



## **Die Küsten der Erde: Vielfalt, Geoarchive und Risikoräume. – Ein Beitrag zur 25. Jahrestagung des Arbeitskreises „Geographie der Meere und Küsten“**

Dieter Kelletat

Institut für Geographie, Universität Duisburg-Essen

### **Abstract**

Aus Anlass der 25. Jahrestagung des Arbeitskreises „Geographie der Meere und Küsten“ innerhalb der deutschen Geographie sei ein weiter thematischer Überblick über eines der faszinierendsten Forschungsfelder der Erde gestattet, nämlich die Küsten, wobei die Blickrichtung des Verfassers natürlich eher die physischen Aspekte berücksichtigen wird.

Erst mit der synoptischen Sicht der Erde in hochauflösenden Maßstäben, wie sie uns die Satellitentechnik ermöglicht, können wir die ganze Vielfalt der Küsten erfassen und lernen dabei, dass alle bisherigen Klassifizierungen Lücken aufweisen und wir für manche Phänomene noch gar keine abgestimmten Begriffe gebildet haben. Das gilt für die extrem vielfältigen Erscheinungen der Ingressionsküsten ebenso wie für biogen gestaltete Küstenformen oder geomorphologische Ergebnisse extremer Gestaltungsprozesse, wie sie uns beispielsweise in Tsunamis begegnen. Ein kurzer Überblick dazu mag genügen.

Spannender wird es, wenn wir die Küsten als Geoarchive nutzen: sie liefern uns Auskünfte über frühere Meeresspiegelstände und damit auch wichtige Klima-Informationen, und das in feiner Auflösung, wenn man die richtigen vernetzten Techniken anwendet. Vor allem die Geo-Archäologie hat auf diesem Gebiet hervorragendes geleistet und nicht nur ehemalige Küstenlinien auf Karten fixiert, sondern uns Rekonstruktionen ganzer Landschaften für historische und prähistorische Zeitschnitte geliefert, die unser Verständnis von Umweltveränderungen im jüngeren Holozän erheblich erweitert haben.

Erst relativ neu ins Blickfeld gerückt sind Extremereignisse an den Küsten der Erde, jedenfalls ihre ganze Breite und die damit verbundenen Risiken für die Küsten-Infrastruktur und die dort ansässige Bevölkerung bzw. Besucher dieser Räume. Über Sturmfluten der Mittelbreiten wussten wir viel, über Wirbelstürme der Tropen ebenfalls etliche Details. Beides sind Erscheinungen, bei denen wenigstens ein gewisser Schutz und Vorwarnungen möglich und auch entwickelt sind. Das ist anders bei Tsunamis, deren nahezu weltweites Auftreten in Zeiten eines hohen Meeresspiegelstandes erst in den letzten Jahren als Extrem-Risiko erkannt wurde. Bedauerlicherweise sind die Pläne für Warn- und Schutzmaßnahmen trotz der Mega-Katastrophe im Indischen Ozean im Jahre 2004 bisher kaum vorangekommen. Auch Aspekte dieser „*extreme events*“ im Küstenraum und vor allem neue Einsichten und Methoden zu ihrer Erforschung werden behandelt.

### **1 Einführung**

Dieser Beitrag gibt einen (sehr persönlich gefärbten) Rückblick auf nunmehr fast 25 Jahre Forschung im Arbeitskreis „Geographie der Meere und Küsten“. Ausgehend von kleinen und nicht vernetzten Standorten mit geowissenschaftlicher Grundlagenforschung oder eher anwendungsorientierten Arbeiten an den universitären Küstenstandorten und außeruniversitären Instituten und Dienststellen ist es im Laufe der Jahre gelungen, im Arbeitskreis einen zentralen Knotenpunkt für Gedankenaustausch, Diskussionen, Vorstellung neuer Arbeitsrichtungen, Methoden und Forschungsergebnisse zu schaffen und manche „Einzelkämpfer“ zu gemeinsamen Anträgen und Projekten zusammenzuführen. Dabei haben sich auch „Schulen“ entwickelt, meist getragen von älteren Kolleginnen und Kollegen, und ein deutlicher Trend zu vertiefter Beschäftigung vor allem mit Küstenthemen ist in unserem

