
*Dieter Kelletat***Tsunami und Tsunami-Forschung**

Aus der Sicht der Menschen als Küstenbewohner oder des Küstenforschers sollten hinsichtlich von Tsunami an erster Stelle deren Wirkung auf Küstengebiete und Infrastruktur stehen. Dieses ist jedoch keineswegs der Fall. Geophysiker/Seismologen (für die Ursachenbewertung) und Historiker (für Nachrichten von früheren Ereignissen) sind in der Tsunami-Forschung bei weitem am meisten vertreten. Geologen und Geomorphologen bilden nur einen sehr kleinen Teil der an Tsunami interessierten Wissenschaftler. Das zeigt sich auch bei einer Analyse der Tsunami-Literatur: weltweit dürfte es mindestens 2000 Publikationen dazu geben, davon ca. 1400, die seismologische oder sonstige Ursachen sowie die Wellenphysik betreffen und einige hundert historische Abhandlungen, darunter Tsunami-Kataloge, die im Mittelmeergebiet sogar 4000 Jahre zurück reichen. Von den mittlerweile weit über 2500 in diesen Katalogen erfassten Tsunami gibt es jedoch erst für wenige Dutzend eindeutige Feldbeweise, und selbst für als katastrophal beschriebene Vorgänge der Vergangenheit mit angeblicher Auslöschung großer Kulturen fehlen weitestgehend geomorphologische oder sedimentologische Belege. Sogar Publikationen über Tsunami-Modelle (von der Auslösung bis zum Wellen-Auflauf) sind mit mindestens 240 deutlich häufiger als jene, die sich mit Hinterlassenschaften von Tsunami in der Natur befassen. Diese erreichen erst allmählich und mit der Katastrophe vom 26. Dezember 2004 die Zahl 100, vor 4 Jahren lag sie noch bei ungefähr 60, wobei einige Ereignisse mehrfach beschrieben wurden. Daraus resultiert, dass noch gegen Ende des vorigen Jahrhunderts nur etwa von 2 Dutzend Paläo-Tsunami gesicherte Spuren erkannt und gedeutet

waren. Bis zum Jahre 1988, als in Norwegen und in Schottland Feinmaterial-Ablagerungen in küstennahen Seen und Marschen als tsunamigen identifizierten und schließlich auf die sog. Storegga-Slide vor ca. 7200 Jahren zurückgeführt werden konnten war unbekannt bzw. höchst umstritten, dass Tsunami überhaupt etwas anderes anrichten als Schäden und Zerstörung verbunden mit Abtragung, man also keine Spuren früherer Tsunami an Land finden könne.

Außerhalb des Pazifik, wo wenigstens für Japan etliche Beschreibungen vorlagen, aber selbst für die 3 stärksten Tsunami des 20. Jahrhunderts aus Beben der Stärken 9 und mehr auf der Richter Skala wie 1946, 1960 und 1964 keine Felddokumente belegt sind, ist die Forschungssituation noch magerer: vor Beginn der Paläo-Tsunami-Forschung in Essen fand man nur in Südeuropa Spuren des Lissabon-Tsunami von 1755 in Form feiner Sandlagen an der Algarve, 2 Kieslagen des Amorgos-Tsunami von 1956 in der Ägäis und Tsunami-Blocklagen in Apulien, die auf das späte Mittelalter datiert wurden. Feldarbeiten der Essener Tsunamigruppe konnten diese Befunde ergänzen um den Nachweis von Tsunamiablagerungen im Westen von Lissabon (aus dem Jahre 1755 sowie von 2.400 BP und etwa 6.000 BP), Blöcke bis 100 t mit Verlagerung bis zu 300 m im Gezeitenbereich, begleitet von bimodalen Sedimenten (Sande mit schwebenden Blöcken von mehreren 100 kg) bis auf die Höhe des Kap Trafalgar in Andalusien bei 19 m ü.M., Blockwälle mit guter *imbrication* (dachziegelartiger Lagerung) bis um +10 m im SE und NE von Mallorca, datiert auf 2 Ereignisse ca. 460 BP und 1400 BP, große Blockpackungen in der Südtürkei oder ausge dehnte *run up* –Spuren mit Blockverlagerungen und Buchtfüllungen durch einige Mio t Schotter und Sande durch einen extremen Tsunami im Westen und Südosten Zyperns vor ca. 250-300 Jahren. Die Zypern-Studien waren eine wesentliche Grundlage für die Methodik des induktiven und multimethodischen Tsunami-

Nachweises im Gelände. Die jüngsten Paläo-Tsunami-Belege stammen aus dem Westen Griechenlands (wahrscheinlich um 2.400 BP) sowie aus Westkreta mit vielfältigen Hinweisen auf 5660 BP, das Hebungseignis des Jahres 365 AD und etwa 500 BP.

