

# VERBUNDVORHABEN "LAST-MILE - EVACUATION"

von

Nils Goseberg<sup>1</sup>  
Torsten Schlurmann<sup>2</sup>

## ABSTRACT

In-depth studies of inundation dynamics extracted from tsunami simulations could contribute widely where detailed information about velocity fields and flow depth is needed for evacuation simulation in coastal urban areas. Therefore we have taken the city of Padang, West Sumatra, Indonesia, into closer consideration for detailed analysis of tsunami inundation risks. In this regard, the paper presents a 2D numerical study that is used to evaluate relevant factors influencing the quality and reliability of such simulation results. We found basic factors such as the accuracy and resolution of the underlying digital elevation model as well as the influence of macro-roughness elements such as buildings and other infrastructure significantly affecting flow fields and water depths on microscopic level. The results markedly show the importance of highly-resolved geodata in order to deduce credible tsunami inundation scenarios as a basis for adequate coping and evacuation strategies for imperilled coastal regions.

## 1. EINLEITUNG

Das Vorhaben "Last-Mile - Evacuation" entwickelt in seiner Ausrichtung als interdisziplinäres Verbundprojekt ein numerisches "Last-Mile" Tsunami Frühwarn- und Evakuierungssystem, das schwerpunktmäßig anhand detaillierter Erdbeobachtungs- und hoch aufgelösten Messdaten, instationärer Überflutungssimulationen und der Modellierung von Entfluchtungsszenarien der Stadt Padang, Indonesien Informationen über Risiko und Gefährdung der dortigen Bevölkerung erarbeitet. Der Arbeitsstand dieses vom BMBF (Förderkennzeichen: 03G0666A-H) geförderten Projektes wird an dieser Stelle für das Arbeitspaket "Überschwemmungsszenarien, Überflutungsanalyse" dargestellt (WP 2000). Auf Grund der Küstenlage der Stadt Padang auf der Westseite der Insel Sumatra ergibt sich für die lokale Bevölkerung eine derzeit nicht ausreichend untersuchte Gefährdung infolge

---

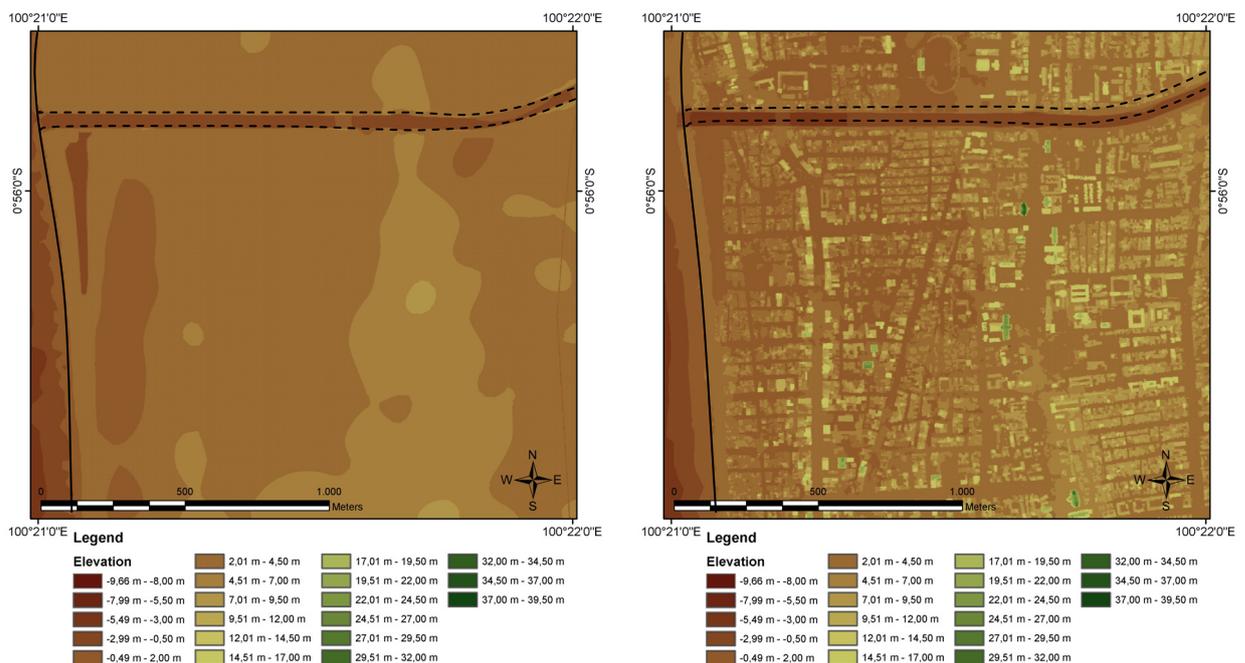
<sup>1</sup> Dipl.-Ing., Franzius-Institut, Nienburger Straße 4, 30167 Hannover

