

KONZEPTION UND IMPLEMENTIERUNG EINES NUMERISCHEN „LAST-MILE“ TSUNAMI FRÜHWARN- UND EVAKUIERUNGSINFORMATIONSSYSTEMS

von

Torsten Schlurmann¹
Andreas Matheja²

ABSTRACT

This paper highlights the rational and key objectives of a research project that develops a numerical *Last-mile* tsunami early warning and evacuation information system (DFG/BMBF: 03G0643A-E) on the basis of detailed earth observation data and techniques as well as unsteady, hydro numerical modelling of small-scale flooding and inundation dynamics of credible tsunami scenarios including evacuation simulations in the urban coastal hinterland for the city of Padang, West Sumatra, Indonesia. It is well-documented that Sumatra's third largest city with about one million inhabitants is located directly on the coast and partially even sited beneath the sea level, and thus, located in a zone of extreme risk due to severe earthquakes and tentatively triggered tsunamis (Stone, 2006; Sieh, 2006; Borrero et al., 2006). *Last-mile* takes the small-scale inundation dynamics in an urban environment into account and additionally assesses and cross-links the physical-technical susceptibility and the socio-economic vulnerability of the population with the objective to mitigate human and material losses due to probable tsunamis. By means of discrete multi-agent techniques risk-based, time- and site-dependent forecasts of the evacuation behaviour of the population and the flow of traffic in large parts of urban coastal strip are simulated and concurrently linked with the other components. In addition an area of approximately 500 km² is being replicated by means of a High Resolution Stereo Camera – HRSC developed by the German Aerospace Center (DLR). Accordingly, highly resolved geodata of the city of Padang are made available and used by the other project partners to develop precise digital elevation models derived from digital terrain models to construct a kind of virtual reality of the city and its surrounding coastal areas. On the whole an imperative disaster preparedness measure is made available for a most severely tsunami-threatened coastal site in the Indian Ocean. by means of modelling tsunami inundation scenarios, micro-scale vulnerability assessment as well as performance of evacuation processes. Deliverables of this research project encompass developing and implementing suitable applications derived from in-depth scientific evaluations and scenario developments, i.e. the tsunami and evacuation information system and basic disaster mitigation methodologies will be created, optimized and implemented with the city and disaster authorities of Padang.

¹ Priv.-Doz. Dr.-Ing. habil., Institut für Umwelt und menschliche Sicherheit, United Nations University, Hermann-Ehlers-Straße 10, 53113 Bonn, Email: schlurmann@ehs.unu.edu

² Dr.-Ing., Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen, Leibniz Universität Hannover, Nienburger Straße 4, 30167 Hannover, Email: am@fi.uni-hannover.de

1. EINLEITUNG

Siebzehn der zwanzig verheerendsten Naturkatastrophen, die seit 1950 erfasst wurden, ereigneten sich in den letzten zehn Jahren. Extreme Naturereignisse nehmen parallel in Frequenz und Magnitude zu. Demzufolge sind durch extreme Naturereignisse seit 1950 etwa 1,7 Mio. Tote zu beziffern und der wirtschaftliche Schaden wird in diesem Zeitraum mit ca. 1.400 Mrd. US\$ taxiert (UNDP, 2004). Dabei handelt es sich zunehmend um regionenübergreifende Gefährdungen hydrometeorologischen oder geophysikalischen Ursprungs, wie auch der verheerende Tsunami im Indischen Ozean vom 26. Dezember 2004 aufzeigt, der mehr als 220.000 Menschen das Leben kostete, mehr als 1. Mio. obdachlos hinterließ und Hunderttausenden in der Region des Indischen Ozean die Lebensgrundlage nahm. Die ökonomischen Schäden des Tsunamis werden mit vergleichsweise geringen 10 Mrd. US\$ taxiert, wovon nur 20% als versicherter Schaden (MunichRe, 2005) registriert worden ist. Indes stellen die Folgen des durch das Seebeben westlich von Sumatra ausgelösten Tsunami ein Naturdesaster ungeahnter Dimension dar. Indirekte und sekundäre, mit dem Tsunami einhergegangene Effekte sind heute noch nicht einmal vollständig erkannt und nur in Umrissen abschätzbar; bedeuten sie für die in der Region betroffenen Nationen offenkundig einen schwierig zu kompensierenden Entwicklungsrückschlag (Birkmann, 2006). Selten zuvor hat ein Desaster deutlich gemacht, zu welchen humanitären und ökonomischen Folgen ein Naturdesaster infolge ungleicher, sozialer Vulnerabilität in den Kulturen und Volkswirtschaften der betroffenen Länder führen kann (Blaikie et al., 1994). Es wird infolgedessen einen Umkehrpunkt in der Wahrnehmung von Risiken naturbedingter Extremereignisse bedeuten. Die Folgen des Tsunamis vom 26. Dez. 2004 haben weltweite Implikationen bewirkt z.B. in internationalen, multisektoralen Forschungsk Kooperationen oder der Entwicklungspolitik mit dem Ziel der Katastrophenvorbeugung einschließlich der politischen und öffentlichen Bewusstseinsbildung des verbleibenden Restrisikos, aber auch einer gemeinsam abgestimmten globalen Katastrophenbewältigung.

Das beantragte multidisziplinäre Forschungsprojekt *Last-mile*, welches im Rahmen der Ausschreibung des DFG/BMBF-Sonderprogramms „Geotechnologien“ - Frühwarnsysteme im Erdmanagement“ (Förderkennzeichen: 03G0643A-E) und sich derzeit in der letzten administrativen Begutachtung seitens des Projektträgers (PTJ) vor Projektbeginn am 1. Apr. 2007 befindet (Stand: 18. Jan. 2007), setzt genau an diesem Punkt an. Es entwickelt in enger Kooperation mit den lokalen Institutionen notwendige, praxisrelevante Empfehlungen für den operationellen Betrieb eines auf Szenarien basierenden Tsunami Frühwarn- und Evakuierungsinformationssystems für die Stadt Padang in West Sumatra, Indonesien.

