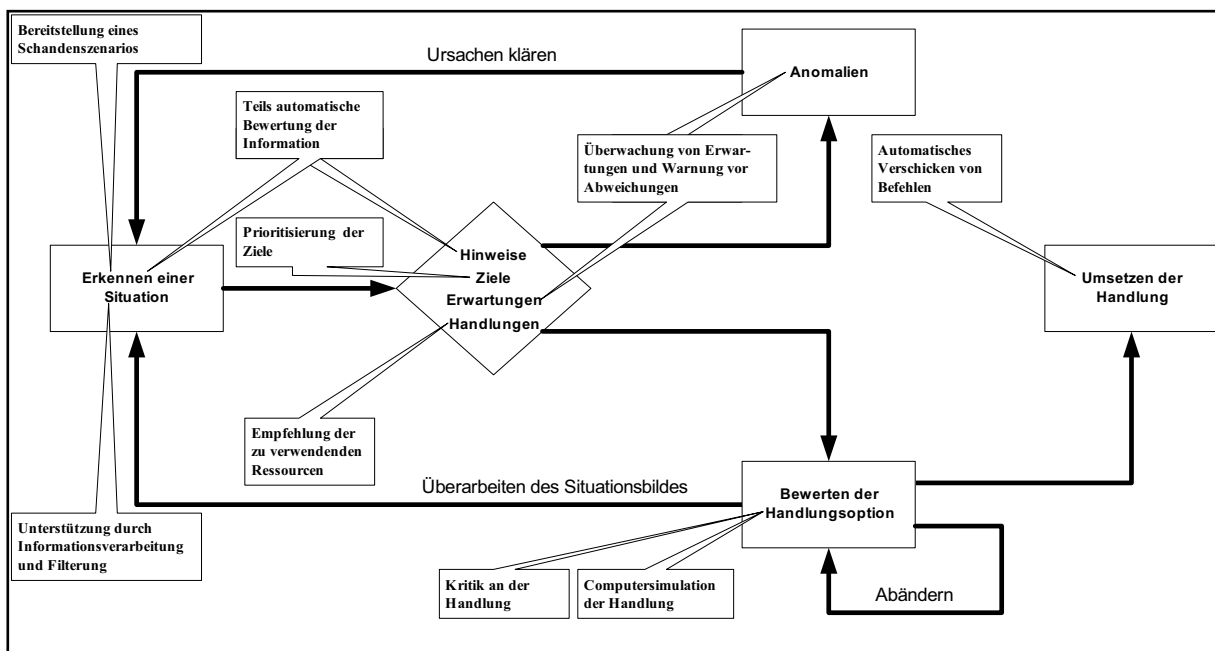


Abbildung 2: Unterstützung der Phasen des Recognition Primed Decision Modells in EQ-Rescue.

2.4 Ausblick

Das vorgestellte System stellt eine exemplarische Implementierung einer rechnerbasierten Entscheidungsunterstützung der Mitglieder eines Katastrophenstabs dar. Da das System einen Ausschnitt einer Erdbebenkatastrophe betrachtet, wäre für eine praktisch nutzbare Lösung eine Erweiterung auf andere Domänen wie z.B. Hochwasser sinnvoll. Eine Validierung der Elemente zur Entscheidungsunterstützung während einer Katastrophenschutzübung mit dem rumänischen Zivilschutz im Oktober 2007 wird Aufschluss über die Akzeptanz des Ansatzes geben.

3. Geometriebasierte Opferabschätzung

Starke Erdbeben in urbanen Gebieten verursachen jedes Jahr Tausende von Opfern. Die Haupttodesursache bei den meisten großen Erdbebenkatastrophen ist der Einsturz von Gebäuden (Coburn & Spence, 2002). Die Überlebenden in den eingestürzten Gebäuden können durch schnelle und effiziente Maßnahmen gerettet werden. Vor allem in ausgedehnten städtischen Gebieten sind aber im Zeitraum direkt nach dem Ereignis die Zahl und der Ort der eingestürzten Gebäude oft unbekannt und es ist nicht klar, wie viele Menschen überhaupt betroffen sind. Zusätzlich sind die Rettungsressourcen der betreffenden Region oft nicht ausreichend, um die Katastrophe zu bewältigen. Aus diesen Gründen ist die Abschätzung der Verschütteten in den einzelnen eingestürzten Gebäuden eines Stadtgebietes - wie sie mit der geometriebasierten Opferabschätzung möglich ist - hilfreich für die Verantwortlichen im Katastrophenstab um die knappen Ressourcen an Rettungskräften und -material zielgerichtet zu verteilen. Diese Form der Opferabschätzung wird geometriebasiert bezeichnet, da die primäre Eingangsinformation des Modells die Geometrie der eingestürzten Gebäude ist. Diese wird mit Hilfe der Laserscanning-Technologie ermittelt. Im Folgenden wird kurz vorgestellt, wie mit dieser Technologie die eingestürzten Gebäude eines Stadtgebietes schnell ermittelt werden können, wie die Klassifizierung dieser eingestürzten Strukturen zum Zwecke der Opferabschätzung vorgenommen wird und schließlich der Ablauf der Opferabschätzung dargestellt.