<sup>2</sup> Prof. Dr.-Ing., Franzius-Institut, Nienburger Straße 4, 30167 Hannover

möglicher Tsunami, die durch ein Seebeben am Sunda-Graben ausgelöst in rd. 18-25min die Stadt erreichen könnten. Auf Grund dieser Randbedingungen stellt sich die Aufgabe, lokalen Entscheidungsträgern alle für eine realistische Evakuierungsplanung notwendigen Informationen zur Verfügung zu stellen, damit im Falle eines realen Ereignisses effektive Maßnahmen zum Schutz der Bevölkerung getroffen werden können. Eine Zusammenstellung der Gesamtaktivitäten des Verbundprojektes kann Birkmann und Schlurmann (2007) entnommen werden.

## 2. DATENGRUNDLAGE

Ausgehend von der dargestellten Situation sind zu Beginn des Projektes zuerst die zur Verfügung stehenden Datengrundlagen zur Beschreibung der bathymetrischen und topographischen Gegebenheiten recherchiert und bewertet worden. Es standen nach diesem Schritt zum einen SRTM-Daten, vereinzelte GPS-Messungen und Satellitenbilder für die Topographie und zum anderen Einzelstrahlecholotmessungen, grobe nautische Karten sowie Konstruktionszeichnungen der Flutkanäle für die Bathymetrie in der Stadt zur Verfügung. Vor dem Hintergrund der zusätzlichen Erhebung hoch aufgelöster Datensätze innerhalb des Verbundprojektes wurde ein zweistufiges Verfahren für die Modellierung besprochen. Im ersten Schritt konnte auf der zu Beginn zur Verfügung stehenden Datenbasis ein grobes Gesamtgeländemodell erstellt werden. Im weiteren Projektverlauf sind daraufhin hydrographische Messungen der Wassertiefen vor Padang (rd. 42 km<sup>2</sup>) mit einem Fächerecholot durch das Franzius-Institut durchgeführt worden. Die Auswertung dieser Daten resultierte in einem 3x3m Raster, welches eine enorme Qualitätsverbesserung der vorhandenen bathymetrischen Daten darstellt.



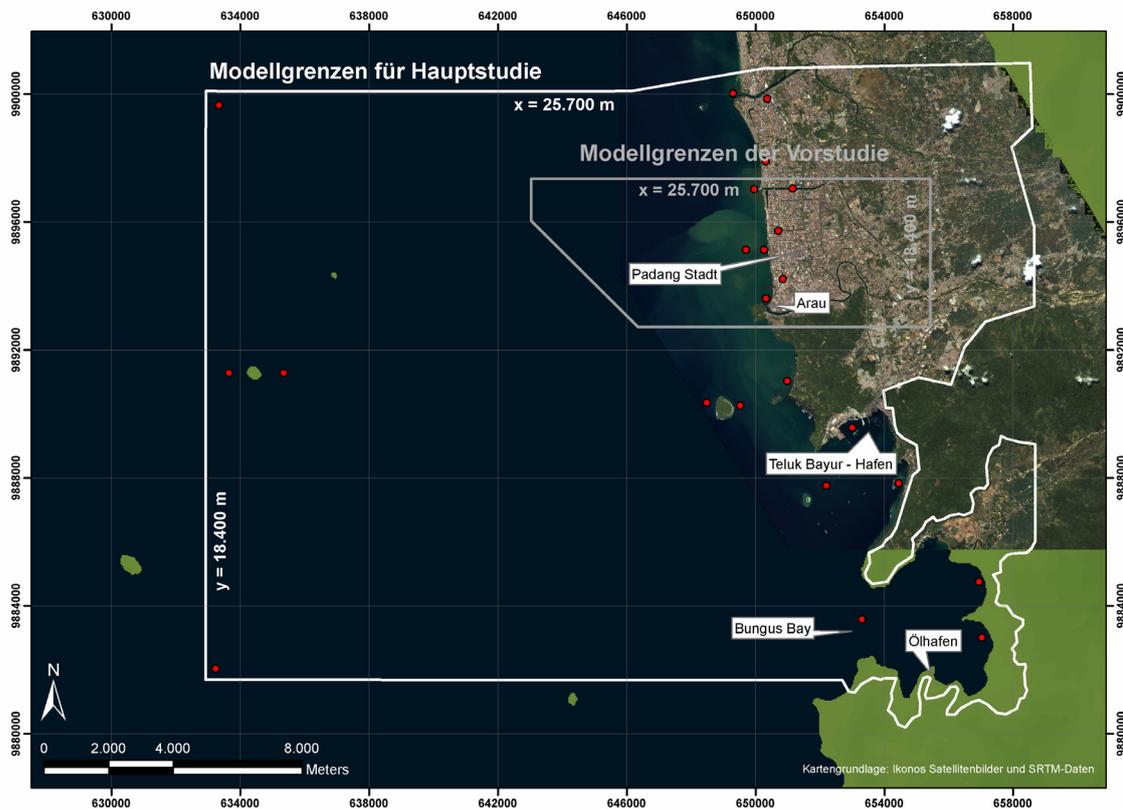
**Abbildung 1: Ausschnitt des DGM bzw. des DOM für die hydrodynamische Modellierung in grober (links) und hoher (rechts) Auflösung und Genauigkeit, Höhenangaben in m über NN, Küstenverlauf mit schwarzer Linie markiert, Hochwasserentlastungskanal (FRC) gestrichelte Linie**