In diesem Projekt findet daher die Modellierung der Überflutungsdynamik und der physikalisch-technischen Verwundbarkeit unter Einbeziehung der sozioökonomischen Vulnerabilität der Bevölkerung zur Schadensminderung bei derartigen Naturkatastrophen besondere Beachtung. Es gilt für die gesamte Westküste Sumatras im Falle eines Seebebens am Sunda-Bogen, dass ein möglicherweise ausgelöster Tsunami die Küste in ca. 18-20 Minuten in der ungünstigsten Konstellation erreicht. Hierdurch wird die kritische Zeitmarke für den Ablauf einer Evakuierungsplanung in Padang definiert (GITEWS, 2005). Das Verbundvorhaben adressiert dabei die wesentlichen Aspekte des Ausschreibungsprofils, indem es sich auf ein Frühwarnsystem für kurzfristige Schockereignisse mit einhergehender Überflutungsgefahr küstennaher Gebiete aufgrund generierter Tsunamis im kleinräumigen Maßstab (Region der Stadt Padang) konzentriert und daraus Evakuierungsempfehlungen ableitet. Dabei findet die Warnkette: *Vorhersage/Prognose* → *Warnung* → *Bevölkerung* eine wesentliche Berücksichtigung.



Chinesisches Viertel von Padang (Schlurmann, 2006)



Strand im Norden Padangs (Schlurmann, 2006)

Die Gründe für die verheerenden Auswirkungen derartiger Extremereignisse – zumeist in Entwicklungsländern – sind vielfältig und beruhen beispielsweise auf einem rapiden Bevölkerungswachstum, steigender sozioökonomischer Segregation, umweltbedingter Migration oder einer stetigen Vergrößerung urbaner Räume in Küstenzonen. Das dieser Tatsache zugrunde liegende Dilemma ist der steigende Nutzungs- und Siedlungsdruck gegenüber dem gleichzeitigen Erhalt der natürlichen Küstensysteme (Mangrovenwälder, Korallenriffe, etc.), welche auch eine nicht zu unterschätzende Schutzfunktion vor Einwirkungen extremer Naturereignisse, wie z.B. Tsunamis oder Sturmfluten übernehmen können (Fernando, 2005; Dahdouh-Guebas et al., 2005; Danielsen et al., 2005). Während der schmale Küstenraum bis 100 km landeinwärts nur ca. 6% der Landfläche global ausmacht, leben in dieser Zone ca. 40% der Weltbevölkerung – mit weltweit steigender Tendenz. Außerdem sind rund zwei Drittel der Anzahl der Großstädte mit mehr als 2,5 Mio. Einwohnern in diesem Raum vorzufinden (Oumeraci, 2003). Die Vulnerabilität der in Küstengebieten lebenden Menschen wird demgemäß weiter zunehmen. Es erscheint offensichtlich, dass Lösungsansätze zur Minderung von Desasterrisiken nur im Rahmen der nachhaltigen Entwicklung des Küstenraumes möglich sind. Grundprinzipien und -kriterien der Nachhaltigkeit für den gleichzeitigen Schutz und die Nutzung des Küstenraums müssen dabei ökonomische Effizienz, ökologische Integrität und gleichsam die sozioökonomische Gerechtigkeit umfassen. Neben den allgemeinen Konzepten zum Küstenschutz des Rückzugs, der Anpassung, der Verteidigung oder des Vordringens, steht im Rahmen dieses Projekts die Förderung des Prinzips der Vorsorge – Frühwarnsysteme im Erdmanagement – als der Lösungsansatz zur Minderung von Desasterrisiken im Vordergrund. Es gilt als eindeutig, dass das Risiko von Naturdesastern im komplexen Zusammenspiel der Gefährdungen durch extreme Naturereignisse, sowie der Vulnerabilität und des Bewältigungspotenzials der Menschen, als auch der Anfälligkeit der Infrastrukturen und Umweltmedien (Wasser/Trinkwasser und Boden/Ackerbau) im Küstenraum selbst liegt. Je mehr das Bewusstsein und die Aufklärung über diese Risiken verdrängt werden, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit des Eintritts eines Desasters. Andererseits ist aufgrund der mittelfristig offenbar unumkehrbaren Zunahme von Frequenz und Magnitude extremer Naturereignisse, die Vorbereitung auf und der Schutz vor Extremereignissen besonders wichtig, denn nur durch Reduzierung der Vulnerabilität wird das Risiko eines Naturdesasters gemindert (Bogardi, 2004). Neben dem Bewusstsein dieser Risiken und dem Wissen über mögliche Folgen, ist die Weiterentwicklung und Erprobung von Frühwarn- und Evakuierungssystemen von entscheidender Bedeutung. Davon ist in entscheidendem Maß abhängig, wie viele Menschen gerettet werden und wie hoch der materielle Schaden sein wird.

Der Begriff *Last-mile* umschreibt dabei die Sicherstellung einer Frühwarnkette durch verantwortliche, übergeordnete Institutionen (*über alle Meilen*) bis hin zur betroffenen Bevölkerung, welche sprichwörtlich *auf der letzten Meile* lebt (Shah, 2006). Dieses Bild fand seinen Ursprung nach Erdbeben 2003 in der iranischen Stadt Bam. Hier wurde der Begriff *Last-mile* als der so genannte *crucial link* geprägt und wird seither verwendet! Dieser umschreibt die Schnittstelle zwischen technologische Systemen und Kommunikationsprozessen und den eigentlichen Empfängern der Nachricht oder Warnung: Der gefährdeten Bevölkerung.

Frühwarnsysteme und entsprechende Reaktionsinstrumente müssen daher unter Berücksichtigung der lokalen Strukturen, Akteure und Kapazitäten entwickelt und implementiert werden, da auf dieser Seite des Systems die Rezeptoren der Warnmeldung stehen. Die lokalen Behörden und die betroffene Bevölkerung müssen auf den Katastrophenfall vorbereitet sein und die Warnmeldung antizipieren und adäquat reagieren. Daher gilt als übergeordnetes Ziel dieses Projekts die Entwicklung und Erprobung eines numerischen *Last-mile* Tsunami Frühwarn- und Evakuierungsinformationssystem in einer Stadt. Zielgerechte Empfehlungen zur Tsunami Frühwarnung und Methodiken zu Evakuierungsszenarien werden gemeinsam mit den lokalen Behörden den örtlichen Wissenschaftlern entwickelt.

