

Multi-Risikobewertung in der Andenregion – Forschung, Entwicklung und praktische Anwendung

Multi-Risk Assessment in the Andes Region – Research, Development and Practical Application

Günter Strunz | Elisabeth Schöpfer | Christian Geiß | Torsten Riedlinger | Jörn Lauterjung | Harald Spahn

Zusammenfassung

Neben der unmittelbaren Krisenbewältigung und schnellen Hilfe im Falle von Naturkatastrophen kommt der Katastrophenvorsorge eine immer wichtigere Bedeutung zu. Grundlage dafür sind umfassende und realitätsnahe Risikoanalysen, die auf dem aktuellen Stand der Forschung basieren und komplexe Wechselwirkungen und Kaskadeneffekte mit einbeziehen. Der vorliegende Beitrag stellt die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur Multi-Risikobewertung und deren praktische Anwendung vor, die in enger Kooperation mit den Andenländern Chile, Peru und Ecuador durchgeführt werden.

Schlüsselwörter: Naturgefahren, Multi-Risikoanalysen, Katastrophenvorsorge, Informationssystem, Andenregion, Landmanagement

Summary

Besides the immediate crisis response and rapid relief in the event of natural disasters, disaster preparedness is becoming increasingly important. The basis for this are comprehensive and realistic risk analyses that are based on the current state of research and also take into account complex interactions and cascade effects. This article presents the research and development work on multi-risk assessment and its practical application, which is being carried out in close cooperation with the Andean countries Chile, Peru and Ecuador.

Keywords: *Natural hazards, multi-risk analysis, disaster risk reduction, information system, Andean region, land management*

1 Einleitung

Naturgefahren, wie Erdbeben, Vulkanausbrüche, Stürme, Hochwasser oder Waldbrände, gefährden jedes Jahr Millionen von Menschen und verursachen enorme wirtschaftliche Schäden. So betragen die weltweiten Schäden durch Naturkatastrophen 2020 rund 210 Mrd. US-Dollar und etwa 8200 Menschen kamen dabei um ihr Leben. Eine besonders heftige Hurrikansaison im Nordatlantik verursachte erhebliche Wind- und Sturmflutschäden sowie ausgedehnte Überschwemmungen. Starke Trockenheit begünstigte im Westen der USA eine Reihe von extremen Waldbränden. Asien war von mehreren schweren Wirbelstürmen betroffen und in Europa führten Starknieder-

schläge zu erheblichen Überschwemmungen. Insgesamt wurden weltweit 980 Naturkatastropheneignisse im Jahr 2020 registriert (MunichRe 2021).

Mit dem Ziel einer deutlichen Reduktion des Katastrophenrisikos weltweit wurde 2015 im japanischen Sendai ein internationales Rahmenwerk für die Katastrophenvorsorge verabschiedet. In dem Sendai-Rahmenwerk wurden dabei verschiedene nationale und internationale Maßnahmen für den Zeitraum 2015 bis 2030 festgelegt. Darin wurden insgesamt sieben globale Ziele zur Reduktion der von Naturkatastrophen betroffenen Anzahl an Personen und der wirtschaftlichen Schäden vereinbart. Unter anderem sind außerdem die Forderungen nach einer zunehmenden Verfügbarkeit von Frühwarnsystemen sowie nach umfassenden Risikoanalysen für Naturgefahren explizit genannt (UNDRR 2015).

Damit wird deutlich, dass zukünftig neben der schnellen Krisenreaktion und unmittelbaren Krisenbewältigung im Katastrophenfall insbesondere der Katastrophenvorsorge eine immer wichtigere Bedeutung zukommt. Dabei spielt auch die Forschung eine wesentliche Rolle, um neue Methoden zu entwickeln und die dadurch erlangten Erkenntnisse in die Praxis zu überführen. Auf nationaler Ebene tragen hier die Förderprogramme des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) zur zivilen Sicherheitsforschung sowie zur Forschung für Nachhaltigkeit wesentlich bei. Auf europäischer Ebene ist vor allem das Forschungsrahmenprogramm »Horizont Europa« mit dem Schwerpunkt »Zivile Sicherheit für die Gesellschaft« zu nennen.

2 Die Forschungsprojekte RIESGOS und RIESGOS 2.0

Die südamerikanische Andenregion ist in besonderem Maße einer Vielzahl von Naturgefahren ausgesetzt. Dies sind in erster Linie die tektonisch bedingten Gefahren, wie Erdbeben und Vulkanausbrüche, aber auch meteorologisch induzierte Ereignisse, wie Starkregen und Überschwemmungen, die zusätzlich durch die Auswirkungen von El Niño verstärkt werden können. Diese Naturgefahren können in den exponierten Lagen auch Folgeeffekte wie Hangrutschungen auslösen. Zudem können Tsunamis durch submarine Beben verursacht werden, die große Teile der südamerikanischen Pazifikküste gefährden.

Gleichzeitig unterliegen große Bereiche der Andenregion hochdynamischen Urbanisierungsprozessen aufgrund der Abwanderung vieler Menschen aus den ländlichen Gebieten in die Städte. Dies führt dort zu einer zunehmenden Exposition gegenüber Naturgefahren und den damit verbundenen Risiken.

Um diese Herausforderungen wirksam bewältigen und die Bevölkerung besser vor den Gefahren schützen zu können, ist ein effizientes Risikomanagement vonnöten. Als Grundlage dafür sind Forschungs- und Entwicklungsarbeiten und deren Umsetzung in die Praxis unerlässlich. Für die Katastrophenvorsorge sind umfassende Anpassungs- und Präventionsstrategien zu entwickeln, die auf wissenschaftlichen Erkenntnissen basieren und realitätsnahe Szenarien in Betracht ziehen. Außerdem ist es wichtig, die daraus abgeleiteten Strategien in ein nachhaltiges Landmanagement einzubeziehen.

Dafür sind vor allem verlässliche Informationen sowie wissenschaftlich fundierte Analyse- und Vorhersagemodelle erforderlich. Die bestehenden Systeme behandeln in der Regel nur einzelne Komponenten einer komplexen Risikobewertungskette. Komplexe Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Naturgefahren, die sich gegenseitig beeinflussen und verstärken können, oder daraus resultierende mögliche Kaskadeneffekte, die in der Folge weitreichende Auswirkungen auf kritische Infrastrukturen haben können, werden meist nicht berücksichtigt.