wissenschaftlichen Nachwuchs festzustellen. Die Meere und Ozeane mit ihrer Unzahl offener Fragen wurden allerdings weiterhin nur ausnahmsweise in die Forschung mit einbezogen. Dieses blieb zumeist das Privileg großer Forschungsorganisationen (z.B. AWI oder GEOMAR), die über Forschungsschiffe verfügen und sehr komplexe Fragestellungen über viele Jahre mit einem abgesicherten größeren Team und auf besserer finanzieller Basis angehen können als die Universitätsinstitute. Bei diesen muss jeder Forschungsansatz, der Arbeiten außerhalb des Büros erfordert oder auf andere Weise ein gewisses Maß an Kosten verursacht, über den mühsamen und immer steiniger werdenden Weg von Einzelanträgen (z.B. bei der DFG) versucht werden. Man stelle sich vor, welchen Fortschritt wir hätten erreichen können, wenn die dafür erforderliche und nicht selten vergeblich aufgewendete Zeit unmittelbar der Forschung zugute gekommen wäre!

Aber auch vor diesem Hintergrund erschwelter Arbeitsbedingungen ist erfreulicherweise eine sehr deutliche Zunahme der Beschäftigung mit Küstenforschung zu verzeichnen. Diese ist zudem außerordentlich thematisch und methodisch differenziert, zunehmend international und interdisziplinär vernetzt und trägt nicht selten bei zur Entschleierung und Beantwortung übergeordneter Fragen wie Klimaschwankungen und *Global Change* oder nachhaltige Entwicklung und Gefahrenabwehr im Küstenraum. Hierbei hat sich die Wirtschafts- und Sozialgeographie gegenüber der früheren Dominanz der Physiogeographie eindeutig weiterentwickelt, und es ist zunehmend eine bessere Verklammerung beider Blickrichtungen zu beobachten. Ein weiteres Positivum ist die ständige Verjüngung der Arbeitskreismitglieder und Referenten unserer Jahrestagungen und ihre stetig wachsende Zahl. Dieses ist auch ein Zeugnis für die Vorbildfunktion der Arbeitskreissprecher und ihre dichte Informationsverbreitung sowie die mit großem Einsatz vorbereiteten und durchgeführten Tagungen und die prompte Drucklegung der dabei präsentierten Arbeiten. Dass gerade auf letzterem Gebiet ein über ganz Deutschland verbreitetes Engagement zu beobachten ist, ist an immerhin 20 Standorten in 25 Jahren (Abb. 1 und Tab. 1) zu erkennen und unterscheidet unseren Arbeitskreis ganz wesentlich von anderen innerhalb der deutschen Geographie.

Tab. 1: Tagungsorte und Organisatoren der Arbeitskreistagungen seit 1983

Jahr	Ort	Organisatoren
1983	Essen	Kelletat
1984	Mainz	Uthoff
1985	Kiel	Klug
1986	Sylt	Besch
1987	Berlin	Voss
1988	Hamburg	Schipull & Thannheiser
1989	Wilhelmshaven	Kelletat
1990	Düsseldorf	Brückner & Radtke
1991	München	Wieneke & Rust
1992	Hannover	Buchholz & Scharmann
1993	Greifswald	Lampe
1994	Büsum	Klug & Klug
1995	Köln	Radtke
1996	Oldenburg	Sterr & Preu
1997	Vechta	Preu
1998	Marburg	Brückner

1999	Bremen	Venzke
2000	Vechta	Preu
2001	Bamberg	Schellmann
2002	Kiel	Daschkeit & Sterr
2003	Essen	Kelletat
2004	Warnemünde	Schernewski & Dolch
2005	Koblenz	Beck
2006	Wilhelmshaven	Behre
2007	Hamburg	Gönnert & Pflüger