Außerdem ist bei der Entwicklung und Durchführung eines solchen Projekts in Indonesien zu beachten, dass der lokalen Ebene durch den Dezentralisierungs- und Demokratisierungsprozess in dem sich das Land seit 1999 massiv befindet, auch eine bedeutende Rolle zukommt. Im Zuge der zunehmenden Autonomie der Regionen erhalten die Landkreise (Kabupaten) und Städte (Kota) zunehmend umfangreichere Kompetenzen und Eigenverantwortung; auch im Bereich des Katastrophenschutzes und -vorsorge. Der Landrat bzw. Bürgermeister hat im Katastrophenfall die Entscheidungsgewalt und gegebenenfalls auch die Kompetenz, ob bei einer eingehenden Warnmeldung eine Evakuierung eingeleitet wird oder nicht. Auch die langfristige und nachhaltige Ressourcenverteilung und die Sicherheit der Bürger sind einer der Hauptaufgaben einer lokalen Verwaltung. Die resolute Dezentralisierung ist einerseits für ein lokal angepasstes Katastrophenmanagement und dadurch auch für eine schnelle Umsetzung einer Frühwarnmeldung förderlich. Die lokalen Strukturen und Kapazitäten müssen für ein effektives, interdisziplinäres, integriertes und die Institutionen übergreifendes Katastrophenmanagement vorhanden sein.

2. FORSCHUNGSANSATZ

2.1 Zusammengefasste Darstellung

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wird ein numerisches *Last-mile* Tsunami Frühwarn- und Evakuierungsinformationssystem (Akronym: *Last-mile*) anhand von detaillierten Erdbeobachtungsdaten und -techniken sowie der instationären, hydronumerischen Simulation der kleinskaligen Überflutungsdynamik einschließlich der Modellierung des Entfluchtungsverhalten im urbanen Küstenhinterland der Stadt Padang, West Sumatra, Indonesien, entwickelt. Durch die unmittelbare Küstenlage stellt die zum größten Teil auf dem Meeresspiegelniveau liegende, drittgrößte Stadt Sumatras mit ca. 1 Mio. Einwohnern eine Hochrisikozone in einer von Erdbeben und dadurch potenziell von Tsunamis gefährdeten Region dar (Stone, 2006, Sieh, 2006 & Borrero et al., 2006). In diesem Projekt findet daher die ingenieurtechnische Modellierung der Überflutungsdynamik und der physikalisch-technischen Verwundbarkeit unter Einbeziehung der sozioökonomischen Vulnerabilität der

Bevölkerung zur Schadensminderung bei derartigen Naturkatastrophen besondere Beachtung. Ein möglicherweise ausgelöster Tsunami erreicht die Küste nach nur wenigen Minuten und definiert damit die kritische Zeitmarke für den Ablauf einer Evakuierungsplanung in Padang. Zusätzlich wird in Padang eine Fläche von 500 km² mit dem Stereo-Kamerasystem HRSC befliegen und dadurch höchst präzise Geodaten der Stadt für die anderen Partner des Verbunds verfügbar gemacht. Neben hochaufgelösten Farbbilddaten lassen sich aus den Stereoaufnahmen äußerst genaue digitale Oberflächenmodelle dreidimensional ableiten und zu einer „visualisierten künstlichen Welt“ der Stadt Padang verwerten. Zudem werden mittels der Methode der zellularen Automaten risikobasierte, ort- und zeitspezifische Prognosen des Evakuierungsverhaltens der Bevölkerung und gleichzeitig durch ein numerisches Queueing-Modell der Verkehrsfluss in großen Teilen des Straßennetzes simuliert und mit den anderen Komponenten von *Last-mile* verknüpft. Damit wird das Entfluchtungsverhalten infolge extremer Naturereignisse (Tsunamis) an Küsten als vorkehrende Maßnahme des Katastrophenschutzes modelliert bzw. durch Entwicklung und Einrichtung einer Software Applikation in Form eines Informationssystems optimiert und dadurch indirekt im Vorfeld bzw. während einer Katastrophe steuerbar. Über die Erfassung höchstpräziser, digitaler Zeilenscanneraufnahmen lassen sich detaillierte Oberflächenmodelle ableiten. Daraus werden neben farblich brillanten Bilddaten, Geländehöhen ermittelt und auch Einzelgebäude erfasst und in Strukturklassen eingeteilt, die wiederum mit den Ergebnissen der zeitlich und räumlich hochaufgelösten Überflutungsdynamik sowie den Endergebnissen der Evakuierungssimulationen gekoppelt werden. Die Verknüpfung der Teilvorhaben stellt demnach den wissenschaftlichen Mehrwert des Projekts dar, welcher dadurch auch einen direkten positiven Effekt auf die wirtschaftliche Wertbarkeit der Produkte des Gesamtvorhabens hat. In diesem Zusammenhang hat der jüngste Tsunami vor der Südküste Javas (Pagandaran) am 17. Juli 2006 mit ca. 500 Todesopfern wiederholt verdeutlicht, welcher dringender Bedarf an wissenschaftlichen fundierten Informationen für eine Desastervorbereitung in potenziell gefährdeten Küstenregionen notwendig ist.

Der Erkenntnisgewinn dieses Verbundvorhabens ist signifikant und spiegelt ein einzigartiges, integriertes Gesamtsystem zur direkten Reduzierung von Desasterrisiken infolge Tsunamis mit lokalem Bezug in einem Entwicklungsland wider. Ausführliche Recherchen haben ergeben, dass dieser innovative Forschungsansatz sowohl auf nationaler als auch internationaler Ebene in der vorgesehenen Methoden Anwendung und dem angestrebten Erkenntnisgewinn auf wissenschaftlichem Niveau weltweit einzigartig ist. Die Gutachterkommentare eines internationalen Komitees zum Projektantrag belegen diese Einschätzung und bestätigen diesem Vorhaben einen hohen wissenschaftlichen Stellenwert mit großem Innovationspotenzial. Ferner wird das Projekt in enger Zusammenarbeit mit den lokalen Behörden und Nicht-Regierungsorganisationen in Padang, der Fakultät für Ingenieurwesen der Andalas Universität Padang sowie den übergeordneten Indonesischen Forschungsinstitutionen durchgeführt und kollaborativ mitentwickelt, so dass außerdem ein signifikanter Wissenstransfer und -aufbau (Capacity Building) in der wissenschaftlicher Zusammenarbeit vollzogen wird. Eine intensive Zusammenarbeit mit der Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) ist in Padang ebenfalls vorgesehen. Die Kooperationen und der Austausch von wissenschaftlichen Erkenntnissen mit den zuvor genannten Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen werden gefordert und ausdrücklich gefördert. Das Verbundvorhaben soll demnach durch verbesserte, hochgenaue Informationsgrundlagen auf lokaler Ebene zur Prävention von naturbedingten Desastern beitragen und fügt damit eine weitere Komponente zu dem vom GFZ-Potsdam federführend geleiteten Projekt zum Aufbau eines Tsunami Frühwarnsystems in Indonesien - GITEWS an (BMBF, 2005). Die Detailschärfe und -dichte der hydronumerischen Berechnun-

gen, digitalen Geländemodelle und Evakuierungssimulationen des hier dargestellten Projekts in einer einzigen Region Sumatras sind weitaus größer als die in GITEWS projektierten Forschungsleistungen in den dort aufgeführten Arbeitspaketen.