Für die Karibik waren seit 1989 mehrfach alle historischen Quellen seit Kolumbus geprüft und von 88 zunächst verdächtigen Katastrophenbeschreibungen schließlich 27 als höchstwahrscheinliche Tsunami für die letzten 500 Jahre gekennzeichnet. Sie verteilen sich auf dem karibischen Inselbogen, wo infolge der Bewegung der karibischen Platte gegen die nordamerikanische und entlang der südamerikanischen sowohl Erd- und Seebeben häufig sind wie auch Kollaps von Vulkanen bei phreato-magmatischen Ausbrüchen. Somit gibt es hier eine ganze Reihe potentieller Tsunami-Auslöser, zu denen noch submarine Rutschungen hinzu kommen können. Die höchsten *run up*-Werte, die dabei wahrscheinlich gemacht werden konnten, lagen bei kaum +10 m. In diesem Raum, dem ersten Hauptarbeitsgebiet der Essener Forschergruppe, gab es ebenfalls nur sehr sporadische Feldhinweise auf Tsunami, die in jedem Falle nur lokalen Charakter hatten. Dazu gehören die Beobachtungen auf Grand Cayman (einige Großblöcke oberhalb der Brandungsreichweite), Sandablagerungen des Tsunami von 1918 auf Puerto Rico, Hinweise auf Blöcke bis +15 m an der Nordküste von Venezuela, ähnliche Befunde unbekannter Zeitstellung auf der Insel Mona westlich Puerto Rico sowie schließlich mit Spuren auf einer Venezuela im Norden vorgelagerten kleinen Insel. Verbunden mit den historischen Hinweisen ergab sich damit ein Tsunamirisiko von sehr begrenztem Umfang mit nur lokaler Gefährdung durch höheren *run up*.

Die Essener Arbeiten (vor allem durch Anja Scheffers) begannen auf den Inseln Aruba, Curaçao und Bonaire im Jahre 2000. Hier waren zwar gröbere Sedimente einschließlich Korallenbruchstücke

in ausgedehnten Anhäufungen entlang der Passat-orientierten Küsten bekannt, doch wurden diese als „rampart“ (Abb. 1) bezeichneten Ablagerungen stets früheren Hurrikanen zugerechnet (obwohl von den Riff-Forschern immer ausdrücklich betont wurde, dass diese Inseln außerhalb des eigentlichen Hurrikan-Gürtels kaum je von dieser Naturgewalt gefährdet seien). Offensichtlich übersehen wurden dabei jedoch mehrere Tatsachen: neben dem Grobschutt in

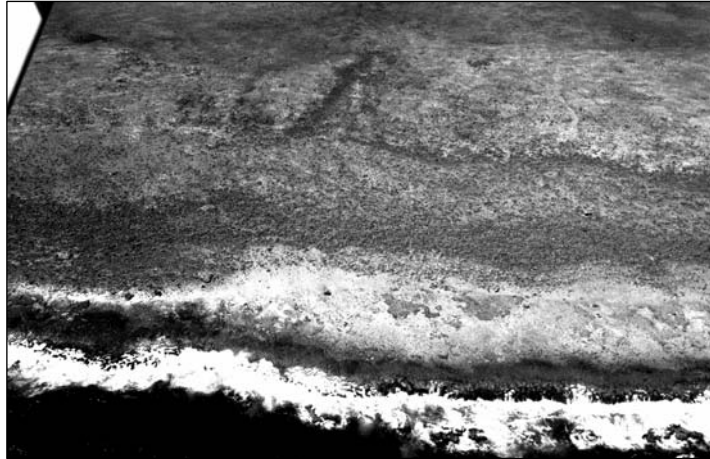


Abb. 1: Schräg-Luftaufnahme der "ramparts", flächig ausgebreiteter, grober Korallenschuttlagen (ca. 3-4000 Jahre alt) im Osten von Bonaire..