3.1 Schnelle Bestimmung eingestürzter Gebäude

Einer der wichtigsten Eingangsinformationen für die Opferabschätzung ist die Identifizierung der eingestürzten Gebäude eines Stadtgebietes sowie die Bestimmung des Ausmaßes und der Charakteristik des Einsturzes. Diese Informationen müssen möglichst schnell nach dem Erdbeben vorliegen, da die Zeitspanne, in der Verschüttete lebend aus Trümmern gerettet werden können, sehr begrenzt ist. Mit Hilfe von flugzeuggetragenen Laserscannern ist die Aufnahme von Höheninformationen ganzer Stadtgebiete in relativ kurzer Zeit möglich. Die Informationen können als so genannte digitale Höhenmodelle (DHM) abgespeichert werden. Im SFB wurden von den Kollegen am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung Methoden erforscht, um die eingestürzten Gebäude eines Stadtgebietes zu identifizieren. Durch den automatisierten Vergleich und die Auswertung vor und nach dem Schadensereignis aufgenommener Höhenmodelle, werden eingestürzte Gebäude, anhand der Reduktion ihrer Höhe und ihres Volumens bestimmt. Die aktuelle Forschung verfolgt nun das Ziel, die als eingestürzt erkannten Gebäude nach ihrem Schadensbild, d.h. nach der Einsturzform des Gesamtgebäudes, zu klassifizieren. Weitere Einzelheiten zur Schadenserkenkung können z.B. Vögtle & Steinle, 2004 entnommen werden.

3.2 Klassifizierung eingestürzter Gebäude

Um die erkannten Schäden interpretieren zu können, ist eine neue Klassifikationsmethode eingestürzter Gebäude erforderlich. Aus diesem Grund wurde basierend auf die Auswertung von Bildern, Beobachtungen und Berichten eingestürzter Gebäude ein so genannter Schadenskatalog entwickelt. Dieser ist eine Zusammenstellung typischer Einsturzformen von Gebäuden nach Erdbeben und deren Charakterisierung durch geometrische Merkmale. Zu der großen Bandbreite geometrischer Merkmale, die zur Beschreibung der Schadenbilder verwendet werden, zählen das Ausmaß der Volumen- bzw. Höhenreduktion, die Erkennbarkeit der ursprünglichen Gebäudegrenzen, die Struktur der Oberfläche, evtl. Neigungsänderungen der Gebäude und viele weitere Merkmale. Ziel ist es, diese geometrischen Merkmale bei der Auswertung der Laserscanningdaten zu bestimmen. Durch das Vorhandensein und die Ausprägung einzelner geometrischer Merkmale lässt sich damit auf das Schadenbild schließen. Der Schadenskatalog unterscheidet zehn Schadenbilder mit diversen Untertypen, die sich in fünf Gruppen einteilen lassen (vgl. Abbildung 3). Weiterführende Informationen zum Schadenskatalog können Schweier & Markus, 2006 entnommen werden.

Gruppen von Schadensbildern

- 1) Geneigte Schichtungen
- 2) Horizontale Schichtungen
- 3) Trümmerkegel
- 4) Gebäudeneigung und -umsturz
- 5) Überhängende Elemente

Schadenbilder "gestaffelte Schichtung" (links) und "horizontale Schichtung der unteren Geschosse (rechts).
Algerien, 2003. Photo: M. Markus



Abbildung 3: Schadenbildgruppen und Beispiel zweier Schadenbilder.

3.3 Opferabschätzung

Der Ablauf der geometriebasierten Opferabschätzung ist in Abbildung 4 dargestellt. Das Modell benötigt erstens Informationen über die Schädigung der Gebäude, die wie oben beschrieben ermittelt werden. Die zweite benötigte Eingangsinformation ist eine Abschätzung der Belegung der Gebäude, also der Zahl anwesender Personen zum Zeitpunkt des Erdbebens.