2.2 Methodik und Gesamtziele des Verbundvorhabens

Innerhalb dieses beantragen Verbundprojekts wird als Gesamtziel die entscheidende, letzte Stufe zur Vervollständigung einer effektiven Tsunami Frühwarnkette exemplarisch in der Stadt Padang numerisch definiert. Dementsprechend wird dieses Vorhaben komplementär zu den in GITEWS von der GTZ geleiteten, gleichnamigen Teilvorhaben *Last-mile* durchgeführt. Die von der GTZ definierten Leistungen mit eindeutig entwicklungspolitischen Zielsetzungen in drei Pilotregionen – darunter Padang – in GITEWS, umfassen vor allem bilaterale Beratungsprozesse auf lokaler Verwaltungsebene, welche u.a. die Vermittlung standardisierter Verfahren zur praktischen Katastrophenvorsorge und die organisatorische Einführungen von Mechanismen und Funktionsbeschreibungen zur Warnmeldung, Kompetenzverteilung, Rollenbewusstsein und Vorbereitungsplanung umfassen, z.B. in Schulen, Kindergärten oder Krankenhäusern. Dabei geht es insbesondere um die Definition der allgemeinen Warnkette vom nationalen und regionalen Warnzentrum hin zu den lokalen Behörden und von dort zur Bevölkerung, welche im exemplarischen Aufbau lokal angepasster Warnsysteme (Radio Systeme, Sirenen, traditionelle Lautsprechersysteme in Moscheen) (weiter)entwickelt und in den drei Pilotregionen etabliert werden sollen. *Last-mile* ergänzt diese Arbeiten in der Stadt Padang fundamental aus wissenschaftlicher Perspektive, indem es überhaupt erst die bislang nicht bekannte kleinskalige Überflutungsdynamik, die lokalen Vulnerabilitätsindikatoren auf Haushaltsebene, die kritischen Infrastrukturen (objektscharf) sowie das Mobilitätsverhalten der Einwohner von Padang sowie die daraus insgesamt abzuleitenden Evakuierungsmechanismen durch numerische Simulationen dezidiert untersucht. Die Zusammenarbeit mit den Partnern in GITEWS ist ausdrücklich gewünscht und sieht eine enge Kommunikation, einen kontinuierlichen Datenaustausch aus den Teilergebnissen von *Last-mile* vor. Daher wird der Daten- und Informationsaustausch zwischen beiden Projekten nachhaltig etabliert.

Insgesamt werden im Verbundprojekt „Numerisches *Last-mile* Tsunami Frühwarn- und Evakuierungsinformationssystem“ Antworten sowie Konzepte zu folgenden Fragestellungen und Punkten erstellt:

- Inwiefern ist nach Lokalisierung eines tsunamigenen Erdbebens und nach der Detektierung eines Tsunamis im Tiefwasser sowie infolge eines verifizierten Szenarienabgleichs und validierter Alarmdissemination im Krisen- und Informationszentrum in Jakarta, die initiierte Aufforderung zur Evakuierung und der Ablauf dieser Handlungsanweisung unter Berücksichtigung der physikalisch-technischen sowie sozioökonomischen Vulnerabilität der Bevölkerung in der betroffenen Küstenregion tageszeit- und wochentagspezifisch *überhaupt* möglich?
- Welche Überflutungsdynamik zeichnet den Tsunami in der Stadt Padang aus und welche Konsequenzen ergeben sich damit für das Evakuierungsverhalten bzw. die daraus zu entwickelnden Handlungsanweisungen? Welche Zeiträume stehen in den Subdistrikten der Stadt Padang im Detail zur Verfügung, um eine Evakuierung erfolgreich zu organisieren?
- Welche Probleme und Engpässe (*bottlenecks*) treten bei der Evakuierung auf? Welche tageszeit- und wochentagspezifischen Abhängigkeiten (Mobilitätsverhalten) bestehen

bei der Evakuierung und wie viele Szenarien lassen sich daraus ableiten? Existieren kritische Infrastrukturen und wie läuft deren Entfluchtung ab? Wie ist der Verkehrsablauf bei akuter Tsunami Gefahr und wie können diese eventuell auftretenden *bottlenecks* bereits heute mit einfachen Verfahren entschärft werden?

- Wie lassen sich die Vulnerabilität der Bevölkerung und die der kritischen Infrastrukturen abbilden und messen? Wo und wann existieren *hotspots* der Verwundbarkeit und wo sind besondere Hilfeleistungen im Falle der Evakuierung notwendig?
- Welche szenarienbedingten Entscheidungen/Empfehlungen sowie technischen und planerischen Maßnahmen, z.B. vertikale Evakuierung, *tsunami shelters*, etc., müssen getroffen und errichtet werden, um das Tsunami Desasterrisiko zu minimieren bzw. die Vulnerabilität der Küste Padangs und deren Bewohner zu reduzieren?

Insgesamt führt *Last-mile* zu Erkenntnissen über die detaillierte Überflutungsdynamik und optimale Frühwarn- und Evakuierungsmechanismen in Padang sowie die dadurch transformierten Schadensprognosen, die auch in nachfolgenden Systemen z.B. der Stadt- und Raumplanung in Küstenzonen (hier Padang) Einsatz finden können. Als abschließendes Produkt dieses Forschungsvorhabens wird eine Software Applikation mit einem *Graphical User Interface* (GUI) definiert, welches Szenarien, Datensätze und Analysen der fünf Teilkomponenten einschließt und daraus verknüpfte, zusätzliche Informationen für Entscheidungsträger und lokale Behörden bereitstellt. Die interaktive Visualisierung dient der effizienten und nutzerfreundlichen Informationsvermittlung sowohl an Betroffene als auch an wirtschaftliche und politische Entscheidungsträger und wird zudem projektbegleitend in einer sukzessiv entstehenden Webapplikation mit eingeschränktem Informationsgehalt für die allgemeine Öffentlichkeit zur Online-Nutzung bereitgestellt. Die angewandte Methodik von *Last-mile* ist insgesamt auf beliebige andere Küstenstädte übertragbar; vorausgesetzt die Zusammenarbeit mit den lokalen Verwaltungs- und Forschungsinstitutionen ist gegeben. Prinzipiell sind die in diesem Vorhaben aufgezeigten Fragestellungen – vor allem auf der fünften Stufe der allgemeinen Frühwarnkette (siehe Tabelle 1) interessant. Die wissenschaftliche Erfassung und detaillierte Beschreibung der Evakuierungsmechanismen bzw. Entwicklung von Empfehlungen zur Entfluchtung von urbanen Räumen ist auch in küstennahen Großstätten der westlichen, entwickelten Welt von großer Bedeutung, z.B. infolge von Sturmfluten an der Küste oder Deichbrüchen infolge Hochwasser im Binnenland. In den nächsten Jahren müssen diesbezüglich gleichsam Strategien angesprochen und Forschungsvorhaben durchgeführt werden.