den „ramparts“, der allein einige Mio t Material aus einzelnen Vorgängen enthält, außerhalb der Sturmreichweite liegt und aufgrund seiner starken Verwitterung auf den ersten Blick jede Bewegung innerhalb der letzten Jahrhunderte ausschließt kommen hier und weiter landwärts und viele Meter oberhalb des Meeresspiegels auch große Blöcke vor, deren Maximalgewichte jenseits von 200 t liegen können (Abb. 2). Diese gibt es auch an den Leeseiten der Inseln, wo Hurrikane schon aufgrund des Schutzes durch die Saumriffe keine Wirkung dieser Größenordnung entfalten können. Außerdem

sind weltweit keine Belege für den Transport von Blöcken dieser Größenordnungen durch Sturmwellen bekannt.

Abb. 2 Großblöcke (bis über 200 t) im Osten von Bonaire, die nur von Tsunami verlagert worden sein können



Die Feldarbeiten auf den ABC-Inseln umfassten zunächst die Kartierung aller groben Küstenablagerungen, die offensichtlich ein höheres Alter aufwiesen. Zur relativen Abschätzung dieses höheren Alters wurden eine ganze Reihe von Indizien herangezogen wie z.B.: Boden- und Vegetationsentwicklung innerhalb und auf den Ablagerungen, Verwitterungsintensitäten (Wabenverwitterung, Tafonierung, Kalklösung, Überzüge mit endolithischen Cyanophyceen und Chlorophyceen oder in-situ-Zerlegung durch Salzsprengung), dazu Beziehungen zu älteren Bauwerken und Materialeingriffen im Verlaufe des 2. Weltkrieges und das Fehlen von Nachrichten über entsprechende Wellenkatastrophen innerhalb der Zeit-

spanne seit der holländischen Besiedlung im Jahre 1634. Auch das Gefüge des Grobschuttes kann Hinweise auf seinen Transport geben.

Die im Grobschutt enthaltenen Korallenbruchstücke erlaubten Hinweise auf die Herkunftsgebiete (z.B. Wassertiefe), und imbrication sowie in einzelnen Fällen Ausbruchstellen von Großblöcken die Rekonstruktion der genauen Transportrichtung. Morphologische Charakteristika an Blöcken wie Reste von rock pools oder notches ermöglichen darüber hinaus auch eine Quantifizierung der Vertikalbewegung zwischen Herkunfts- und Ablagerungsort, weil diese Formen nur in ganz bestimmten Gürteln des Litorals auftreten. Zusätzlich konnten als Altersindizien herangezogen werden die nach der Zerstörung wieder verheilten Ausbruchstellen infolge bioerosiver Überprägung oder biokonstruktiver Vernarbung in den *benches*, welche weitgehend aus Wurmschnecken und Seepocken aufgebaut sind.

Erst im Anschluss an die Ermittlung von Verbreitung, Lagerungsgefüge, Korngrößen und Kornformen, Sortierungsgrad, Herkunftsgebiete und relative Altersindizien, aus denen die Energie und der Typ des Verlagerungsvorganges sowie sein potentielles Alter erschlossen wurden, begann die Auswahl geeigneter Proben für eine absolute Altersbestimmung. Hierbei taucht ein weiteres Problem auf, welches insbesondere den Transportzeitpunkt der großen Blöcke betrifft: Diese sind meist aus dem Kliff an einer pleistozänen Riffterasse (letztes und vorletztes Interglazial) herausgebrochen worden. Hier gilt es demnach nicht, das Materialalter zu bestimmen, sondern den Zeitpunkt seiner letzten (tsunamigenen) Verlagerung. Hierzu dienten entweder an die Blöcke angeheftete marine und litorale Organismen, die durch die Verlagerung abgestorben sein mussten (Seeigel, Bohrmuscheln, Kalkalgen, Vermetiden, Ko-

rallen), oder ähnliche organische Reste, deren Verknüpfung mit der Blockverlagerung eindeutig war. Dabei handelt es sich zumeist um größere Korallenstöcke in enger Gemengelage mit Blöcken aus älterem Rifffkalk.