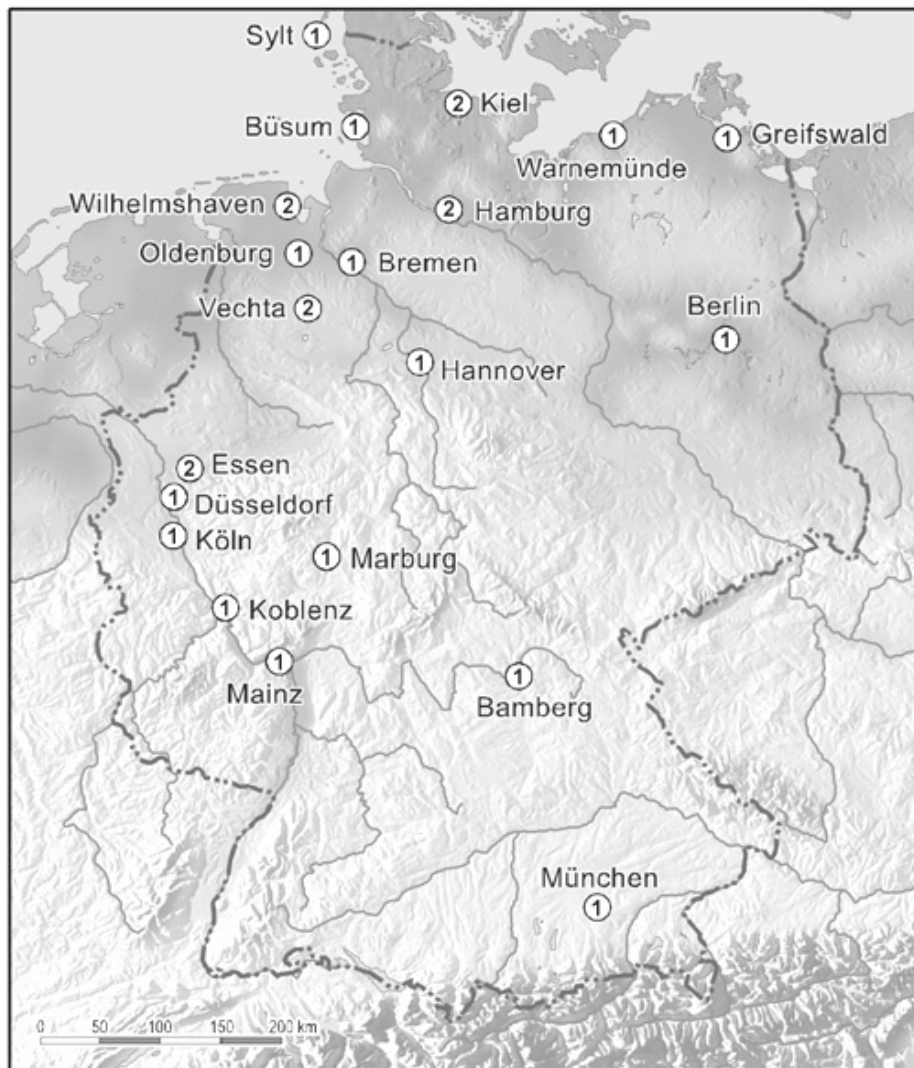


Abb. 1: Tagungsorte des Arbeitskreises „Geographie der Meere und Küsten“ seit seiner Gründung im Jahre 1983 in Essen.

Die folgende Zusammenstellung gibt einen kleinen Überblick über drei Kernthemen der physisch-geographischen Küstenforschung, nämlich ihre geomorphologische Vielfalt, die Nutzung der Küstenräume als Geoarchive, und die Bewertung von Risiken im Küstenraum. Dabei wird auf eine Literaturdiskussion verzichtet, weil sie in diesem weitgespannten Rahmen nicht adäquat und fair vorgenommen werden kann.

## 2 Geomorphologische Vielfalt der Küsten

Die Ingressionsformen galten als die vielgestaltigsten Erscheinungen im Küstenraum, weil sie alle Relief-Eigenheiten der Erde im Zustand partieller Ertränkung aufweisen können. Sie wurde weltweit durch den postglazialen Meeresspiegelanstieg hervorgerufen, doch reicht dieser mit etwa 120 m nicht aus, um alle anzutreffenden Formtypen zu erklären. Krustenabsenkungen mit größeren Ertränkungsraten ergeben noch viel klarere Bilder von bisher unbenannten Küstenformen. Das gilt für Strukturformen der Erdoberfläche ebenso wie für stark zerschnittene fluviale Reliefs oder verschiedenen Karsterscheinungen (Abb. 2 und 3). Aber auch partiell ertrunkene Rumpfflächen mit Schildinselbergen (Abb. 4) oder Fußflächen kommen vor sowie alle glazialen Formengesellschaften. Unter den Zerstörungsformen sind diejenigen der Salzverwitterung immer noch nicht hinreichend erfasst und vor allem die biogenen in ihrer extremen Differenzierung ebenfalls weitgehend vernachlässigt (Abb. 5 und 6).