Die enge Einbindung indonesischer Partner im Rahmen eines partizipativen Forschungsprozesses soll die Akzeptanz der zu leistenden Arbeiten im Vorhaben sowie deren erfolgreiche Integration in die Regional- und Raumplanung von Padang in politischer und administrativer Hinsicht annähernd sicherstellen und somit einen entwicklungspolitischen Erfolg gewährleisten. Weiterhin ergeben sich aus dem Vorhaben Vorschläge zur Entwicklung von Anpassungs- (*adaptation*) bzw. Verminderungsstrategien (*mitigation strategies*) zur Reduzierung des Risikos durch Naturgefahren der Region Padang; insbesondere durch *Capacity Building* und einen umfangreichen *Multi-Stakeholder Dialogue*, der einen Wissens- und Erkenntniszuwachs der örtlichen Bevölkerung und der Behörden hinsichtlich einer Tsunami Gefährdung und entsprechender Verhaltensweisen im Ereignisfall erzielt.

Auch das während der Projektarbeit sukzessiv entstehende 2D-Informationssystem, welches Evakuierungsszenarien und darauf aufbauend Empfehlungen entwickelt, wird gemeinsam mit

den lokalen Behörden in Padang entwickelt und als ein wertvolles Instrument zur Desastervorbereitung und zur akuten Katastrophenbewältigung angeboten. Es wird versucht dieses Instrument in den gegebenen lokalen und regionalen Strukturen (Satlak, Satkorlak) zu implementieren, da es eine effektive und effiziente Sammlung, Verwaltung, Prozessierung und Verteilung von Daten und der aus deren Analyse resultierender Information zur Frühwarnung und Evakuierung der Stadt Padang ermöglicht. Das System wird durch die lokalen Behörden selbständig aktualisiert. Schnittstellen und Standards werden so definiert, dass neueste Informationen, wie z.B. Feldkartierungen oder Zensus-Daten, selbstständig durch die das Informationssystem betreibende Institution durchführbar sind.

Die zusätzliche interaktive 3D-Visualisierung versteht sich als das hochtechnologische *add-on* des oben vorgestellten Informationssystems für die Stadt Padang und dient der effizienten Informationsvermittlung mit wirtschaftlich verwertbaren Prototypcharakter; auch zu Demonstrationszwecken in anderen durch Tsunami gefährdeten Regionen des Indischen Ozeans. Dieses hochaufgelöste und genaue Geländemodell liefert eine Auflösung von +/- 50 cm Auflösung. In dieses 3D-Visualisierungstool werden außerdem die Simulationsergebnisse der Tsunami Modellierung eingepflegt. Neben der Darstellung der höchsten Tsunami Wasserstände, werden exemplarisch auch die instationären Überflutungsszenarien eingebaut, welches als besonderer technologischer und wirtschaftlich verwertbarer Mehrwert gesehen wird. Insgesamt erfordert und beinhaltet dieses Verbundprojekt einen transdisziplinären (sozial-, wirtschafts-, ingenieur- und naturwissenschaftlichen) Forschungsansatz und eine enge Kooperation mit der örtlichen Bevölkerung bzw. den Entscheidungsträgern und weiteren *Stakeholdern*. Die Organisations- und Arbeitsstruktur von *Last-mile* einschließlich der wesentlichen Projektpartner ist in der Abbildung 1 dargestellt. Das Institut für Umwelt und menschliche Sicherheit der Universität der Vereinten Nationen (UNU-EHS) steuert das Projekt und obliegt es, die Initiierung und den Ausbau der Kooperation mit Partnern in Padang sicherzustellen.