Diese wird anhand vor dem Ereignis gesammelter Bestandsdaten der Gebäude, wie Bewohnerzahlen, Nutzung und der Bruttogrundfläche ermittelt. Die Belegung kann für drei typische Zeiten, tagsüber, nachts und zu Berufsverkehrszeiten, berechnet werden. Der tatsächliche Zeitpunkt des Ereignisses wird einem dieser Zeiten zugeordnet. Aus diesen Eingangsinformationen wird im Opferabschätzungsmodul der Anteil der Anwesenden abgeschätzt, der verschüttet wurde. Bei dieser Berechnung sind das Schadenbild und die Volumenreduktion des eingestürzten Gebäudes die einflussreichsten Faktoren. Zusätzlich zu der Anzahl der Verschütteten wird auch eine Abschätzung der Toten- und Verletztetenzahlen vorgenommen. Diese sind für die einzelnen Gebäude aufgrund der verwendeten statistischen Methoden zwar nicht aussagekräftig genug, für alle geschädigten Gebäude des Stadtgebietes aufsummiert heben sich die Fehler allerdings auf und der Katastrophenstab erhält so eine gute Abschätzung über die Verletztetenzahlen im betroffenen Gebiet. Die geometriebasierte Opferabschätzung soll in das Disastermanagement Tool integriert werden. Die Eingangsinformationen werden dann aus der Datenbank des DMTs für die Berechnung abgerufen und die Ergebnisse wieder in die

Datenbank abgelegt um sie den Verantwortlichen zur Verfügung zu stellen. Eine ausführlichere Beschreibung der Opferabschätzung ist in Schweier & Markus, 2006 zu finden.



Abbildung 4: Ablauf der Opferabschätzung.

4. Quantitative Methoden der Entscheidungsvorbereitung von Ertüchtigungsprojekten

Um unverhältnismäßige Kosten bei der seismischen Ertüchtigung zu vermeiden, werden geeignete Analyse- und Prognosemethoden benötigt, die eine Investition und dessen Auswirkung auf zukünftige Erdbebenereignisse abschätzen. Während bei der Prognose von Gebäudeschäden durch seismische Beanspruchung sehr viele Schadensmodelle existieren, sind die ökonomischen Entscheidungskriterien und deren Auswirkungen im Erdbebeningenieurwesen oft unberücksichtigt. Sollen öffentliche Ressourcen für Ertüchtigungsprogramme verwendet werden, so kann die Kosten-Nutzen-Analyse als klassisches Instrument zur Bewertung öffentlicher Maßnahmen herangezogen werden. Öffentliche Projekte sollen durch eine optimale Ressourcenallokation zu einer größtmöglichen gesellschaftlichen Nutzensteigerung führen (Mühlenkamp, 1994). Die Kosten-Nutzen-Analyse gehört zu den Methoden der dynamischen Wirtschaftlichkeitsrechnung für komplexe Situationen. Alle relevanten Kosten und Nutzen eines Projektes werden in Geldeinheiten quantifiziert und auf einen gemeinsamen Zeitpunkt bezogen.

Das Vorgehen einer Kosten-Nutzen-Analyse gliedert sich in sieben Schritte (Florio et al, 2003): a) Festlegung der Ziele, b) Projektidentifikation, c) Durchführbarkeits- und Optionsanalyse, d) Finanzanalyse, e) Ökonomische Analyse, f) Multikriterium-Analyse und g) Sensitivitäts- und Risikoanalyse.

Im ersten Schritt sollen die sozioökonomischen Variablen eines Projektes bestimmt und abgeschätzt werden, ob die sozialen und wirtschaftlichen Ziele durch das Ertüchtigungsvorhaben erreicht werden. Vor allem müssen die wichtigen direkten und indirekten sozialen und wirtschaftlichen Auswirkungen auf Betroffene und Gesellschaft analysiert werden. Zu den direkten Auswirkungen eines Erdbebenereignisses zählen der Schaden an der Gebäudestruktur und am Inventar, zu den indirekten Kennzahlen einer Gesellschaft beispielsweise die Veränderung der Arbeitslosigkeit oder Steuerausfälle (FEMA 228, 1992). Die Nutzvariablen können aus ökologischer, physischer, humaner, sozialer und ökonomischen Sicht betrachtet werden und müssen in der Analyse monetär bewertet werden.

Für jedes Projekt sollten bei der Durchführbarkeits- und Optionsanalyse mindestens zwei Alternativen für die Höhe des Ertüchtigungsgrades in Betracht gezogen werden: Alternative 1) „Untätigkeitsszenario“ als Referenzkonzept und 2) „Lebenssicherheit“ für ein wiederkehrendes Referenzerdbeben. Zusätzlich bietet sich Alternative 3) „Funktion erhalten“ für Gebäude an, bei denen der Betrieb während und nach einem Erdbebenereignis gewährleistet werden soll. Die Wahl des Ertüchtigungsverfahrens richtet sich nach einer Abstimmung zwischen Tragwiderstand und Duktilität für das spezifische Gebäude (Wenk, 2005). Eine reine Verstärkung und damit Erhöhung des Tragwiderstandes führt in der Regel zu einer erhöhten Steifigkeit und einer Verminderung der Duktilität, was sich ungünstig auf das Erdbebenverhalten auswirken kann. Die anschließende Berechnung der finanziellen und wirtschaftlichen Kennzahlen basiert auf den Vergleich von Untätigkeitsszenario mit den gewählten Projekialternativen.