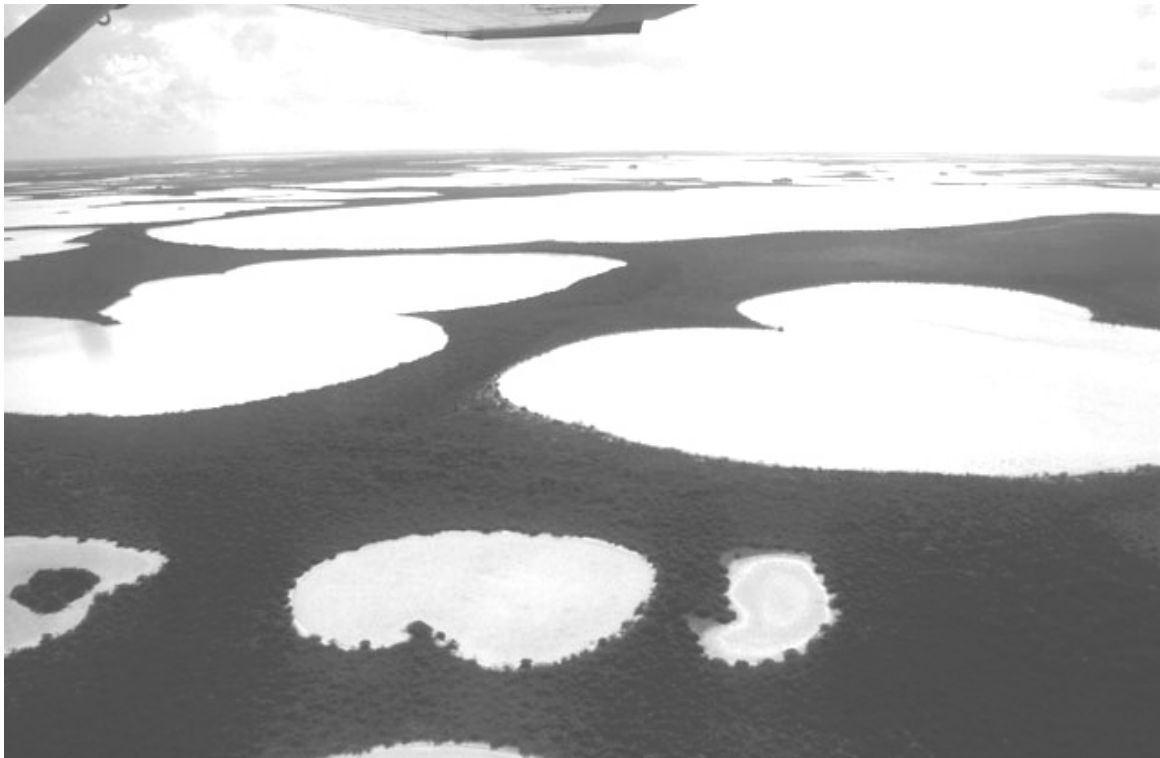


Abb. 2: Flache, knapp überflutete Dolinen bilden den größten Teil der Bahama-Insel Andros.



Abb. 3: Die sog. „Rock Islands“ des Palau-Archipels (Mikronesien) zeigen einen Übergang zwischen Cockpitkarst und Kegelkarst in verschiedenen Phasen der Ertränkung.