Hier setzt das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Verbundprojekt RIESGOS und sein Nachfolgeprojekt RIESGOS 2.0 an (RIESGOS 2021). Im Projekt arbeiten Experten verschiedener Disziplinen zusammen und entwickeln innovative Methoden zur Bewertung von komplexen Multi-Risiko-Situationen mit dem Ziel, diese in einem Informations- und Planungssystem verfügbar zu machen. Die Vorhaben werden vom BMBF im Rahmen der Fördermaßnahme »CLIENT II – Internationale Partnerschaften für nachhaltige Innovationen« des Rahmenprogramms »Forschung für nachhaltige Entwicklung (FONA)« gefördert.

In enger Zusammenarbeit mit Forschungseinrichtungen und Zivilschutzbehörden in den Andenländern Chile, Peru und Ecuador werden dabei zentrale Forschungsfragen adressiert, neue Methoden entwickelt und in Form von Webdiensten in die praktische Nutzung überführt. Hierbei arbeiten Forschungseinrichtungen und Universitäten, wie das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), das Deutsche GeoForschungsZentrum (GFZ), das Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI), die Technische Universität München (TUM) sowie 52°North, Plan+Risk Consult und DIALOGIK, eng mit einer großen Anzahl an Forschungseinrichtungen und Behörden in Chile, Peru und Ecuador zusammen. Dies sind in Chile vor allem das Forschungsnetzwerk CIGIDEN, bestehend aus vier Universitäten zur Naturgefahrenforschung und zum Risikomanagement, die nationale Zivilschutzbehörde ONEMI und der hydrographische Dienst der chilenischen Marine SHOA.

In Peru sind dies federführend das nationale Zentrum für strategische Planung CEPLAN, das Zentrum für Katastrophenrisikomanagement CENEPRED und die nationale Zivilschutzbehörde INDECI beteiligt. In Ecuador besteht eine enge Zusammenarbeit mit dem Bildungs- und Forschungsministerium SENESCYT, der Zivilschutzeinrichtung SNGRE sowie mit weiteren geophysikalischen und geologischen Forschungsinstituten wie IG-EPN und IIGE.

Die deutschen Auslandshandelskammern (AHK) in Chile, Peru und Ecuador unterstützen das Projekt im Bereich Anwendungspotenzialanalysen und sind in diesem Zusammenhang insbesondere mit den im Projekt beteiligten Unternehmen geomer, EOMAP und SLU im Austausch. Assoziierte Partner sind unter anderem die Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) und der deutsche Rückversicherer MunichRe.

Ein enger Austausch besteht außerdem mit den potenziellen zukünftigen Nutzern und Entscheidungsträgern auf lokaler Ebene in den Pilotregionen. Dies ist wichtig, um bereits während der Entwicklung von Produkten und Verfahren Anregungen und Feedback aus Sicht der Praxis zu erhalten, um diese in die laufenden Entwicklungen einfließen zu lassen. Dieser Prozess ist zwar zeitaufwändig, hat sich aber als sehr vorteilhaft und wichtig für das Projekt erwiesen.

3 Forschung zur Multi-Risikobewertung

Für ein effizientes Risikomanagement ist es erforderlich, die unterschiedlichen Risiken und deren Zusammenhänge zu erkennen und in einem gemeinsamen Multi-Risikoansatz umfassend zu analysieren. Daher ist es nicht ausreichend, nur einzelne Naturgefahren separat zu betrachten. Unterschiedliche Ereignisse können sich im Krisenfall gegenseitig beeinflussen. So können beispielsweise Erdbeben zu umfangreichen Hangrutschungen führen oder Wirbelstürme größere Überschwemmungen auslösen. Hangrutschungen können wiederum dazu beitragen, dass Flussläufe blockiert werden und es dadurch zu massiven Überschwemmungen oder Sturzfluten kommen kann. Zudem kann das Auftreten einer Naturgefahr kurzfristig die Anfälligkeit gegenüber einem anderen Ereignis deutlich vergrößern. Waldbrände können die Anfälligkeit der Böden gegenüber Flutereignissen oder Hangrutschungen erhöhen. Oder ein Erdbeben kann die Stabilität von Gebäuden gegenüber einem darauffolgenden Tsunami signifikant verschlechtern. Generell können somit Interaktionen und Abhängigkeiten sowohl hinsichtlich der Gefährdungen durch verschiedene Naturgefahren als auch deren Auswirkungen auf die Bevölkerung und kritische Infrastrukturen auftreten.

Schließlich können sog. Kaskaden- oder Dominoeffekte eintreten, bei denen die Folgeeffekte oft weitaus kritischer sein können als das ursprüngliche Ereignis (Gill und Malamud 2016). Beispiele hierfür sind Ereignisketten, bei denen ein primäres Naturereignis zu oft erheblich kriti-