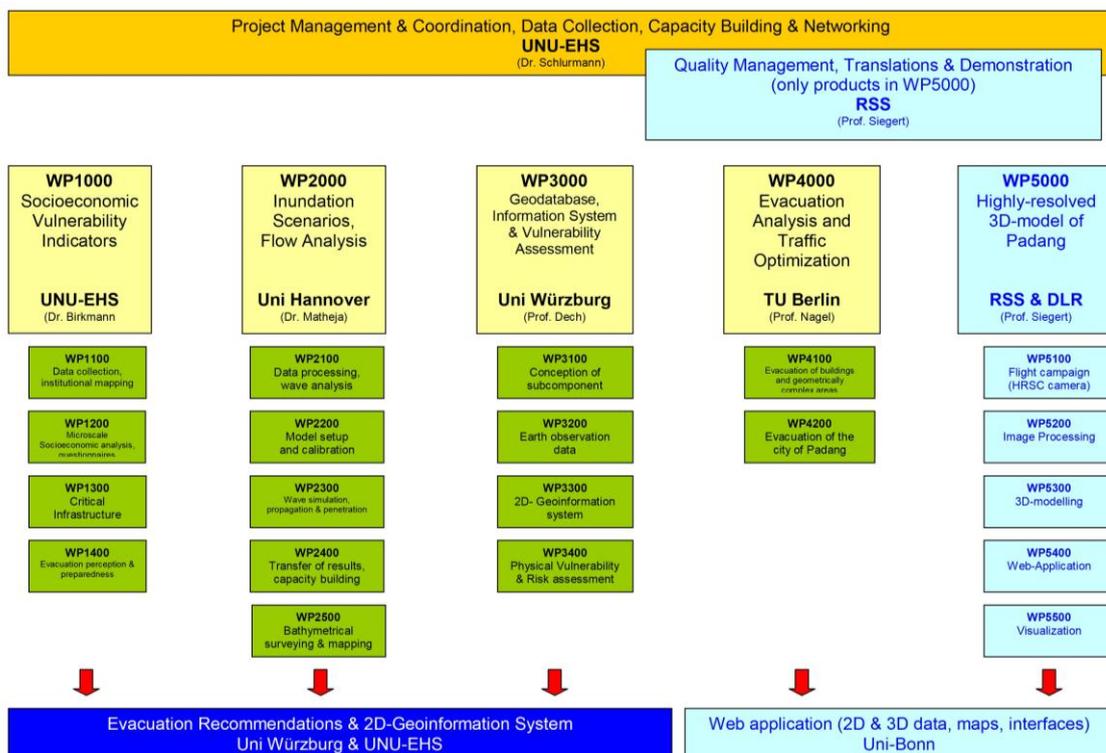


Abbildung 1: Organisations- und Arbeitsstruktur von *Last-mile*

2.3 Wissenschaftliche und technische Arbeitsziele des Vorhabens

In dem oben angeführten Kontext zur Vorbereitung auf und dem Schutz vor extremen Naturereignissen verfügt ein Frühwarnsystem im Allgemeinen über vier bzw. fünf Stufen, die nacheinander geschaltet ablaufen und damit eine geschlossene Frühwarnkette bilden. Nur das adäquate Zusammenspiel aller Stufen kann ein wirksames Frühwarnsystem definieren:

Stufe 1	Monitoring und Messung von Daten und Informationen (z.B. Seismizität, Ozeaninstrumentierung oder GPS-Daten)
Stufe 2	Risikobasierte Vorhersage und/oder (numerische) Simulation des potentiellen natürlichen Ereignisses und nach verifiziertem Szenarienabgleich die Initialisierung der Frühwarnkette
Stufe 3	Dissemination einer Warnmeldung aus einer zentralen Einrichtung in die von dem anstehenden extremen Naturereignis betroffene Region
Stufe 4	Prozessieren der empfangenen Information (Warnmeldung) und angemessene Reaktion der Behörden an die Bevölkerung, z.B. Aufforderung zur Evakuierung
Stufe 5	Menschliches Verhalten im Falle einer Evakuierung auf Grundlage vordefinierter Szenarien sowie gezielte Empfehlungen und Handlungsanweisung

Tabelle 1: Stufen einer wirksamen Frühwarnkette (hier für die Gefährdung Tsunami)

Partiell wird im Rahmen dieses Forschungsvorhabens die vierte aber insbesondere fünfte Stufe eines Frühwarnsystems für die Stadt Padang; also die *Last-mile* betrachtet. Um Empfehlungen und Handlungsanweisungen auf dieser Stufe wirksam abzuleiten, werden Tsunami Überflutungsszenarien und das Entfluchtungsverhalten infolge extremer Naturereignisse an der Küste verknüpft modelliert bzw. durch ein zu entwickelndes Informationssystem optimiert und indirekt im Vorfeld bzw. während der Katastrophe steuerbar. Die bestimmenden Aspekte eines *Last-mile* Tsunami Frühwarnsystems wurden in den bisherigen hydronumerischen Ansätzen bislang vernachlässigt. Vor diesem Hintergrund steckt die Hauptaufgabe zukünftiger Entwicklungen in der angewandten Forschung, indem Analysen zum Verständnis der intrinsischen Wechselwirkungen zwischen

Tsunami – Küste (urbanes Hinterland) – Verhalten (Reaktion) der Bewohner

im Fall einer akuten Tsunami- oder auch z.B. Sturmflutwarnung mit dem übergeordneten Ziel einer dezidierten Planung von Warn- und Evakuierungsmethoden in küstennahen, urbanen Agglomerationen tageszeit- und wochentagspezifisch durchgeführt werden. Die Untersuchung dieser intrinsischen Wechselwirkungen steht stellvertretend für das wissenschaftliche und technische Arbeitsziel bzw. -produkt dieses Verbundvorhabens.

Das vom BMBF geförderten Konsortialprojekt „Einrichtung von Kernelementen eines Tsunami-Frühwarnsystems im Indischen Ozean in Partnerschaft mit Indonesien und ggf. weiteren Partnern - GITEWS (Förderkennzeichen: 03TSU01)“ entwickelt in den nächsten fünf Jahren Kernelemente zur Einrichtung eines effektiven und nachhaltigen Frühwarnsystems mit Indonesien und weiteren Anrainern des Indischen Ozeans. Dieses Großprojekt der Helmholtz-Gemeinschaft und weiteren Partnern konzentriert sich auf Monitoring-Systeme und innovative Technologien (Stufen 1 & 2 in Tabelle 1) vor dem Hintergrund, dass für die gesamte West- bzw. Südwestküste Indonesiens im Falle eines Seebebens am Sunda-Bogen gilt, dass ein möglicherweise ausgelöster Tsunami die Küste in 18-20 Minuten in der ungünstigsten Kons-

tellation erreicht. Diese kritische Zeitmarke definiert das Design und die messtechnische Auslegung des technischen Frühwarnsystems. Um in diesem Zeitrahmen überhaupt eine sinnvolle Frühwarnung (bzw. Entwarnung) einleiten zu können, muss innerhalb der Zielsetzung von GITEWS eine dezidierte Tsunami Frühwarnung innerhalb von 10 bis maximal 12 Minuten in der betroffenen Küstenregion vorliegen, um dann eine Evakuierung einzuleiten.