Bei der Finanzanalyse werden die Ein- und Auszahlungen mit ihren jeweiligen Zeitwerten angesetzt und über den Kalkulationszinssatz auf einem gemeinsamen Zeitpunkt bezogen. Dadurch wird der Zeitunterschied zwischen der Investition und dem resultierenden Nutzen berücksichtigt, die einzelnen Zahlungen werden gleichwertig gemacht. Die direkten Zahlungen bei Ertüchtigungsprojekten ergeben sich aus der Investition zur eigentlichen Ertüchtigung und den erhöhten Wartungskosten sowie als negative Rückzahlung durch einen verminderten Schaden bei zukünftigen Erdbebenereignissen. Die Kosten und Nutzen von Ertüchtigungsprojekten werden als Ein- und Auszahlungen betrachtet. Bei einer Aufzinsung erhält man den Endwert einer Zahlungsreihe nach n Jahren. Der Aufzinsfaktor mit dem Zinsfaktor i nach n Jahren wird mit $(1+i)^n$ berechnet. Bei der Abzinsung wird eine künftige Zahlung zum gegenwärtigen Zeitpunkt bezogen. Der Abzinsfaktor ist durch $1/(1+i)^n$ definiert. Anhand einer Cashflow-Prognose werden die meisten Inputdaten zu Kosten und Nutzen bereitgestellt. Jede Investition bezieht sich auf einen bestimmten Planungshorizont und kann bei Ertüchtigungsprojekten zwischen 40 und 50 Jahren angesetzt werden. Eine längere Nutzungsdauer kann durch einen zusätzlichen Restwert am Ende der Betrachtungsperiode einbezogen werden. Bei der Analyse der Zahlungsströme wird die Höhe des durchschnittlichen jährlichen Schadens mit und ohne Ertüchtigungsprojekt anhand einer jährlichen Eintrittswahrscheinlichkeit der seismischen Beanspruchung berechnet. Im Unterschied zu herkömmlichen Investitionsprojekten besteht bei Ertüchtigungsprojekten vor allem der Nutzen bei der Reduzierung der Opfer bei einem starken Erdbebenereignis. Die Quantifizierung dieser Variablen sollte dementsprechend genau analysiert und der Einfluss auf den Entscheidungsabschluss durch eine nachfolgende Sensitivitätsanalyse untersucht werden. Von Interesse ist auch die Berechnung eines Worst-Case-Szenarios, bei dem der geschätzte und wahrscheinlich höchste Schaden entstehen kann.

Die Problematik bei Investitionsentscheidungen von Ertüchtigungsprojekten liegt in der Unvorhersehbarkeit der zukünftigen Ereignisse. Es lässt sich weder das Erdbebenereignis zu einem bestimmten Zeitpunkt, Ort und Stärke voraussagen, noch die seismische Beanspruchung und das Verhalten der Gebäude im betroffenen Gebiet. Die Kosten und Nutzen einer Ertüchtigung sind ebenfalls nur ungenau vorhersehbar. Will man die Entscheidungsgrößen mit einem vertretbaren Aufwand ermitteln, muss das Entscheidungsmodell zu einer Kosten-Nutzen-Analyse unter Unsicherheit erweitert werden. Die Prognoseunsicherheit kann durch das Korrekturverfahren, der Sensitivitätsanalyse und der Extremwertberechnung berücksichtigt werden. Beim Korrekturverfahren wird durch Zu- und Abschläge die Unsicherheit reduziert. Dieses Verfahren wird in der Praxis wegen der einfachen Anwendung sehr oft verwendet. Die Sensitivanalyse misst hingegen die Auswirkungen der Veränderung einer Eingangs-