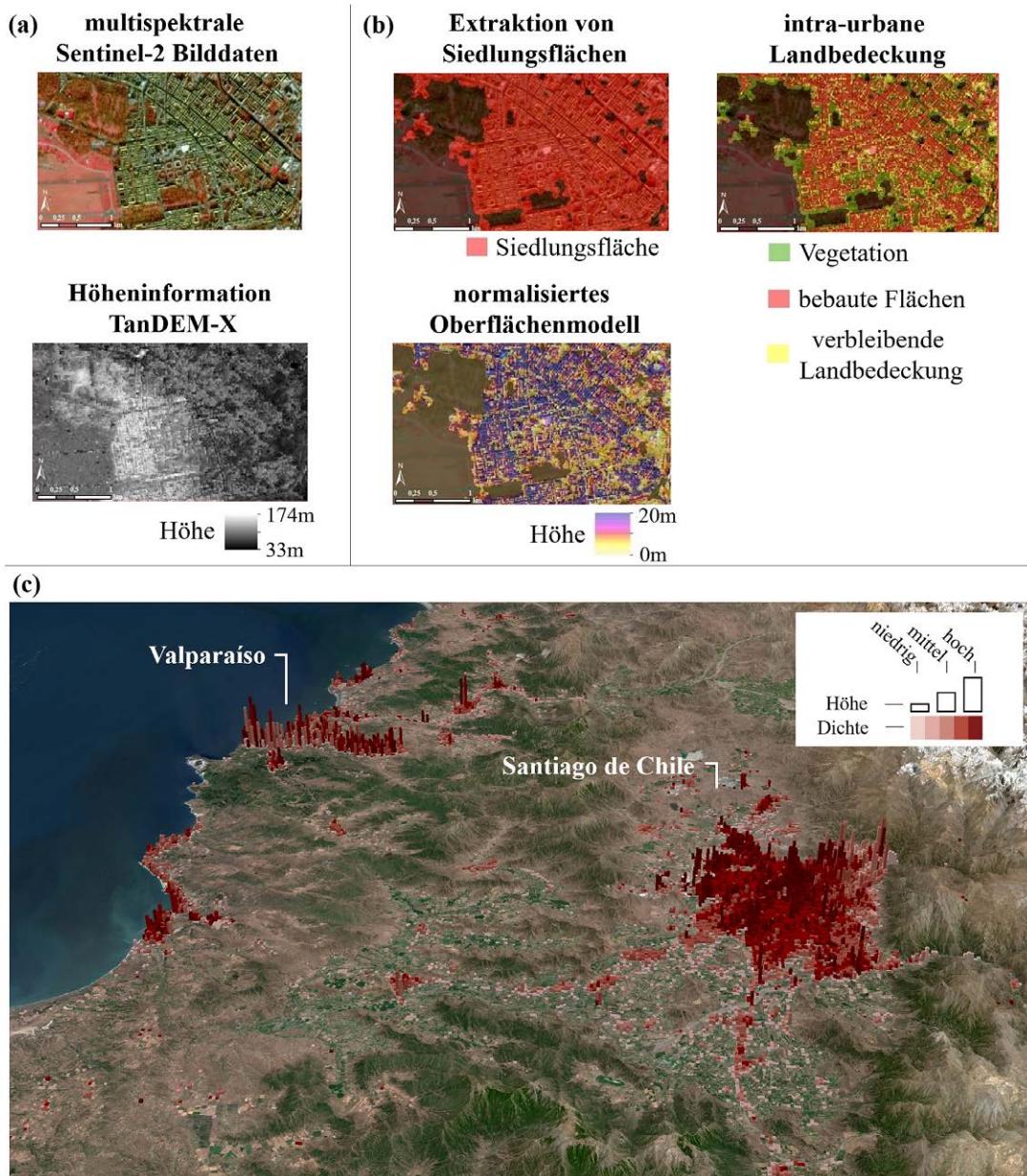


Abb. 1:
 Prozessierungs-
 schritte zur
 Ableitung von
 Bebauungshö-
 he und -dichte:
 (a) Eingangsdaten
 sind Sentinel-
 2-Bilddaten und
 TanDEM-X-Hö-
 henmodelle.
 (b) Daraus werden
 die Siedlungs-
 flächen und die
 intra-urbane
 Landbedeckung
 abgeleitet und
 ein normalisiertes
 Oberflächen-
 modell erstellt.
 (c) Auf dieser
 Basis werden
 schließlich auto-
 matisiert die
 Bebauungshö-
 he und -dichte abge-
 leitet. Dargestellt
 sind die Regionen
 Santiago de Chile
 und Valparaíso in
 Chile.

scheren technischen Unfällen und Auswirkungen führt. Offensichtlich wird dies beispielsweise anhand des Tsunamis in Japan 2011, der in der Folge einen kritischen Störfall in dem Atomkraftwerk in Fukushima verursachte. Generell können die möglichen Auswirkungen von Naturkatastrophen auf kritische Infrastrukturen enorme direkte und indirekte ökonomische Schäden nach sich ziehen und bis hin zur Unterbrechung von regionalen oder globalen Produktions- und Versorgungsketten führen.

Im Projekt RIESGOS wurde dafür ein innovativer Ansatz entwickelt, der auf der Analyse von realitätsnahen Katastrophenszenarien basiert und es ermöglicht, damit komplexe Multi-Risiko-Situationen abzubilden und zu simulieren. Ein wesentlicher Vorteil dieses Konzepts ist, dass die Analysen jeweils auf den aktuellen Stand der Forschung für die Modellierung und Prognose sowie auf aktuelle, großflächige Datengrundlagen zugreifen können.

Für die Erfassung dieser Datengrundlagen spielt die satellitengestützte Erdbeobachtung eine wichtige Rolle.

Durch das europäische Erdbeobachtungsprogramm Copernicus stehen mit den Sentinel-Satelliten hochwertige Daten weltweit kostenfrei zur Verfügung (Hoffmann und Schultz-Lieckfeld 2020). Die Nutzung dieser Daten und der daraus abgeleiteten Informationen eröffnet für das Katastrophengeschehen und die Risikoanalyse vielfältige neue Möglichkeiten.

Eine wichtige Datengrundlage für die Expositions- und Risikoanalyse stellen die Kartierung der Siedlungsflächen und die Charakterisierung der Gebäude oder Stadtstrukturen dar. Hierzu wurde ein neues Verfahren entwickelt, mit dem automatisiert Bebauungshöhe und -dichte großflächig aus Fernerkundungsdaten erfasst werden können. Das Verfahren beruht auf der Nutzung von multispektralen Sentinel-2-Bilddaten und Höheninformation der TanDEM-X-Mission. Dabei werden zunächst Siedlungsflächen von unbewohnten Gebieten unterschieden. Innerhalb der Siedlungsflächen werden dann die Höhen von Gebäudestrukturen extrahiert und ein normalisiertes

Oberflächenmodell erstellt, das nur die Gebäude enthält. Daraus werden schließlich automatisiert Bebauungshöhe und -dichte abgeleitet (Geiß et al. 2019). Abb. 1 zeigt die einzelnen Verarbeitungsschritte. Darüber hinaus wird dieses Verfahren aktuell noch weiterentwickelt. Um allein auf der Grundlage der global frei verfügbaren Sentinel-2-Daten die Siedlungsflächen in den Andenländern Chile, Peru und Ecuador konsistent und großflächig auswerten zu können, wurde ein entsprechendes Regressionsverfahren entwickelt, das auf Trainingsdaten basiert, die nach dem oben beschriebenen Verfahren vorab erzeugt werden (Geiß et al. 2020). Erste Ergebnisse dazu sind sehr vielversprechend, sodass damit zukünftig eine kontinentale oder sogar globale Erstellung dieser Gebäudedaten möglich sein wird.