Darüber hinaus wurden im August 2007 Befliegungen des städtischen Projektgebiets durch einen Partner im Verbundprojekt realisiert und ausgewertet. Die Datensätze wurden von

Ausreißern sowie Vegetation bereinigt. Aus diesen Daten wurden sowohl ein digitales Geländemodell (DGM) als auch ein digitales Oberflächenmodell (DOM) generiert. Im Ergebnis können die Verbundpartner auf einen Datensatz mit einer horizontalen Rasterweite von mindestens 0,5m zurückgreifen. Nachdem beide Ergänzungsdatensätze zur Verfügung standen, konnte ein Gesamtmodell erarbeitet werden, das im zweiten Schritt des Projektfortschrittes nun die Grundlage für die weiteren Modellierungen darstellt. In der Abbildung 1 sind die wesentlichen Unterschiede zwischen den beiden verwendeten Modellen dargestellt. Auch wenn im groben Geländemodell (linke Seite) wesentliche Elemente wie der Verlauf der Küste und des Hochwasserentlastungskanals und die gemittelte Geländeneigung zu identifizieren sind, können erst im hoch aufgelösten DOM (rechte Seite) die für eine zufrieden stellende Aussage aus Sicht der Modellierung notwendigen Strukturen und Element (z. B. einzelne Gebäude) hinreichend erfasst werden.

### 3. BESCHREIBUNG DES MODELLGEBIETS

Auf Grund der erläuterten Datenlage und projektinterner Abstimmungen hat sich für die Modellierung von Überflutungsszenarien und Analyse der Strömungsverhältnisse in der Stadt Padang das in der Abbildung 2 dargestellte Modellgebiet herausgebildet.



**Abbildung 2: Darstellung der Modellgrenzen der Vorstudie und des endgültigen Modellgebiets für die numerischen Überflutungsberechnungen sowie Position der Kontrollpegel (rot markiert)**

Neben dem eigentlichen Modellgebiet, dessen Ergebnisse direkt in die parallel stattfindenden Arbeiten der Projektpartner (z. B. Evakuierungssimulation) eingehen, sind die Modellgrenzen der Vorstudie eingetragen, die wesentliche Anhaltspunkte für die Umsetzung der Projektziele ergeben haben. Die Vorstudie wurde weiterhin dazu genutzt, die Einflüsse und die Sensitivität sowohl bei der Verwendung verschiedener Werte für die Rauheit als auch bei der

Modellierung der Bebauung zu analysieren. In Abbildung 2 sind weiterhin die vorgesehenen Positionen der Kontrollpegel eingetragen.