größe unter sonst gleichen Bedingungen. So kann entschieden werden, ob eine Größe genauer ermittelt werden muss, wenn sie einen hohen Einfluss auf das Ergebnis der Investitionsrechnung hat. Die Eingangsgrößen nehmen nicht mehr einen festen Wert an, sondern bewegen sich in einem Wertebereich. Sie können dabei den pessimistischen, den wahrscheinlichsten und den optimistischen Wert annehmen. Bei der Extremwertberechnung kann dadurch der wahrscheinlichste Wert berechnet werden, wenn die Grenzen des Wertebereiches angegeben werden. Eine weitere Schwierigkeit bei der Systemaufstellung liegt oft in der unzureichenden Datenbasis einer Region. Die Datenerhebung ist sehr aufwendig und schwere Erdbeben treten gewöhnlich zu selten auf, um das Schadensmodell anhand historischer Daten zu kalibrieren. Einen Lösungsansatz bildet die Risikoanalyse unter Monte Carlo-Simulation und der Einbeziehung von physikalischen und ökonomischen Kenngrößen verschiedener erdbebengefährdeten Regionen, die durch Simulation auf das gewählte Zielgebiet abgeschätzt werden. Die Inputgrößen werden in Abhängigkeit von Eintrittswahrscheinlichkeiten als eindimensionale Zufallsvariablen einer Wahrscheinlichkeitsverteilung definiert. Die durch eine hinreichend große Zahl von Simulationsschritten gewonnenen Ergebnisse können als kumulierte Wahrscheinlichkeit des Kapitalwertes dargestellt werden. Eine Entscheidung unter Ungewissheit zu Gunsten eines Projektes kann anschließend durch drei Regeln entschieden werden (Hoffmeister, 1997): 1) Minimax-Regel: Wähle die alternative Maßnahme, deren schlechtestes Ergebnis besser ist als die schlechtesten Ergebnisse aller anderen, 2) Maximax-Regel: Wähle die alternative Maßnahme, deren bestes Ergebnis besser ist als die besten Ergebnisse aller anderen und 3) Opportunitäts-Regel: Wähle die alternative Maßnahme, bei der die maximale mögliche Enttäuschung, nicht die beste Alternative gewählt zu haben, minimiert wird. Zusammenfassend ist die Bewertung der Ergebnisse und des Entscheidungsvollzugs ein Kompromiss zwischen hohem Aufwand und hohem sozialen Nutzen und geringerem Aufwand und geringem sozialen Nutzen.

Das vorgestellte quantitative Entscheidungsmodell ist in der Loss Modeling Software EQSIM integriert und kann für die Stadt Bukarest als Entscheidungshilfe für die Vorbereitung von Ertüchtigungsprojekten herangezogen werden.

5. Entscheidungsunterstützung bei Rettungsarbeiten

Wenn nach einem Gebäudeeinsturz Personen aus den Trümmern befreit werden müssen, sind Rettungskräfte meist mit einer komplexen Situation konfrontiert. Solche Einsätze sind mit mindestens 24 Stunden Dauer meist langwieriger als übliche Einsätze und das statische System der Trümmerstruktur ist in der Regel so unübersichtlich, dass mit äußerster Vorsicht zu den Verschütteten vorgegriffen werden muss. Dabei sind auch die Helfer stark gefährdet. So wurden bei Rettungsarbeiten in Mexico City nach dem zerstörenden Beben von 1985 mehr als 100 Helfer getötet (Tiedemann, 1992).

Am Institut für Technologie und Management im Baubetrieb wurden Berichte über Rettungseinsätze nach Gebäudeeinsturz gesammelt, Trümmerstrukturen klassifiziert und Rettungsverfahren und Hilfsmittel unter realistischen Bedingungen auf dem institutseigenen Freigelände erprobt (Gehbauer et al., 2001). Weiter wurden Einsätze nach Gasexplosionen im Inland sowie nach Erdbeben in Indien 2001 und Algerien 2003 beobachtet. In Zusammenarbeit mit dem Technischen Hilfswerk und Berufsfeuerwehren wurde aufbauend auf die gesammelten Erfahrungen die Position des Baufachberaters definiert und ausgebildet. Der Baufachberater ist ein Bauingenieur oder ein entsprechender Experte, der die Einsatzleitung berät, wenn Rettungsarbeiten nach einem Gebäudeeinsturz notwendig sind. Durch seine Kenntnisse in diesem

Spezialbereich und da er von administrativen Aufgaben befreit ist, kann er frühzeitig die Trümmerstruktur analysieren, Gefährdungen erkennen und Zugangsmöglichkeiten zu verschütteten Personen vorschlagen. Diese Herangehensweise hat sich bereits mehrfach bei Einsätzen bewährt und wurde vom der Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V. in einer entsprechenden Richtlinie festgehalten (vfdb 03-01, 2005).

5.1 Das Experten- und Informationssystem für Rettungsarbeiten

Um die vorhandene Expertise zugänglich zu machen und die Informationen, die sich vor und während der Katastrophenbewältigung sammeln, am Einsatzort nutzbar zu machen, wurde ein Experten- und Informationssystem aufgestellt. Das System schlägt Maßnahmen der Erkundung, Ortung, Sicherung und des Vordringens zu verschütteten Personen in Abhängigkeit der vorliegenden Situation vor. Es kann bei Übungen mit Szenarien oder auf einem Übungsgelände genutzt werden, ist aber auch für die Unterstützung bei realen Einsätzen geeignet.

Das Experten- und Informationssystem sollte von einer Person bedient werden, die nicht in die Befehlshierarchie eingebunden ist und somit nur berät, wie z.B. der oben erwähnte Bau fachberater.