Neben der Forschung zur großflächigen Ableitung von Expositionsdaten für Gebäude erfolgten ebenfalls umfangreiche Forschungsarbeiten zur Bewertung der physischen Vulnerabilität gegenüber Naturgefahren, auf die hier allerdings nicht näher eingegangen werden kann. Dabei wurde unter anderem auf Basis der Taxonomie von Gebäuden, die im Rahmen des »Global Earthquake Model (GEM)« verwendet wird, eine erweiterte Taxonomie entwickelt, die auf Multi-Risikoanalysen anwendbar ist und Erdbeben, Tsunamis, Überschwemmungen und vulkanische Gefahren miteinschließt. Ebenso wurden Forschungsarbeiten zur Bewertung von sich dynamisch ändernden Vulnerabilitäten durchgeführt. Dies ist erforderlich für die Abschätzung von kumulierten Schäden an Gebäuden aus Gefahrensequenzen, die sich aus den komplexen strukturellen Auswirkungen an Gebäuden zum Beispiel aufgrund eines Erdbebens mit nachfolgendem Tsunami ergeben können. Diese Forschungsarbeiten sind in Pittore et al. (2018) und Gomez-Zapata et al. (2021) im Detail beschrieben.

4 Entwicklung von modularen und flexiblen Informationssystem-Komponenten

Um die Forschungsergebnisse für die Anwender in der Planung und im Katastrophenmanagement zugänglich zu machen, wurde ein webbasiertes Demonstrator für ein Multi-Risiko-Informationssystem entwickelt. Das Softwaredesign basiert technisch auf einer serviceorientierten Architektur. Anstatt eines monolithischen Ansatzes wurde ein Konzept entwickelt, das auf einer verteilten Hard- und Software-Infrastruktur aufbaut und dessen zentrales Element webbasierte Dienste sind, die über standardisierte Schnittstellen eingebunden werden. Das Systemkonzept ist dadurch skalierbar, einfach zu erweitern, leicht wiederwendbar, modular und offen. Damit soll Behörden und Forschungseinrichtungen ein flexibler Zugang zu den entwickelten Multi-Risikoansätzen ermöglicht werden und es ihnen erlauben, die Entwicklungen in ihre eigenen, bereits bestehenden Informations- und Entscheidungsunterstützungssysteme zu integrieren. Über eine Ablaufsteuerung als Teil des Demonstrators können diese Webdienste zu einer Abfolge von Analyseschritten zusammengefasst und orchestriert werden.

Zudem lassen sich diese Webdienste leicht in bereits bestehende Systeme einbinden. Die Anbieter von Webdiensten definieren ihre Produkte, Anzeigeelemente und Konfigurationselemente. Die Benutzeroberfläche ermöglicht es dann dem Nutzer, das Produkt entsprechend seinen Bedürfnissen flexibel zu visualisieren. Durch die klare Trennung der Kompetenzen von Webdiensten und Nutzeroberfläche werden Modularität und Skalierbarkeit erhöht. Diese Flexibilität ermöglicht die Wiederverwendung der entwickelten RIESGOS-Komponenten in anderen