Vor diesem Hintergrund konzentrieren sich die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in GITEWS auf ein hochtechnologisches, in Echtzeit arbeitendes Mess- und Prozessierungssystem, welches sowohl die Daten von seismischen und GPS-Stationen als auch von Küsten- und Tiefwasserbojen (OBU - *Ocean Bottom Units*) einschließt. Insbesondere die im Tiefwasser (4000-5000 m) eingesetzten Druckmessstationen nutzen die physikalische Gesetzmäßigkeit, dass Tsunamis – welche als Flachwasserwellen sowohl in küstennahen Regionen als auch auf offener See definiert werden – immer „Bodenkontakt“ haben und von daher auch in sehr großen Wassertiefen dynamische Druckanomalien am Meeresgrund induzieren. Im Unterschied zu Windwellen im Tiefwasserbereich weißt ein Tsunami auf offener See aber nur relativ kleine Wellenhöhen in der Größenordnung von Zentimetern bis Dezimeter bei gleichzeitig extrem großen Wellenlängen von einigen 100 Kilometern und Wellenperioden von bis 30 Minuten auf, so dass es nur bedingt möglich ist, einen Tsunami auf offener See mittels einer schwimmenden Messboje an der Wasseroberfläche in natürlicher Überlagerung mit dem „normalen“ Seegang direkt und in Echtzeit zu registrieren. Hingegen ist der Einfluss der an der Oberfläche in der Amplitude deutlich dominierende Windwellen auf dem Meeresgrund nicht mehr zu registrieren, so dass deren Einwirkung aus dem messtechnisch erfassten Signal durch die Druckmessstation herausgefiltert wird. Diese hydrodynamische Gesetzmäßigkeit ist ein natürlicher Tiefpassfilter, welche die *Ocean Bottom Units* geschickt ausnutzen: Die niederfrequenten Anteile eines Tsunamis werden von denen durch Wind generierten relativ hochfrequenten Anteile des Seegangs aus dem Gesamtsignal der Druckmessung am Meeresboden im Frequenzspektrum getrennt. Diese Methodik funktioniert im *hindcast* ausgezeichnet, bedarf in der Echtzeit-Analyse im operationellen Betrieb aber einer geschickten und vor allem hocheffektiven Methodik zur Tsunami Registrierung (Schlurmann, Dose & Schimmels, 2002). Die Schwierigkeiten liegen dabei in der mathematischen Filterung in Echtzeit, so dass oftmals nur moderne Methoden der Mathematik bei der Tsunami Registrierung und Prozessierung erfolgreich sind und insbesondere Zeit-Frequenz Analyseverfahren umfassen (Schlurmann, 2005). Sämtliche registrierten Daten (Seismometer, GPS, Bojen und Druckmessstation) werden über Satellit weitergeleitet und in einem Warnzentrum – welches derzeit in Jakarta aufgebaut wird – empfangen, prozessiert und analysiert, um bei verifizierter Bestätigung die in Tabelle 1 dargestellte Tsunami Warnkette auf der Stufe 3 zu initialisieren; aber auch um Entwarnungen bei nicht registrierten Tsunamis auszurufen und die Frühwarnkette zu unterbrechen.

Last-mile untersetzt diese in GITEWS bereits gewonnenen Erkenntnisse bzw. noch zu erarbeitenden Punkte sowie die sich in der Umsetzung befindlichen technologischen Maßnahmen auf kleinskaliger Ebene mit einem wesentlich detailreicheren Untersuchungsaufwand in einer einzigen Stadt in Sumatra, Padang. In den Arbeitspaketen der Partner 4 und 5 von *Last-mile* werden Forschungsaufgaben integriert, die in GITEWS derzeit nicht geplant bzw. umgesetzt werden. Dementsprechend stehen gewisse Arbeitsbereiche in GITEWS in direktem Bezug zu dem hier beantragten Forschungsvorhaben *Last-mile*. Die in dem Großprojekt durchzuführenden Tsunami Vulnerabilitätsstudien und Risikoabschätzungen umfassen aber den gesamten, am Indischen Ozean liegenden Küstenbereich (ca. 5000 km) der äquatorialen Inselkette Indo-

nesiens (Sumatra, Java, Bali, etc.) und sind darin begründet nur grob aufgelöst. Hydronumerische Simulationen in GITEWS stützen sich primär auf die Tiefwassermodellierung von Tsunamis und legen großen Stellenwert auf die Generierungsmechanismen infolge seismischer Anregung, was für ein zentral in Jakarta betriebenes Tsunami Informations- und Frühwarnsystem auch essentiell wichtig ist. Der Tsunami Wellenauflauf (*run-up*) an Land ist ebenfalls in diesem Arbeitspaket integriert, wobei hier auf mesoskaliger Gitternetzgröße und -struktur (100x100m, örtlich darunter: 50x50m) der Topographien und Bathymetrien Untersuchungen angestellt werden. Es ist derzeit im geplant elf Küstenstädte – darunter auch Padang – auf diesem groben digitalen Geländemodell zu untersuchen.

Dabei beziehen die geplanten numerischen Simulationen weder baulichen Strukturen noch die vorhandenen Straßenzüge und offenen Kanalsysteme – wie z.B. in Padang in einer Vielzahl vorhanden – in die Berechnungen ein. Die Landnutzung wird sehr grob über unterschiedliche Rauigkeitsbeiwerte parametrisiert in die numerischen Simulationen impliziert (Bebauung, Infrastrukturen, Bewuchs, etc). Detaillierte hydronumerische Überflutungssimulationen, objekt- und haushaltsbezogene Verwundbarkeitsstudien, Mobilitätsverhalten und agentenbasierten Evakuierungsanalysen bzw. auf die in diesem hier beantragten Vorhaben detaillierten Untersuchungen basierende Informationssysteme sowie das 3D Visualisierungstool sind in GITEWS überhaupt nicht integriert, und stellen damit den exklusiven Mehrwert des Projekts *Last-mile* im Erkenntnisgewinn zur Komplettierung des von der UNESCO/IOC so genannten *end-to-end* Tsunami Frühwarnsystems dar. Dieses Forschungsvorhaben unterstützt damit die Untersuchungen in GITEWS, ohne dabei in einer direkten wissenschaftlichen Konkurrenz zu stehen oder gar redundante Ergebnisse zur Validierung zu erzeugen. Um die Berechnungen in *Last-mile* auf kleinskaliger Stufe überhaupt erst durchzuführen, werden innerhalb des Vorhabens auch weitere Datensätze (Küstennahe Bathymetrie, Topographie, Haushaltsdaten, Mobilitätsverhalten, etc.) erhoben.

3. ZUSAMMENFASSUNG

Das Verbundvorhaben *Last-mile* kann in Bezug zu Tabelle 1 mit der Durchführung dieses Forschungsvorhabens die Tsunami *end-to-end* Frühwarnkette exemplarisch für eine Stadt im Indischen Ozean komplettieren und gleichzeitig die Überflutungsdynamik und die Mechanismen des Evakuierungsablaufs in einem Informationssystem als methodischer Ansatz zur Verfügung stellen. Es wird die zentrale Frage beantwortet, inwiefern bei verifizierter und validierter Tsunami Frühwarnung, eine Evakuierung aufgrund eines zur Küste Westsumatras propagierenden Tsunamis generell durchführbar ist. Welche Konsequenzen ergeben sich damit aus den numerischen Simulationen und welche Empfehlungen oder technischen Vorkehrungen müssen (zukünftig) getroffen werden? Diese Planungselemente können beispielsweise auch in ein Integriertes Küstenzonenmanagement (IKZM) für die Region West Sumatra einfließen. Die wissenschaftliche Methodik von *Last-mile* ist insgesamt auf beliebige andere Küstenstädte im Indischen Ozean übertragbar und bedarf nur einer Anpassung der Randbedingungen.