5.2 Aufbau und Umsetzung

Das Experten- und Informationssystem besteht aus den drei Komponenten Onlinehandbuch, Expertensystem und Berechnungshilfsmittel, wie in Abbildung 5 dargestellt.

Das Onlinehandbuch beinhaltet Informationen über Bautypen von Gebäuden, Bauteile, Rettungsgeräte, Vorgehensweisen bei unterschiedlichen Schadenformen sowie Checklisten. Es handelt sich im Wesentlichen um html- und pdf Dokumente, die über eine Baumstruktur von einem zentralen Menü aus mittels eines HTML-Browsers angezeigt werden.

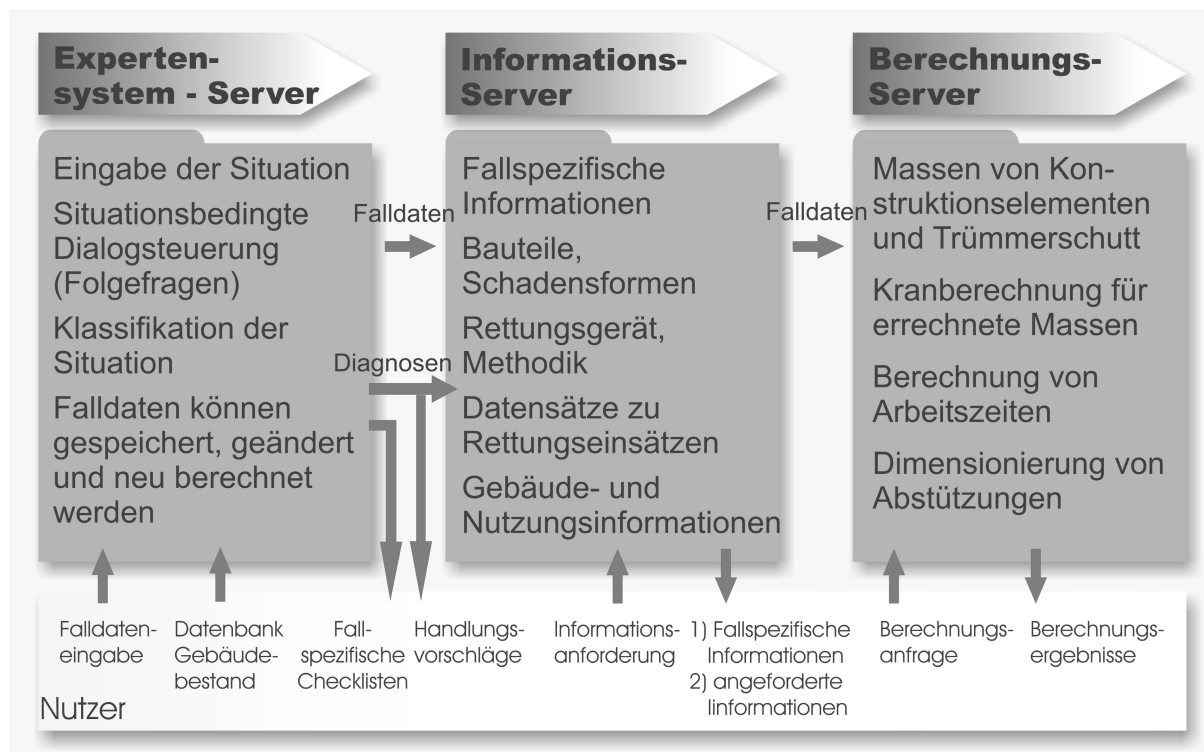


Abbildung 5: Anwendung des Experten- und Informationssystems.

Das Expertensystem gibt die eigentlichen Handlungsvorschläge für den Rettungseinsatz. Hier gibt der Nutzer Informationen zu einem bestimmten Ereignis ein. Weitere Daten werden aus der Datenbank des Disaster Management Tools abgerufen. Bei der Nutzereingabe werden von dem Expertensystem kontextabhängig Folgefragen gestellt. Als Diagnosen werden Hinweise zur Bearbeitung des Rettungseinsatzes generiert. Diese für die spezielle Situation gültigen Diagnosen sind mit den entsprechenden Informationsseiten des Onlinehandbuchs verknüpft. So werden etwa spezielle Checklisten ausgewählt, die für den gegebenen Fall besonders geeignet sind und es wird auf geeignete Verfahren und Geräte hingewiesen.

Das Expertensystem wird durch den D3-Shellbaukasten (Puppe et al., 1997) realisiert. Diesem ständig weiterentwickelten System aus Würzburg wurde ein allgemein nutzbares Datenbank-Zugriffsmodule hinzugefügt, das zum Lesen der DMT Datenbank genutzt wird. Die Fragen an den Anwender, bedingte Folgefragen, Diagnosen und die Richtlinien zur Ermittlung der Diagnosen werden in einer gesonderten Datei abgelegt, der Wissensbasis.