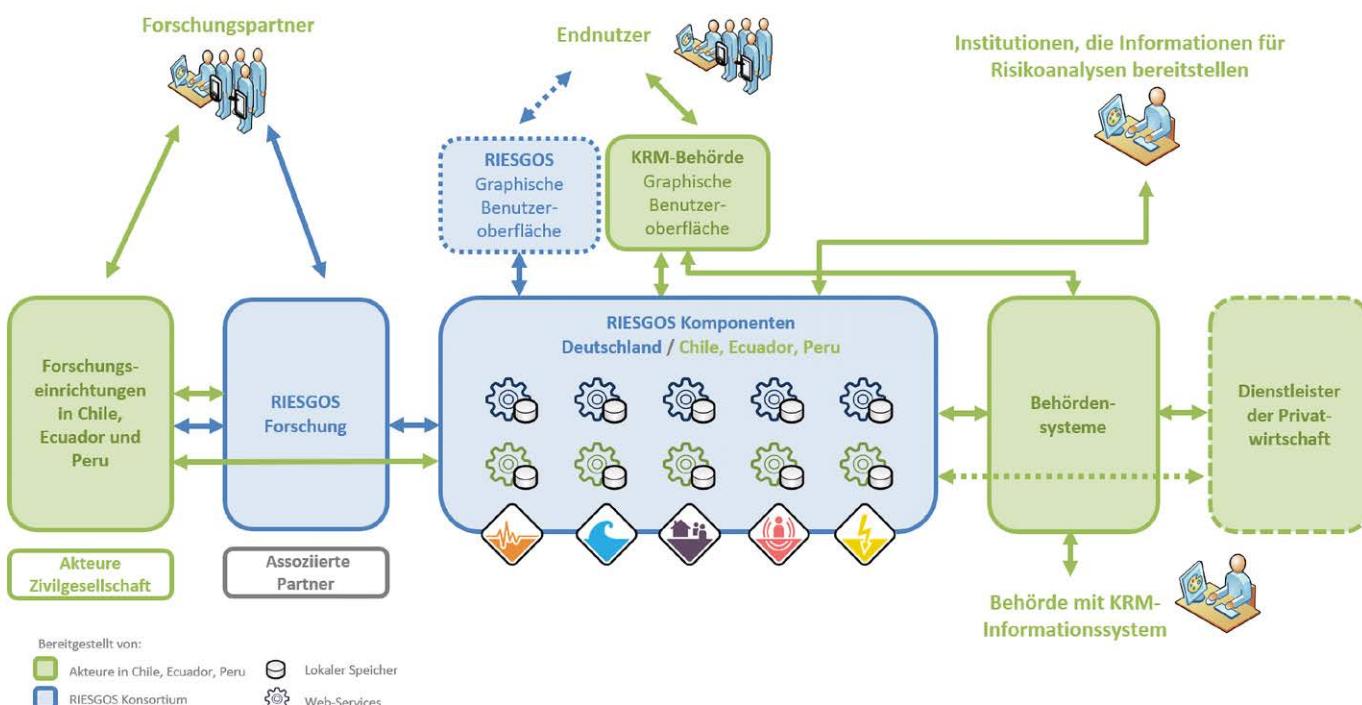


Abb. 2: RIESGOS-Systemkonzept und Beteiligung der verschiedenen Akteure

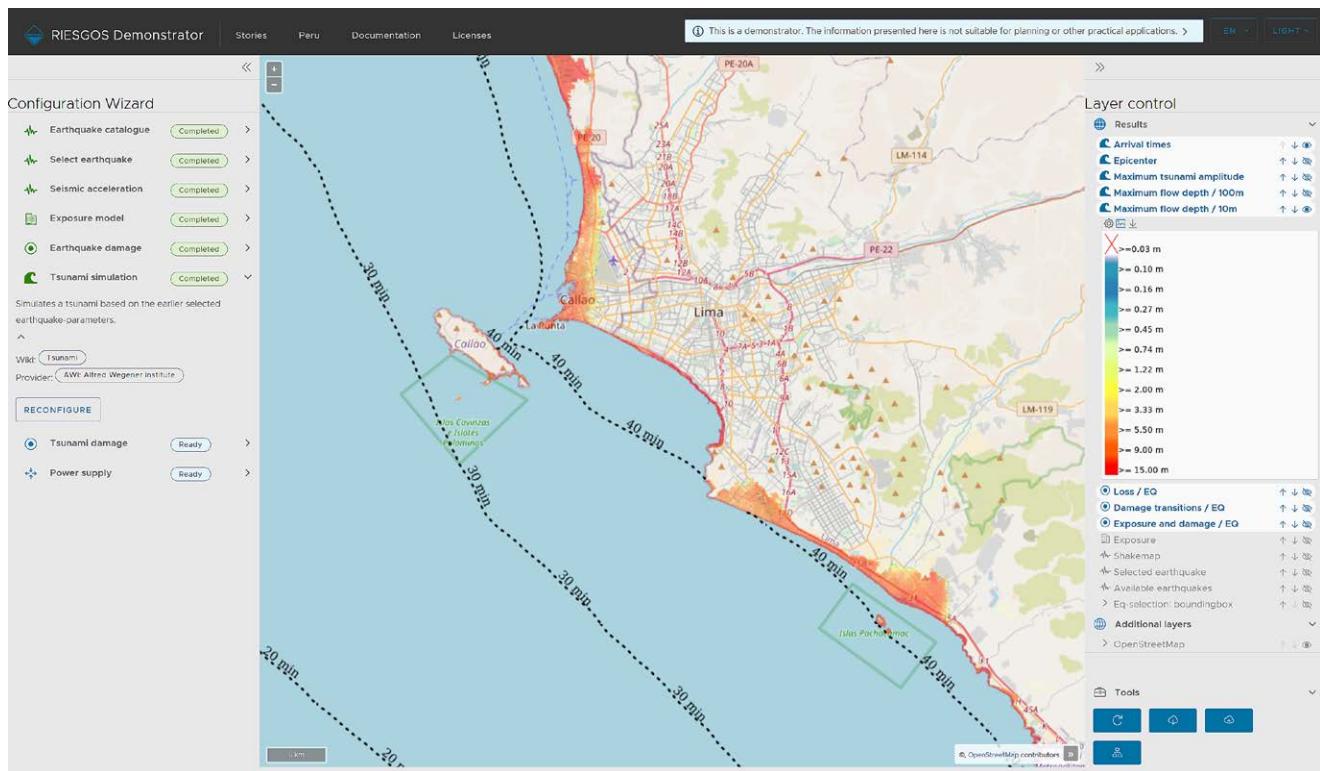


Abb. 3: Darstellung der Nutzeroberfläche des RIESGOS Demonstrators. Das Beispiel zeigt die Ergebnisse einer Tsunami-Simulation für die Region um Lima. Dargestellt sind die Wellenausbreitung, die Inundationsflächen an Land sowie die zu erwartenden Überflutungstiefen für ein ausgewähltes Szenario.

Kontexten, z. B. in Systemumgebungen südamerikanischer Institutionen. Die Institutionen wiederum können ihre Werkzeuge als Webdienste anbieten, auf die die Nutzeroberfläche zugreifen kann. Die Nutzeroberfläche erlaubt dabei auch die Auswahl zwischen alternativen Webdiensten mit ähnlichen Produkten, z. B. zwischen verschiedenen Erdbeben- oder Tsunamiereigniskatalogen. In Abb. 2 ist das Systemkonzept mit den beteiligten Akteuren im Überblick dargestellt.

Alle Dienste sowie deren Eingangsparameter und Produkte werden integriert in einer graphischen Nutzeroberfläche des RIESGOS Demonstrators dargestellt. Diese Oberfläche bietet jeweils ein ganzheitliches Lagebild eines Szenarios und ermöglicht somit die intuitive Steuerung durch den Nutzer. In Abb. 3 ist die Nutzeroberfläche ersichtlich. Der Hauptbildschirm ist in drei Darstellungsbereiche unterteilt: das zentrale Kartenfenster, links der Konfigurationsassistent für die Steuerung der einzelnen Webdienste und rechts die Liste der Ergebnisse sowie die Legende.

Ein wichtiges Ziel ist es, die Zusammenarbeit der verschiedenen Partner in der Software-Entwicklung zu unterstützen und den »Open Source«-Gedanken soweit möglich zu verfolgen. So sind die meisten Softwaremodule in RIESGOS im Internet öffentlich zugänglich und auf einer Open Source-Plattform (GitHub) publiziert. Dadurch wird der Austausch zwischen den verschiedenen Entwicklern im Projekt gefördert. Zudem steht die Software allen zur Verfügung, sodass diese von Entwicklern, Behörden und Firmen weltweit genutzt werden kann. Dadurch können

mögliche Erweiterungen an den Softwaremodulen und wichtige Erkenntnisse von der internationalen Entwicklergemeinschaft in das Projekt zurückfließen.

5 Anwendung in den Pilotregionen

In enger Absprache mit den südamerikanischen Projekt-partnern wurden ausgewählte Pilotregionen in Chile, Peru und Ecuador festgelegt, in denen die Multi-Risikoanalysen exemplarisch durchgeführt werden. Abb. 4 gibt einen fotografischen Einblick in die drei Pilotregionen.