Nachdem auf Aruba, Curaçao und Bonaire festgestellt werden konnte, dass mehrere starke holozäne Tsunami aus östlicher Richtung eingelaufen waren wurde zunächst vermutet, dass der Antillenbogen mit seiner Plattengrenze und dem Ring aus explosiven Vulkanen als Herkunftsgebiet infrage käme. Daher wurden die Untersuchungen auf diesen Inselbogen ausgedehnt, und zwar auf Barbados, Grenada und St. Lucia im Südabschnitt, Guadeloupe im Zentrum und St. Martin/St. Maarten sowie Anguilla im Norden. Auf der dem Inselbogen im SE vorgelagerten Insel Barbados, die aufgrund ihrer mustergültig entwickelten Treppe herausgehobener pleistozäner Korallenriffe vielfach genauestens kartiert wurde, konnten im Südosten langgestreckte, gebogene und parallel verlaufende Blockwälle auf einer flachen Riffterrasse in 15-20 m ü.M. aufgenommen werden, die neben einem Großblock von 170 t und aufgrund ihrer sehr guten *imbrication*, steiler Achsenstellung und labiler Lagerung sowie der Blockgrößen von vielfach über 5 t nur auf Tsunamiwellen zurück gehen können. Diese sind nahezu direkt aus E eingelaufen und haben große Blöcke bis mind. 200 m landein und bis zu mehr als 20 m gegen die Schwerkraft verfrachtet, obwohl ein viele hundert Meter breites sehr flaches Saumriff diesen Küstenabschnitt schützt. Absolute Datierungen der beiden Blockwälle ergaben für die letzte Bewegung C-14-Alter von 4500 und 1400 BP. An der zentralen Ostküste von Guadeloupe, einem aus Karbonaten aufgebauten Inselteil, fanden sich in der Bucht von St. Marguerite ebenfalls Großblöcke (bis über 30 t und +10 m ü.M.), oft als *floating boulders* in bisher als Küstendünen kartierten Sanden. Absolute Alter ergaben sich hier zu 2400 BP, die Auflaufrichtung der Wellen wiederum aus E. Auch im Norden des Inselbogens

der Kleinen Antillen, nämlich auf St. Martin/St. Maarten und dem nördlich benachbarten Anguilla sind Blockmassen in großer Menge und typischer labiler Lagerung weit oberhalb jeder Sturmreichweite auf flachem Gelände in der Vegetation verteilt, vor allem auf Anguilla, und wiederum von Osten angeliefert. Die absoluten Datierungen ergaben hier Alter von 500 BP und 1400 BP.

Da es somit auf dem Antillenbogen (bisher) nur Feldbefunde gibt, die auf Tsunamiwirkung aus dem offenen Atlantik hinweisen wird angenommen, dass auch die ähnlichen Befunde innerhalb des Bogens auf Aruba, Curaçao und Bonaire auf solche Vorgänge zurück gehen. Wären sie durch Tsunami innerhalb des karibischen Meeres ausgelöst worden, müssten deren Wellen unzweifelhaft auch Ablagerungen an den Westseiten des Inselbogens hinterlassen haben. Unsere detaillierten Untersuchungen einschließlich Helikopterbefliegungen mit Videodokumentation aus niedriger Höhe, um auch wenig zugängliche Küstenabschnitte einzusehen, ergaben darauf aber keinerlei Hinweise. Während die Befunde für holozäne Tsunami auf Barbados, Guadeloupe und St. Martin eher lokaler Natur sind und nur auf Anguilla auch inselweit auftreten, konnten regional erheblich ausgedehntere Tsunamisedimente noch weiter im Norden, nämlich entlang der dem Atlantik zugewandten Küsten der Bahama-Inseln Eleuthera und Long Island erfasst werden. Das entspricht dort allein einer Küstenlänge von ca. 400 km. Es handelt sich um sandige Ablagerungen mit darin schwimmenden Blöcken bis über 300 t (Abb. 3) und bis nahezu +20 m ü.M. (wiederum bisher als Küstendünen kartiert), und in einem Falle sogar um den Transport von 6t-Blöcken quer durch Long Island über einen 8 m hohen Rücken bis an die Westküste, das ist eine Strecke von 1,5 km. Absolute Datierungen mit Radiokohlenstoff für den Zeitpunkt der letzten Materialbewegung (bzw. das Absterben mit transportierter Korallen) wurden durchgeführt mit dem Ergebnis, dass mit mind. 2 starken Tsunami um 500 BP und 3000 BP zu rechnen ist.