#### 4. METHODIK

Für die detaillierte numerische Modellierung wurde ein hybrider Ansatz mit zwei nacheinander ablaufenden Rechengängen gewählt wurde. Im ersten Schritt wurde die durch ein Seebeben generierte Wellenausbreitung auf der Grundlage des Modells TsunAwi (Harig et al., 2007) berechnet. TsunAwi basiert auf den nicht-linearen Flachwassergleichung. Die Diskretisierung für das Model erfolgt auf einem unstrukturierten Finite-Elemente-Netz, das in Abhängigkeit von dem zugrunde liegenden expliziten numerischen Verfahren sorgfältig aufgebaut worden ist (Behrens, 2008).

Die im zweiten Schritt durchgeführten hydrodynamischen Überflutungsrechnungen erfolgen mit dem Programm ANUGA, das von der Australian Nationaly University und Geoscience Australia entwickelt wurde. Ein Finite-Volumen-Ansatz wird ebenfalls dazu verwendet, die nicht-linearen Flachwassergleichungen als ein System konservativer Differentialgleichungen zu lösen, das sich aus den zweidimensionalen vertikal integrierten Gleichungen von Impuls und Kontinuität zusammensetzt. Das zu modellierende Gebiet wird mit einem unstrukturierten Dreiecksnetz diskretisiert (Nielsen et al., 2005). Für detaillierte Angaben zu dem verwendeten numerischen Verfahren sei an dieser Stelle auf eine Beschreibung in Zoppou und Roberts (1999) verwiesen.

#### 5. AUSGEWÄHLTE ERGEBNISSE

Mit Hilfe der vorgestellten Methodik wurden bereits eine Vielzahl an Szenarien und Varianten für das Vorstudien-Modell berechnet (Stahlmann, 2007).

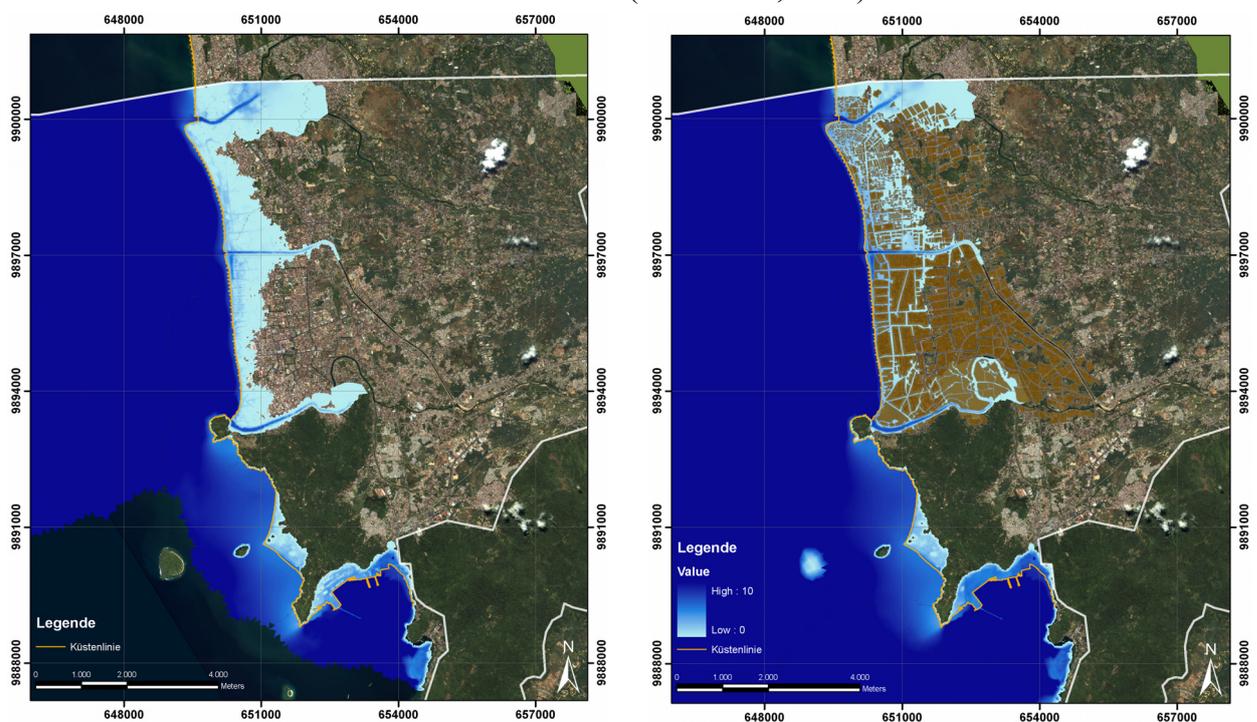


Abbildung 3: Maximale Überflutungsflächen zweier Variantenrechnungen basierend auf der Hauptstudie für einen Tsunami der Stärke  $M_w$  8.5, Variante links basierend auf DOM, Variante rechts basierend auf DGM mit Häusermaske