Die dritte Komponente dient der Berechnung von Trümmernmassen, von Bauteilen wie Decken oder Stahlprofilen, der Kranauswahl und der Auswahl geeigneter Abstützungen. Durch graphische Unterstützung bei der Bauteilauswahl, die Verwendung von Wertevorgaben für Materialien und Bauteile und die Überprüfung der Eingabegrößen sollen die notwendigen Berechnungen unter Einsatzbedingungen schnell und sicher durchgeführt werden, siehe auch Abbildung 6.

The screenshot displays the D3 expert system interface within a Microsoft Internet Explorer browser window. The main window is titled 'UNIVERSITÄT KARLSRUHE (TH)'. The interface is divided into several sections:

- Left Panel (Einsatzleiterhandbuch):** A navigation menu with links to 'Hauptseite', 'D3-Shell', 'Baukundeindex', 'Deckenindex', 'Wandindex', 'Schadenelemente', 'Verfahrensindex', 'Geräteindex', 'Mobilkran', 'Hubarbeitsbühnen', 'Wasserbestimmung', 'Kranauswahl', and 'Formblätter'.
- Top Left (Diagnosen):** A tree view showing diagnostic categories like 'Diagnose Gasexplosion' and 'Diagnose Nachteilsatz'.
- Top Center (Auflageflächen der Decken kontrollieren):** A text box providing instructions on how to check ceiling support areas, mentioning the use of telescopic booms and stabilizers.
- Top Right (Wahrscheinliche Diagnosen):** A list of potential diagnoses such as 'Gaskonzentration in Räumen des Gebäudes kontrollieren' and 'Aussere Absperungen mit Warnhinweisen "Achtung Explosionsgefahr" kennzeichnen'.
- Main Area (Kranwahl):** A diagram showing a crane positioned next to a building. Dimensions are provided: D1 = 12,0 m, D2 = 15,0 m, H1 = 2,0 m, and H2 = 22,0 m. Below the diagram, a table shows the crane's mass (1,9 to 29 to), required boom length (L1=15,0, L2=25,0, L=25,0), and required height (H1x=2,5, H2=22,0, H=22,0).
- Bottom Panel:** A breadcrumb trail showing the current path: 'Wand-Berechnung / Gewichtstabelle / Materialtabelle1 / Materialtabelle2 / Eingabe / Kranwahl'.

Abbildung 6: Diagnoseseite und Kranauswahl.

5.3 Ausblick

Momentan wird die automatische Erstellung von Statusmeldungen und deren Weitergabe in einem standardisierten xml-Format implementiert. Die Erprobung des Systems im Kontext des Disaster Management Tools wird im Oktober 2007 in Bukarest im Rahmen der Großübung Atlas 2007 erfolgen. Weitere Erprobungen in Zusammenarbeit mit dem Technischen Hilfswerk sind vorgesehen.

Danksagung

Die hier präsentierten Forschungsarbeiten wurden gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 461 „Starkbeben: von geowissenschaftlichen Grundlagen zu Ingenieurmaßnahmen“ mit Unterstützung der Universität Karlsruhe und des Landes Baden-Württemberg. Dank gilt auch der Bundesanstalt Technisches Hilfswerk und dem Rumänischen Inspektorat für Notfallsituationen für die gute Zusammenarbeit.