Als langfristige Empfehlungen der Simulationen und des Informationssystems sind auch die Bewertungen verschiedener städtebaulicher Maßnahmen und raumplanerischer Gesamtkonzeptionen angestrebt, welche die Schadensauswirkung extremer Naturereignisse langfristig mindern können, und insbesondere die relativ hohen Detailinformationen über das tatsächliche Gefährdungspotential an der Indonesischen Küste vor Padang umfassen. Um die Auswir-

kungen des Tsunamis in Padang einer weiteren Bewertung zu unterziehen, werden regelbasierte Strategien und leicht umzusetzende unmittelbare Maßnahmen (Polizeieinsatz, Straßensperren, sichere Sammelplätze, vertikale Evakuierung in robuste Gebäude, etc.) in Abhängigkeit der Tageszeit und dem Wochentag entwickelt. Dabei werden auch potenzielle Schadensfälle numerisch simuliert, um adäquat zu reagieren und Evakuierungsempfehlungen bei akuter Tsunami Gefährdung auszugeben. Diese vorab simulierten Ergebnisse werden entsprechend vorgehalten und produzieren in Echtzeit essentielle Informationen für steuerungsrelevante Prozesse und Empfehlungen für das operative Katastrophenmanagement in Padang.

Es gilt als unzweifelhaft, dass das zuvor dargestellte Verbundvorhaben keinesfalls die eigentlichen Empfänger dieser Fragen- und Aufgabenstellungen ausklammern darf. Nur ein vollkommen integrierender Ansatz unter Einbeziehung der tatsächlichen „Rezeptoren“ in den von Tsunami potenziell am schwersten betroffenen Regionen, muss in das Projekt *Last-mile* aber auch in alle folgenden Forschungsvorhaben in der Region Eingang finden. Diese müssen zu einer nachhaltigen Bewusstseinsfindung ob der Gefährdungen in der Gesellschaft als Minimalziel führen und die potentiellen katastrophalen Auswirkungen deutlich machen. Denn nur durch eine umfassende Katastrophenvorsorge im Rahmen internationaler und multisektoraler Kooperationen einschließlich einer detaillierten Risikoanalyse, die die Gefährdung durch extreme Naturereignisse und intrinsische Vulnerabilität der Menschen und Kulturen impliziert, einer technischen Katastrophenvorbeugung durch Schutzbauwerke und -maßnahmen sowie einer unmissverständlichen Bewusstseins- und Bereitschaftserhöhung der Bevölkerung ob der drohenden Naturgefahren, können die Risiken reduzieren, die von derartigen extremen Naturgefahren ausgehen. Ferner bedarf es einer Intensivierung von Schulungen, Trainingseinheiten und einer allgemein verbesserten Ausbildung – auch unter dem Begriff *capacity-building* bekannt – zur Vorbereitung der Bevölkerung, um den bevorstehenden Naturkatastrophen in der unterentwickelten Welt zumindest annähernd zuvorzukommen.

4. SCHRIFTTUM

BIRKMANN, J: Measuring Vulnerability towards Natural Hazard, Unites Nations University Press, Edited book of assorted monographs, 2006

BLAIKIE, P., CANNON, T., DAVIS, I. and B. WISNER: At Risk – natural hazards, people's vulnerability and disasters. *Routledge, Taylor & Francis Group*, Great Britain, 1994

BMBF: Konzeption der Bundesrepublik Deutschland zur Einrichtung eines Tsunami-Frühwarnsystems in der Katastrophenregion des Indischen Ozeans. Bundesministerium für Bildung und Forschung, 2005

BOGARDI, J.: Hazards, risks and vulnerabilities in a changing environment. *Global Environmental Change*, 2004, Vol. 14, pp. 361–365

BORRERO, J. C., SIEH, K., CHLIEH, M. and C. E. SYNOLAKIS: Tsunami inundation modeling for western Sumatra. *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, 2006, Vol. 103, No. 52, pp. 19673–19677

DAHDOUH-GUEBAS, F., JAYATISSA, L.P., DI NITTO, D., BOSIER, J.O., LO SEEN, D., KOEDAM, N.: How effective were mangroves as a defense against the recent tsunami? 2005, *Current Biology*, Volume 15, Issue 12, Pages R443-R447

DANIELSEN, F., SØRENSEN, M. K., OLWIG, M. F., SELVAM, V., PARISH, F. BURGESS, N. D., HIRAISHI, T., KARUNAGARAN, V.M., RASMUSSEN, M.S., HANSEN, L. B., QUARTO, A., SURYADIPUTRA, N.: The Asian Tsunami: A Protective Role for Coastal Vegetation, 2005, SCIENCE, Vol. 310. no. 5748, p. 643

FERNANDO, J.: Coral Poaching Worsens Tsunami Destruction in Sri Lanka. Eos, 2005, Vol. 86, No. 33

GITEWS Konsortialpartner, Technische Layout von GITEWS, Helmholtz-Gemeinschaft und weitere Partner, 2005

MUNICHRE: Schadenspiegel 3/2005 – Themenheft Risikofaktor Wasser, 2005, MunichRe
OUMERACI, H., Wasser im Küstenraum. In: Denkschrift Wasser, Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), 2003

SCHLURMANN, T., DOSE, T. und S. SCHIMMELS: Characteristic Modes of the 'Adriatic Tsunami' based on the Hilbert-Huang Transformation. In: *Proc. 4th International Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis (WAVES2001)*, American Society of Civil Engineers (ASCE), 2002, Vol. 2, pp. 1525-1534

SCHLURMANN, T.: Time-frequency Analysis Methods in Hydrology and Hydraulic Engineering. Habilitationsschrift. *Mitteilungen des Lehr- und Forschungsgebiets Wasserwirtschaft und Wasserbau*, Bergische Universität Wuppertal, 2005

SHAH, H. C.: The last mile: earthquake risk mitigation assistance in developing countries. In: *Extreme Natural Hazards. Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 2006, Vol. 364, pp. 2183–2189

SIEH, K.: Sumatran megathrust earthquakes: from science to saving lives. In: *Extreme Natural Hazards. Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 2006, Vol. 364, pp. 1947–1964

STONE, R.: The day the land tipped over. *SCIENCE Magazine*, 2006, Vol. 314, pp. 406

UNDP: Reducing Disaster Risk – A Challenge for Development. United Nations Development Programme, Report, 2004