Die in Chile ausgewählte Pilotregion ist das Küstengebiet des Großraums Valparaíso. Valparaíso ist mit seinen knapp 300.000 Einwohnern die größte chilenische Hafenstadt und Sitz des Nationalkongresses. Die Stadt erstreckt sich über mehr als vierzig Hügel und liegt über einer offenen Bucht am Pazifischen Ozean. Der Hafen hat die meisten Passagierankünfte des Landes und nach San Antonio den höchsten Containerumschlag des Landes. Über 30 % des gesamten Außenhandels werden über seine Terminals abgewickelt (Municipalidad de Valparaíso 2021). Die Stadt und ihre Einwohner waren in der Vergangenheit zum Teil folgenschweren Erdbeben, Tsunamis, starken Regenfällen, Erdrutschen und Waldbränden ausgesetzt.

Die im Projekt betrachtete Multi-Risiko-Situation geht von einem Erdbeben im Pazifischen Ozean vor der Küste Chiles aus, das einen Tsunami zur Folge hat. Die Region Valparaíso ist davon direkt durch die Auswirkungen des



Abb. 4: Pilotregionen in Chile, Ecuador und Peru

Erdbeben und die Zerstörungen durch die Tsunami-Wellen betroffen. Zudem kommt es zu Schäden an kritischen Infrastrukturen, die zu weiteren Kaskadeneffekten im Bereich der Infrastruktursysteme führen.

Dazu wurden umfangreiche Forschungsarbeiten durchgeführt mit dem Ziel, die dafür erforderlichen Daten und Modelle zu entwickeln und dann als Webdienste für den Demonstrator zur Verfügung zu stellen, sodass diese in dem Informationssystem als Planungsgrundlage verwendet werden können. Dies umfasst den Aufbau einer Datenbank von seismischen Ereignissen, die sowohl historische als auch hypothetische Erdbeben umfassen; zudem die Modellierung von seismisch-induzierten Bodenbewegungen sowie die Entwicklung von analytischen Fragilitätsfunktionen für Tsunamis. Außerdem wurden Tsunami-Modellierungen zur Wellenausbreitung und Überflutungsberechnung durchgeführt (Harig et al. 2020). Die Auswirkungen auf kritische Infrastruktursysteme wurden anhand der Unterbrechung der Stromversorgung untersucht. Basierend auf Daten zu den Kraftwerken, Substationen und Hochspannungsleitungen wurden entsprechende Netzwerkmodelle aufgesetzt. Die Analyse der Auswirkungen auf die betroffene Bevölkerung und der ökonomischen Verluste erfolgte sowohl hinsichtlich der direkten Schäden als auch der indirekten Auswirkungen. Weitergehende Ergebnisse dazu finden sich in Rosero-Velásquez und Straub (2020).

Das in Peru ausgewählte Pilotgebiet ist die Metropolregion Lima und Callao. Die Hauptstadt Lima liegt an der Pazifikküste am Fuße der Anden und bildet mit der angrenzenden Hafenstadt Callao den größten Ballungsraum des Landes. Das Gebiet zählt über 11 Mio. Menschen, also fast ein Drittel der Gesamtbevölkerung von Peru (INEI 2021). Die Region ist Naturgefahren wie Erdbeben, Tsunamis, starken Regenfällen, Überschwemmungen, Erdrutschs und Sturzfluten ausgesetzt. Die drei letztgenannten waren in den vergangenen 15 Jahren die am häufigsten auftretenden; die Erdbeben waren jedoch die Gefahr mit den größten Schäden (Municipalidad de Lima 2019). Große Teile des Straßennetzes befinden sich entlang der tsunamigefährdeten Küstenlinie. Das Gleiche gilt für den Hafen in Callao und den nahegelegenen internationalen Flughafen Jorge Chavez (CENEPRED 2017). Die untersuchte

Multi-Risiko-Situation ist ähnlich zu der in Valparaíso: Ein Erdbeben löst einen Tsunami aus und führt zu Störfällen kritischer Infrastrukturen.

In Ecuador konzentrieren sich die Untersuchungen auf den Vulkan Cotopaxi und dessen Umgebung. Cotopaxi ist einer der aktivsten Vulkane der Welt mit durchschnittlichen Wiederholungsintervallen für Eruptionen zwischen 117 und 147 Jahren (Barberi et al. 1995). Das zugrunde liegende Szenario geht von einem Vulkanausbruch des Cotopaxi und eruptionsbedingten Hangbewegungen aus. Als typische lokale Hangbewegungsmechanismen, die gleichzeitig aufgrund der Reichweite, Magnitude und enormen Zerstörungskraft von großer Bedeutung für Multi-Risiko-Abschätzungen sind, wurden Lahare identifiziert. Dabei handelt es sich um einen Schlamm- und Schuttstrom, bei dem sich eruptives Material mit Lockersedimenten und Wasser mischt. Je nach Geländeneigung können Lahare über 100 km weit fließen und große Gebiete überschwemmen (Hall und Mothes 2008). Zudem können Lahare durch starke Regenfälle oder Schmelzen von Schnee und Eis infolge ansteigender Temperaturen im eisbedeckten Kraterbereich ausgelöst werden. In der Gefährdungszone des nördlichen Abflusssystems ist die größte städtische Agglomeration El Valle de Los Chillos mit etwa 400.000 Einwohnern angrenzend an die Hauptstadt Quito. Im Süden des Cotopaxi befindet sich der Kanton Latacunga mit knapp 300.000 Einwohnern.

Die untersuchten Szenarien simulieren zu Beginn verschiedene Intensitäten von Vulkanaschefall und damit verbundenen Auswirkungen auf die bewohnten Gebiete. Nachfolgend, oder auch unabhängig davon, werden verschiedene Lahar-Modellierungen für die nördlichen und südlichen Flanken des Cotopaxi berechnet (Frimberger et al. 2021). Aufstauungen des Schlammmaterials können an manchen Stellen zu weiteren Überschwemmungen führen, die Siedlungen zusätzlich bedrohen können. Hier wurden ebenfalls Kaskadeneffekte und Auswirkungen auf die kritischen Infrastrukturen am Beispiel der Energieversorgung untersucht.

In allen ausgewählten Pilotregionen erfolgten die Arbeiten in enger Zusammenarbeit mit den südamerikanischen Forschungseinrichtungen und den beteiligten Behörden.