Somit ergibt sich für das Mittelamerikanische Meer das Bild von mehreren (500 BP, 1400/1500 BP, 2400 BP, 3000 BP, 3500 BP, 4500 BP) sehr starken Tsunami, deren Wellen noch in 10-20 m ü.M in der Lage waren, Blöcke von einigen 100 t auszureißen und landwärts-aufwärts zu bewegen. Alle kamen vom offenen Atlantik, doch ist es bisher nicht möglich gewesen, eine genauere Ursache oder Quelle der Tsunami zu ermitteln, zumal die Bewegungslinien nahezu parallel nach Osten weisen, also in eine große Entfernung.



Abb. 3 Großblöcke, allmählich aus Sandlagen ausgewaschen, aus dem Norden der Bahama-Insel Eleuthera.

Denkbar sind daher als Ursachen Ereignisse an den Kanarischen Inseln einschließlich submariner Rutschungen, oder solche Rutschungen am äußeren Schelfrand von Nordwest-Afrika. Auch die Gorringe Bank im Südwesten von Portugal, die Zentrum des großen Lissabon-Tsunami von 1755 war, kann nicht ausgeschlossen werden.

Die EU hatte bereits 1990 bis 1996 ein Forschungsprogramm zu Tsunami in Europa gefördert (an dem die Universität Essen nicht beteiligt war). Die Ergebnisse waren allerdings außerordentlich bescheiden: weitere Veröffentlichungen zu bereits bekannten Vorkommen wie Storegga-Slide und Feinmaterial-Ablagerungen des Lissabon-Tsunami von 1755 im Süden Portugals, vergebliche Feldnachweise verschiedener historischer Tsunami im östlichen Mittelmeergebiet sowie neue Kriterien für einen einheitlichen historischen Tsunami-Katalog in Europa waren die Haupt-Aktivitäten. Nur die italienischen Kollegen Mastronuzzi und Sanso fanden mit Blöcken mittelalterlicher Tsunami in Apulien wirklich neue Feldbelege. Spätere Arbeiten auf Zypern und Mallorca, später im Süden Spaniens an der Costa de la Luz, im Westen Portugals, auf Kreta, im Süden der Türkei oder im Westen Griechenlands fortgesetzt, haben erst anschließend erheblich zur Erweiterung unserer Kenntnisse über Paläo-Tsunami im Süden Europas beigetragen. Sie gingen allerdings streng induktiv von Geländebefunden aus und orientierten sich nicht in erster Linie an bekannten und bereits belegten Vorgängen oder angeblich aus historischen Tsunami-Katalogen gesicherten, womit sich unsere Arbeitstechnik für diese Fragestellung – wie auch in der Karibik – einmal mehr als die vielversprechend erwiesen hat.

Für den Westen Portugals konnten in der Nähe von Lissabon neben Blockablagerungen und immer noch nicht vernarbten Wunden in der Vegetation aus dem Ereignis von 1755 zwei weitere auf ca. 2400 BP und um 6000 BP erfasst werden. An der atlantischen Südküste von Andalusien liefert das Kap Trafalgar mit Blocklagen bis zu 100 t und bimodalen Ablagerungen bis zur maximalen Kaphöhe bei +19 m ü.M. sichere Belege, dass auch hier der Lissabon-Tsunami mit den in alten Quellen erwähnten Höhen (3 Stockwerke in Tarifa, mindestens 15 m in Cadiz etc.) gewirkt hat.