Literaturverzeichnis

- Coburn A., Spence R. (2002) Earthquake Protection. Second Edition. – 338 S., John Wiley & Sons Ltd., Chichester, England.
- Engelmann, H., Fiedrich, F., Markus, M., and Zikas, T. (2006) An Architecture for Decision Support and training in Emergency Operations Centers, 8th U.S. National Conference on Earthquake Engineering, 18-22 April 2006, San Francisco.
- Engelmann, H., Fiedrich, F. (2007) Decision Support for the Members of an Emergency Operation Centre after an Earthquake, Proceedings of the 4th International ISCRAM Conference (B. Van de Walle, P. Burghardt and C. Nieuwenhuis, eds.) Delft, the Netherlands, May 2007.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA) (1992) A Benefits-Cost Model for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Volume 2, FEMA 228, Washington, D.C., USA.
- Fiedrich, F., Leebmann, J., Markus, M., Schweier, C. (2004) EQSIM: A New Damage Estimation Tool for Disaster Preparedness and Response. – Paper presented at the International Conference Disasters and Society – From Hazard Assessment to Risk Reduction, Karlsruhe.
- Florio, M. (2003) Anleitung zur Kosten-Nutzen-Analyse von Investitionsprojekten, Europäische Kommission GD Regionalpolitik Referat Bewertung.
- Gehbauer, F., Hirschberger, S., Markus, M. (2001) Methoden der Bergung Verschütteter aus zerstörten Gebäuden. In: Schriftenreihe der Schutzkommission beim Bundesministerium des Inneren: Zivilschutz-Forschung, Band 46, Bonn.
- Klein, G. A. (1997) The recognition-primed decision (RPD) model: Looking back, looking forward, Naturalistic decision making (Eds: C. E. Zsombok and G. Klein) 285–292.
- Hoffmeister W. (1997) Quantitative Methoden, W. Kohlhammer GmbH, Stuttgart.
- Markus M., Engelmann H., Gehbauer, F., Leebmann J., Schweier C. (2006) The Disaster Management Tool – Concept and application experiences. – Paper presented at the “100th Anniversary Earthquake Conference – Managing Risk in Earthquake Country”, San Francisco, USA.
- Mühlenkamp, H. (1994) Kosten-Nutzen-Analyse, Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, München.
- Puppe, F., Bamberger, S., Iglezakis, I., Klügel, F., Kohlert, S., Reinhardt, B., Unglert, T., Wolber, M. (1997) Wissensbasierte Diagnose- und Informationssysteme mit dem Shell Baukasten D3, Handbuch, Lehrstuhl für künstliche Intelligenz und angewandte Informatik, Universität Würzburg.
- Schweier C., Markus M. (2006) Geometry based estimation of casualties and of the demand for search and rescue resources. –Paper presented at the “100th Anniversary Earthquake Conference – Managing Risk in Earthquake Country”, San Francisco, USA, Paper No. 1327.
- Schweier C., Markus M. (2006) Classification of collapsed buildings for fast damage and loss assessment. Bulletin of Earthquake Engineering, Vol. 4, Nr.2: 177-192.

- Tiedemann, Herbert (1992) Earthquakes and Vulcanic Eruptions: A Handbook on Risk Assessment, Swiss Reinsurance Company, Zürich.
- vfdb-Richtlinie vfdb 03-01: 2005-03 (2005) Hinweise für Maßnahmen der Feuerwehr und anderer Hilfskräfte nach Gebäudeeinstürzen, VDS Köln.
- Vögtle, T. and Steinle, E. (2004) Detection and recognition of changes in building geometry derived from multitemporal laserscanning data. – Paper presented at the XXth congress of the ISPRS, Geo-Imagery Bridging Continents, Istanbul, Turkey.
- Wenk, T. (2005) Seismische Ertüchtigung von Bauwerken: Fallstudie Schweiz, Bautechnik, Vol. 82, Nr. 8:539-543.
- Wenzel F. (1997) Strong Earthquakes: A Challenge for Geosciences and Engineering – A New Collaborative Research Center in Germany. Seismological Research Letters 68, Nr.3: 439-443.

Autorenverzeichnis

Bethge, Ekkehart	1	Merz, Bruno	227
Bieberstein, Andreas	113	Müller, Marc	205
BleECK-Schmidt, Stephanie	11	Müller, Matthias	227
Büchel, Georg	135	Nestmann, Franz	227
Büchele, Bruno	227	Osterkamp, Uwe	225
Delle, Jürgen	179	Pfurtscheller, Clemens	215
Ehret, Dominik	85	Rings, Jörg	39
Engelmann, Hagen	239	Rohn, Joachim	85
Gehbauer, Fritz	239	Ruck, Bodo	49, 227
Göbel, Ines	59	Saucke, Ulrich	113
Groß, Egbert	73	Scheuermann, Alexander	39
Grünthal, Gottfried	227	Schwaetzer, Irmgard	167
Hauck, Christian	39	Schweier, Christine	239
Heneka, Patrick	227	Senitz, Stefan	135
Hesse, Gerold	135	Stempniewski, Lothar	227
Hinz, Thorsten	173	Thieken, Annegret	227
Hofherr, Thomas	227	Triantafyllidis, Theodoros	113
Huttenlau, Matthias	215	Tyagunov, Sergiy	227
Ihringer, Jürgen	93	Ulbrich, Thorsten	93
Kallen, David	85	Wächter, Joachim	227
Kämpf, Charlotte	93	Wahlström, Rutger	227
Khodayar, Samiro	21	Wenzel, Friedemann	227
Kleist, Lorenz	227	Werner, Ute	103
Köhler, Petra	227	Westermann, Karl Johannes	147
Kottmeier, Christoph	227	Yang, Yi	155
Kreibich, Heidi	227	Zahn, Ferdinand	103
Kron, Andreas	227	Zaschke, Martin	49
Kunz, Michael	195	Zesch, Rainer	113
Markus, Michael	239	Zikas, Theodoros	239
Menny, Claas	127	Zschau, Jochen	227



ISBN: 978-3-86644-145-3

www.uvka.de