6 Integration der Nutzeranforderungen und Prozessbegleitung

Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in RIESGOS orientieren sich an den Bedürfnissen der Nutzer und der praktischen Anwendbarkeit. Daher sind eine Bedarfsanalyse und ein kontinuierlicher Feedbackprozess als wichtige Aufgaben in das Projekt integriert, um sowohl die Anforderungen der Nutzer als auch Verbesserungsvorschläge zu Zwischenergebnissen im Laufe des Entwicklungsprozesses gezielt zu erfassen und bestmöglich zu integrieren. Dazu wurde ein iteratives Vorgehen gewählt, das eine fröhe Fokussierung auf Nutzer- und Aufgabenanforderungen und empirische Überprüfungen der Entwürfe durch die Nutzer ermöglichte. In Abb. 5 ist dieses Vorgehen im Überblick dargestellt.

Multi-Risikoszenarien in den genannten Pilotregionen zu grunde liegen.

Ein zentraler Prozess, der kontinuierlich erfolgt, sind die Generierung und Analyse des Nutzerfeedbacks für den vom Projekt entwickelten Demonstrator. Dazu gab es regelmäßige Nutzer-Workshops in den drei Ländern, in denen die jeweiligen Entwicklungsstufen des Demonstrators präsentiert und diskutiert wurden. Über Fragebögen und praktische Übungen wurde das Feedback weiter vertieft. Die Ergebnisse wurden entsprechend aufbereitet und für die Festlegung der zu entwickelnden Funktionalitäten des Demonstrators genutzt.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die systematische Berücksichtigung der Nutzerinteressen durch einen kontinuierlichen Dialog- und Feedbackprozess nicht nur zu einer anwenderfreundlicheren Ausgestal-

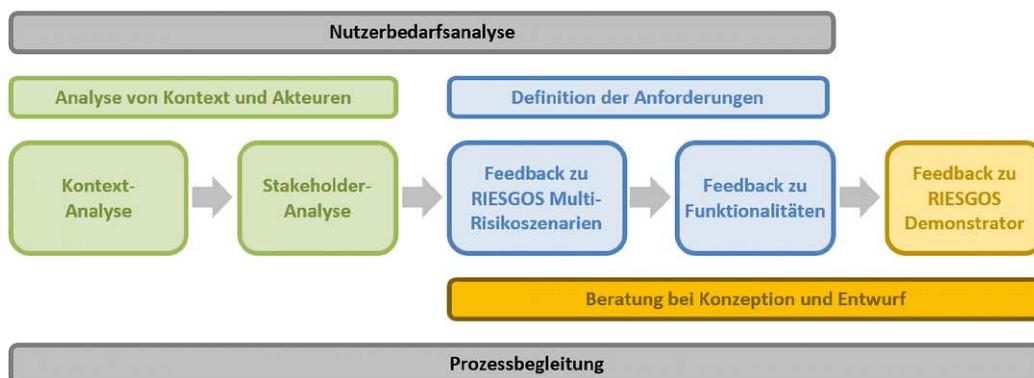


Abb. 5:
Nutzerbedarfsanalyse
und Prozessbegleit-
ung

In der ersten Projektphase wurde eine umfassende Nutzerbedarfsanalyse erstellt. Diese umfasste zunächst eine Kontext- und Stakeholder-Analyse, mit der eine Übersicht über die jeweiligen Rahmenbedingungen der Katastrophenrisikomanagementsysteme sowie der dazugehörigen Akteure in den drei Partnerländern erstellt werden konnte. Auf Grundlage der Kontextanalyse konnten spezifische Partner- und Nutzergruppen identifiziert werden. Für die Gruppe der potenziellen Endnutzer erfolgten zusätzliche Analysen hinsichtlich der Aufgaben und Ziele und der Arbeitskontakte sowie der technischen Rahmenbedingungen.

Die Erkenntnisse aus diesen Analysen spielten eine wesentliche Rolle beim Auf- und Ausbau eines Kooperationsnetzwerkes in allen drei Ländern. Die Förderung eines kontinuierlichen und vertrauensvollen Dialogs mit den südamerikanischen Partnern und Nutzergruppen war während der gesamten Projektlaufzeit sehr wichtig. Die konsistente Einbindung der Nutzer in den Entwicklungsprozess erfordert eine ständige Prozessbegleitung und Koordination mit Akteuren vor Ort.

Basierend auf den Erkenntnissen der Kontext- und Stakeholder-Analyse wurden Anforderungen der Partner identifiziert, die während des Entwicklungsprozesses umgesetzt werden sollten. Dazu zählen neben den Anforderungen an mögliche Funktionalitäten des Demonstrators insbesondere auch die wesentlichen Elemente, die den

tung des RIESGOS Demonstrators geführt hat, sondern darüber hinaus auch das Interesse an der Weiterentwicklung des wissenschaftlichen Ansatzes hin zur praktischen Anwendung förderte. Dies hat einen verstärkten Dialog zwischen Wissenschaft und Anwendern in Gang gesetzt sowie zur verstärkten Zusammenarbeit in den einzelnen Ländern geführt. Die Bedeutung des Themas und die konsequente nutzerorientierte Ausrichtung des Vorhabens haben außerdem dazu beigetragen, dass das Projekt im Laufe der Implementierung ein breites Kooperationsnetzwerk aufbauen und eine hohe Wahrnehmung auf politischer Ebene erreichen konnte.

7 Zusammenfassung und Ausblick

In den laufenden Projektarbeiten hat sich die Kombination von innovativen Forschungsarbeiten und der Entwicklung von modularen und flexiblen Informationssystem-Komponenten in enger Abstimmung mit den wissenschaftlichen und behördlichen Kooperationspartnern in den Andenländern als sehr erfolgreicher Ansatz erwiesen. Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten können damit direkt in die praktische Anwendung überführt werden. Das im Rahmen des Projektes aufgebaute, umfangreiche Kooperationsnetzwerk stellt die Grundlage dafür dar, dass

die Ergebnisse über die Projektlaufzeit hinaus genutzt und weiterentwickelt werden.