Auf Mallorca, wo die Feldarbeiten zunächst der Leistungsfähigkeit des 500-Jahre-Sturmes vom Dezember 2001 galten, wurden Tsunamisedimente im Südosten und Nordosten, d.h. auf einer Entfernung von mind. 60 km festgestellt und auf 460 BP und 1400 BP datiert. Die auf Zypern ermittelte Alter von 250-300 BP konnten auch für die türkische Südküste östlich Alanya wahrscheinlich gemacht werden, wo aber noch ein älterer Tsunami seine Spuren hinterlassen hat, während erstmalig auch im Westen Kretas vielfältige Tsunamispuuren aus historischer Zeit (gleichzeitig mit der starken Heraushebung im Jahre 365 n.Chr. und erheblich später) sowie zu Beginn des holozänen Meeresspiegelhochstandes mit 5660 \pm 60 BP ermittelt wurden. Schließlich gelang einer Marburger Arbeitsgruppe der Erstdnachweis eines starken Tsunami mit über 15 m *run up* für den Westen Griechenlands gegenüber der Insel Lefkada. Diese rasch angefallenen neuen Ergebnisse lassen erwarten, dass im Mittelmeergebiet noch erheblich mehr Tsunamispuuren der Entdeckung und Kartierung harren. Erst nach vielen weiteren Jahren intensiver Feldforschung und Datierung werden wir hier ein wirkliches Bild des heutigen Tsunami-Risikos und der Tsunami-Geschichte bis weit über die Antike zurück gewinnen können. Dazu soll ein großes interdisziplinäres DFG-Projekt dienen, in dem wir –neben Historikern, Archäologen, Geophysikern u.a. – für die Paläo-Tsunami-Forschung zuständig sein sollen, während die anderen Gruppen sich eher der Modellierung von Extrem-Szenarien und der Kalkulation von Schadenssummen entlang der mit Millionenstädten besetzten Küsten Ägyptens und Israels zuwenden werden.

Von australischen Geologen wissen wir, dass es selbst in dem als tektonisch ruhig geltenden Australien eine ganze Reihe deutlicher Tsunamispuuren gibt, teilweise mit außerordentlichen Transportleistungen (z.B. Blöcke von über 50 t in mehr als 30 m ü.M. südlich Sydney). Aufgrund eigener früherer Arbeiten in West-

Australien und der Verfügbarkeit von Luftbildern guter Qualität für den gesamten Küstenraum, auf denen als Küstendünen kartierte schwallartige sandige Ablagerungen zu erkennen sind, deren Form mit keinem Dünentyp an anderen Küsten der Erde übereinstimmt und die vor allem auch oberhalb von Kliffen und bis zu vielen km landein auftreten wurde vermutet, dass es sich hier um andere als äolische Prozesse der Ablagerung handeln könnte, für die nur Tsunami infrage kämen. Aufgrund der oft lanzettförmigen, gekrümmten oder hin und her schwingenden Kammlinien werden die Formen als „*chevrons*“ bezeichnet. Sie erreichen Höhenlage bis mindestens 150 m ü.M. und enthalten *clasts* in verschiedenen Größen. Ob sie auf Tsunamireignisse innerhalb der letzten 1000 Jahre zurückgehen, muss durch unsere im Sommer 2006 geplanten Feldarbeiten entlang der australischen Westküste noch näher beleuchtet werden. Jedenfalls stimmt die Längsachsen der *chevrons* weder mit den gegenwärtigen Windsystemen noch früheren, durch inaktive Dünenmuster belegten überein. Auffällige Refraktionsmuster in Buchten vor allem um das Südwestkap von Australien sowie die Richtungsänderung (streng aus Westen im zentralen Abschnitt und eher aus SSW im Norden) deuten auf Tsunami hin, deren Ausgang auf keinen Fall am anderen Ufer des Indischen Ozeans liegt und auch nicht von Rutschungen des Piton de la Fournaise auf Réunion ausgehen kann, sondern näher und etwa um 1000 km westlich von Perth angenommen werden muss. Für diese Region hat uns Dallas Abbot vom Lamont Doherty Observatory der Columbia University in New York auf zwei Einschlagkrater im zentralen Indischen Ozean als mögliche Auslöser hingewiesen, Beweise und Datierungen stehen noch aus.

Da wir durch vielfältige Untersuchungen recht umfangreiche Vorstellungen und Beweise für Paläo-Tsunami-Ablagerungen in verschiedenen Erdregionen gewinnen konnten lag es nahe, nach dem Mega-Tsunami vom Dezember 2004 im Indischen Ozean vor Ort