Des Weiteren wurden bereits vergleichende Untersuchungen zu den Auswirkungen der verschiedenen Gelände- und Oberflächenmodelle angestellt (Goseberg und Schlurmann, 2008). Insbesondere diese Ergebnisse zeigen deutlich, dass die Einflüsse auf die Größe der Überflutungsflächen und die zeitlich Dynamik der Überflutung ausgehend von Unterschieden in der zugrunde liegenden Geometrie extrem signifikant sind (Goseberg et al., 2008). Aktuelle Ergebnisse der Modellierung sind in Abbildung 3 für zwei Variantenrechnungen wiedergegeben. Derzeit werden die Ergebnisse, die bei der Verwendung von Häusermasken bzw. von digitalen Oberflächenmodellen erzielt werden, hinsichtlich ihrer Eignung für die numerischen Simulationen am konkreten Beispiel der Stadt Padang untersucht und bewertet.

## **6. ZUSAMMENFASSUNG**

Die im Rahmen des Verbundprojekts "Last-Mile - Evacuation" durchgeführten numerischen Überflutungsrechnungen stellen einen wesentlichen Faktor bei der Erarbeitung eines Tsunami Frühwarn- und Evakuierungsinformationssystems dar. Die bisherigen Simulationen zeigen, dass das angestrebte Projektgebiet mit den für die weitere Verwendung der notwendigen räumlichen Diskretisierung abgebildet werden kann. Bei der Verwendung hoch aufgelöster Datensätze, die innerhalb des Projektes zur Verfügung stehen, wird deutlich, dass eine signifikante Qualitätsverbesserung der Ergebnisse gegenüber deutlich schlechter aufgelösten Datensätzen erzielbar ist. Durch die Verwendung einer Vielzahl von Szenarien, die sowohl hinsichtlich des Epizentrums als auch der Erdbebenstärke variieren, besteht weiterhin die Möglichkeit, das Risiko für die Stadt Padang genauer zu bewerten. Die Szenarienentwicklung und Auswertung dauert z. Zt. noch an.

## **7. SCHRIFTTUM**

- BEHRENS, J.: TsunAWI - Unstructured Mesh Finite Element Model for the Computation of Tsunami Scenarios with Inundation. Proceedings of NAFEMS Seminar, 2008
- BIRKMANN, J. und SCHLURMANN, T.: Numerical Last-Mile Tsunami Early Warning and Evacuation Information System. GEOTECHNOLOGIEN Science Report No. 10, pp. 62-74, 2007
- GOSEBERG, N. et al.: Highly- resolved numerical modeling of tsunami run-up and inundation scenario in the city of Padang, West Sumatra. Proc. of the 31st Int. Conference on Coastal Engineering, 2009 (in press)
- GOSEBERG, N. und SCHLURMANN, T.: Relevant factors on the extent of inundation Based on Tsunami scenarios for the city of Padang, West Sumatra. Proc. of the International Conference on Tsunami Warning (ICTW), 2008
- HARIG, S. et al: Tsunami Simulations with unstructured grids (TsunAWI) and a comparison to simulations with nested grids (Tsunami-N3). 6th Int. Workshop on Unstructured Mesh Numerical Modelling of Coastal, Shelf and Ocean Flows, London, 2007
- NIELSEN, O., ROBERTS, S., GRAY, D., MCPHERSON, A. and HITCHMAN, A.: Hydrodynamic modelling of coastal Inundation. In: Zerger, A. (Hrsg.): MODSIM 2005 Int. Congress on Modelling and Simulation, pp. 518-523, Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, 2005
- STAHLMANN, A.: Ausbreitung und Wellenauflauf langperiodischer Wellen (Tsunami) im küstennahen Bereich vor West-Sumatra. Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen, Leibniz Universität Hannover, Diplomarbeit, 2007
- ZOPPOU, C. und ROBERTS, S.: Catastrophic Collapse of Water Supply Reservoirs in Urban Areas. Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 125, S. 686-695, 1999