Eine wichtige Anforderung bei der zukünftigen Umsetzung der Ergebnisse ist sicherzustellen, dass die gewonnenen Erkenntnisse in ein effektives und vor allem vorausschauendes Landmanagement einbezogen werden. Damit dieses und die vorgeschlagenen Anpassungsmaßnahmen auch nachhaltig und langfristig wirksam sind, müssen die Erkenntnisse gezielt und rechtzeitig Eingang finden in die lokalen und regionalen Planungs- und Entscheidungsprozesse sowie Bau- und Infrastrukturmaßnahmen – natürlich eingebettet in eine übergeordnete Raumplanung.

Dank

Die vorgestellten Ergebnisse stammen aus den Projekten RIESGOS und RIESGOS 2.0, welche vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unter den Förderkennzeichen 03G0876A-J und 03G0905A-H gefördert und vom Projektträger Jülich im Auftrag des BMBF betreut werden.

Literatur

Barberi, F., Coltellini, M., Frullani, A., Rosi, M., Almeida, E. (1995): Chronology and dispersal characteristics of recently (last 5000 years) erupted tephra of Cotopaxi (Ecuador): Implications for long-term eruptive forecasting. In: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 69 (3-4), 217–239.

CENEPRED (2017): Escenario de riesgo por sismo y tsunami para Lima Metropolitana y la provincia constitucional del Callao. <https://dimse.cenepred.gob.pe/er/sismos/ESCENARIO-SISMO-TSUNAMI-LIMA-CALLAO.pdf>, letzter Zugriff 6/2021.

Frimberger, T., Andrade, S. D., Weber, S., Krautblatter, M. (2021): Modelling future lahars controlled by different volcanic eruption scenarios at Cotopaxi (Ecuador) calibrated with the massively destructive 1877 lahar. In: *Earth Surface Processes and Landforms*, 46 (3), 680–700. DOI: 10.1002/esp.5056.

Geiß, C., Leichtle, T., Wurm, M., Aravena Pelizari, P., Standfuß, I., Zhu, X. X., So, E., Siedentop, S., Esch, T., Taubenböck, H. (2019): Large-Area Characterization of Urban Morphology – Mapping Built-Up Height and Density with the TanDEM-X Mission and Sentinel-2. In: *IEEE – Journal of Selected Topics in Applied Earth Observation and Remote Sensing*, 12 (8), 2912–2927. DOI: 10.1109/JSTARS.2019.2917755.

Geiß, C., Schrade, H., Aravena Pelizari, P., Taubenböck, H. (2020): Multistrategy Ensemble Regression for Mapping of Built-Up Height and Density with Sentinel-2 Data. In: *ISPRS – Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 170, 57–71.

Gill, J. C., Malamud, B. D. (2016): Hazard Interactions and interaction networks (cascades) within multi-hazard methodologies, In: *ESD – Earth System Dynamics*, 7 (3), 659–679. DOI: 10.5194/esd-7-659-2016.

Gomez-Zapata, J. C., Brinckmann, N., Harig, S., Zafrir, R., Pittore, M., Cotton, F., Babeyko, A. (2021): Variable-resolution building exposure modelling for earthquake and tsunami scenario-based risk assessment. An application case in Lima, Peru. In: *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 1–30.

Hall, M., Mothes, P. (2008): The rhyolitic–andesitic eruptive history of Cotopaxi volcano, Ecuador. In: *Bulletin of Volcanology*, 70 (6), 675–702. DOI: 10.1007/s00445-007-0161-2.

Harig, S., Zamora, N., Gubler, A., Rakowsky, N. (2020): Systematic comparison of different numerical approaches for tsunami simulations at the Chilean coast as part of the RIESGOS project. No. EGU2020-6764, EGU2020.

Hoffmann, J., Schultz-Lieckfeld, L. (2020): Das Europäische Copernicus-Programm. In: *zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement*, 145 (4), 246–253. DOI: 10.12902/zfv-0298-2020.

INEI (2021): Instituto Nacional de Estadística e Informática. www.inei.gob.pe, letzter Zugriff 6/2021.

MunichRe (2021): Die Bilanz der Naturkatastrophen 2020. www.munichre.com/de/unternehmen/media-relations/medieninformationen-und-unternehmensnachrichten/medieninformationen/2021/bilanz-naturkatastrophen-2020.html, letzter Zugriff 6/2021.

Municipalidad de Lima (2019): Plan de Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres de Lima Metropolitana 2019–2022. www.munlima.gob.pe/images/plan-de-prevencion-y-reduccion-del-riesgo-de-desastres.pdf, letzter Zugriff 6/2021.

Municipalidad de Valparaíso (2021): Valparaíso una síntesis de lo que somos. <https://web.municipalidaddevalparaiso.cl/>, letzter Zugriff 6/2021.

Pittore, M., Haas, M., Megalooikonomou, K. G. (2018): Risk-Oriented, Bottom-Up Modeling of Building Portfolios with Faceted Taxonomies. In: *Frontiers in Built Environment*, 4 (Article 41), 1–14. DOI: 10.3389/fbuil.2018.00041.

RIESGOS (2021): Projektwebseite RIESGOS. www.riesgos.de, letzter Zugriff 6/2021.

Rosero-Velásquez, H., Straub, D. (2020): Selecting Representative Natural Hazard Scenarios for Engineering Systems with Inverse FORM. 30th European Safety and Reliability Conference and the 15th Probabilistic and Safety Assessment and Management Conference, Venice, Italy, November, 1–5, 2020.

UNDRR – United Nations Office for Disaster Risk Reduction (2015): Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030. www.unrr.org/publication/sendai-framework-disaster-risk-reduction-2015-2030, letzter Zugriff 6/2021.

Kontakt

Prof. Dr. Günter Strunz | Dr. Elisabeth Schöpfer |
 Dr. Christian Geiß | Dr. Torsten Riedlinger
 Deutsches Fernerkundungsdatenzentrum
 Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)
 Oberpfaffenhofen, 82234 Wessling
 guenter.strunz@dlr.de | elisabeth.schoepfer@dlr.de |
 christian.geiss@dlr.de | torsten.riedlinger@dlr.de

Dr. Jörn Lauterjung
 Helmholtz-Zentrum Potsdam
 Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ)
 Telegrafenberg, 14473 Potsdam
 joern.lauterjung@gfz-potsdam.de

Harald Spahn
 Consulting Services & Training
 Dwaspadd 15, 26689 Apen
 harald.spahn@web.de

Dieser Beitrag ist auch digital verfügbar unter www.geodaeis.info.