zu prüfen, ob in den Paläo-Tsunami-Sedimenten alle Charakteristika erhalten sind oder ob einige im *geological record* verloren gehen (können). Felduntersuchungen (und Tauchbeobachtungen) entlang der Küste von West-Thailand und auf einigen zugehörigen Inseln in zeitlicher Nähe zu diesem Ereignis (im Februar 2005 und vor dem nächsten Monsunregen) erbrachten eine Reihe von überraschenden Ergebnissen: Obwohl der Sumatra-Andaman-Tsunami vom 26. Dezember 2004 die größte Tsunami-Katastrophe der Menschheitsgeschichte mit mindestens 225.000 Opfern und über 2 Mio Obdachlosen sowie Milliarden Schäden an der Infrastruktur in insgesamt 11 Ländern war (Abb. 4), sind seine Spuren in der Natur vergleichsweise bescheiden. An Korallenriffen wurden punktuell starke Schäden beobachtet, die größte Wirkung ging jedoch von erstickendem Feinmaterial aus, welches durch den *backwash* vom Lande als Suspension im Meer verteilt wurde, doch haben sich viele Riffkolonien davon wieder befreien können und leben weiter. Die Küstenlinien wurden nur dort verändert, wo Lockermaterial in niedrigen Kliffen anstand und maximal wenige Meter zurückgeschnitten. Stellenweise wurde mittelgroßer Korallenschutt im Intertidal flächenhaft ausgebreitet, aber kaum oberhalb des Meeresspiegels abgelagert. Der Sedimentauftrag im Supratidal reichte oft bis zur maximalen *inundation* und damit viele 100 m landein (in Khao Lak sogar bis zu 2 km), doch betrug die Schichtdicke aus feinen Sanden und Schluffen des Foreshore-Bereiches nur 1-20 cm, lediglich an 2 Stellen in West-Thailand wurde auch mehr als 1 m festgestellt, und zwar an der Leeseite von steileren Strandwällen. Die höhere Vegetation blieb meist erhalten auch bei Tsunamihöhen bis 12 m und sogar niedere Vegetation einschließlich Grasbedeckung und Böden wurden verschont. Lediglich auf einigen Inseln der Andamanen und Nikobaren sowie in der Provinz Aceh wurden breitere Mangrovesäume völlig zerstört. Auf den dem Zentrum am nächsten gelegenen Inseln Nias und Simeulue (W Sumatra) jedoch,

wo der Tsunami bis 35 m Höhe erreichte, blieben die breiten artenreichen Saumriffe praktisch unzerstört und ohne Blockverlagerungen, wie ihre Heraushebung beim Nachbeben der Stärke 8,7 am 28. März 2005 belegt. In Thailand wurden nur an ganz wenigen Stellen echte Block-Dislokationen beobachtet, meist jedoch beschränkt auf die Höhe des Gezeitenbereiches, auch wenn der Tsunami 12 m hoch war. Es handelt sich um *Porites*-Korallenstöcke von mehr als 2 m Durchmesser und 10-40 t Gewicht im Süden von Phuket und auf Phi Phi Don. Ähnliche Befunde extrem geringer Blockbewegung und nur geringmächtiger Sandschichten, die bald den folgenden Monsunregen zum Opfer fallen und durch Vegetation unkenntlich gemacht werden (und zudem mit ihrer guten Schichtung nicht von Sturmlagen zu unterscheiden sind) wurden auch von anderen Teams aus Arbeitsgebieten von Sri Lanka über die Malediven bis Somalia berichtet. Eine Erklärung für diese geringen Spuren in der Natur, von denen kaum eine im *geological record* verbleiben wird ist neben dem breiten und flachen Schelf vor Thailand auch die mit 1300 m relativ geringe Wassertiefe über dem Bebenherd sowie die langsame Auslösung der Erschütterung, die über den ganzen Verlauf der Störung von etwa 1200 km um 500 Sekunden dauerte. Daher fehlen auch auf Sri Lanka und den Malediven, die über keine schützenden Schelfe verfügen Sedimentmenge, die später von einem Tsunami dieser Größenordnung Zeugnis ablegen würden. Somit ist unbedingt darauf hinzuweisen, dass der Sumatra-Andaman-Tsunami des Jahres 2004 keinesfalls als Modell für frühere oder zukünftige Tsunami benutzt werden kann, weil sein ganzer Ablauf eine ausgesprochen ungewöhnliche Konstellation aufwies.



Abb. 4: Schäden an Gebäuden erlauben gute Rückschlüsse auf die Höhe der Tsunamiwelle (Beispiel von Khao Lak im Norden Thailands, hier mit 12 m ü.M.).

Autor:

Prof. Dr. Dieter Kelletat
Universität Duisburg-Essen
Institut für Geographie
45117 Essen