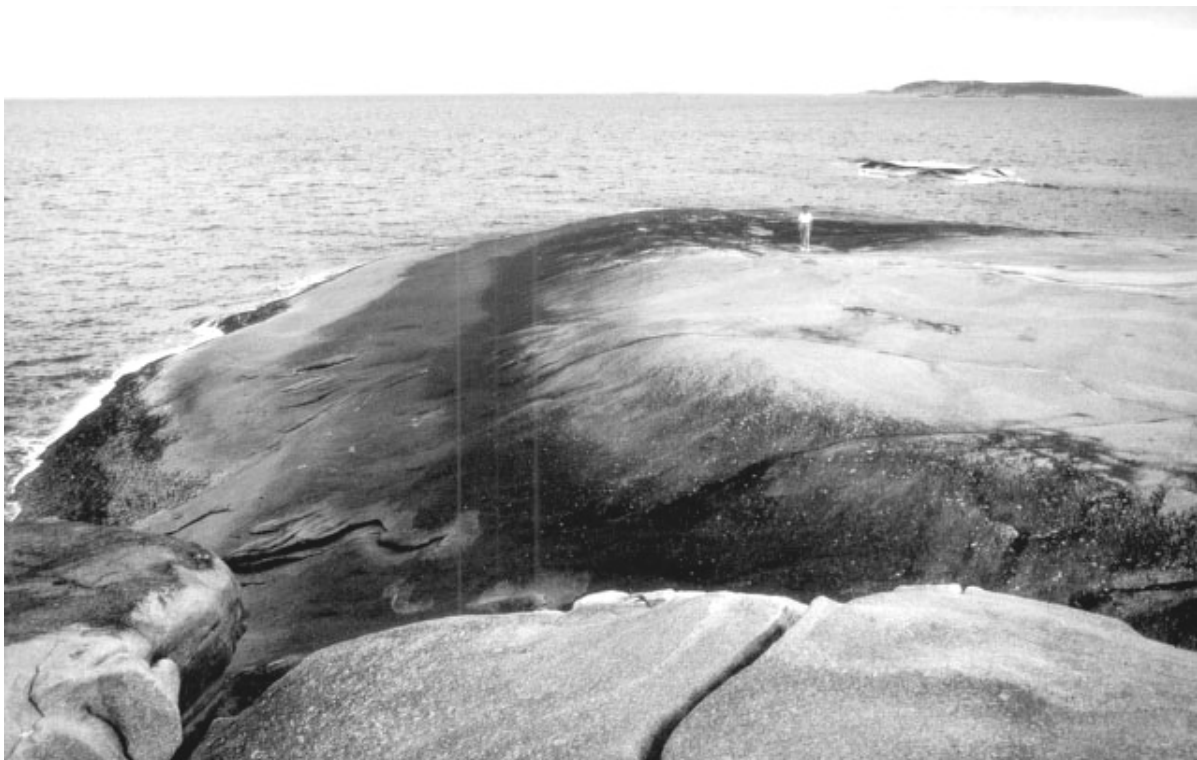


Abb. 4: An der Südküste von Westaustralien treten vor allem in der Region Esperance eintauchende Flanken von Schildinselbergen in größerer Zahl auf.



Abb. 5: Bei genauerem Hinsehen erkennt man auf dem durch endolithische Cyanophyceen dunkel gefärbten Kalkstein der Brandungszone die hellen Fressspuren von Napfschnecken und Käferschnecken (Nusa Dua-Region, Bali, jungpleistozäner Korallenkalk).



Abb. 6: Diese scharf eingeschnittene horizontale Hohlkehle biogenen Ursprungs im gehobenem Korallenkalk der Insel Curacao (Karibik) ist trotz eines Alters von etwa 125.000 Jahren (letztes Interglazial, Isotopenstufe 5e) praktisch unverändert erhalten und liefert damit eine exakte Meeresspiegelmarke.

### 3 Küstenräume als Geoarchive

Besonders eindrucksvolle Bilder von der Entwicklung der Küsten liefern meist gut sichtbare Spuren früherer Meeresspiegelstände aus dem mittleren Holozän oder dem Pleistozän, vor allem, wenn eine Heraushebung diese Formen vor späterer Zerstörung oder Veränderung durch nachfolgende litorale Prozesse bewahrt hat. Dabei kann es sich um Aufbauformen wie Terrassentreppen mit Korallenriffen ebenso handeln wie um Destruktionsformen der Hohlkehlen (Abb. 6 und 7). Auch reine Akkumulationsformen in der Art von Strandwallkomplexen liefern ebenso klar erkennbare Zeugnisse. Sie gehen meist auf Phasen stärkerer Wellenereignisse zurück, in denen feines Lockermaterial deutlich über die normale Brandungsreichweite hinaus geworfen wurde. Hierbei kann man kontinuierliche Abläufe in streng paralleler Anordnung von Strandwällen von diskontinuierlichen bei einem Wechsel der Strandwallrichtung unterscheiden (Abb. 8), meist verbunden mit einer „horizontalen Abtragungsdiskordanz“ als Nahtstelle zwischen zwei unterschiedlich ausgerichteten Wallkomplexen. Leider ist erst wenig darüber bekannt, unter welchen Voraussetzungen diese Akkumulationskörper entstehen und welche Aussagemöglichkeiten sie für frühere dynamische Zustände bieten. So hält sich hartnäckig die Auffassung, dass die Krone von Strandwällen die maximale vertikale Reichweite kräftiger Sturmwellen anzeigt, doch belegen direkte Beobachtungen im Verlaufe von Wirbelstürmen, dass Wälle aus Grobmaterial in Wirklichkeit in der Wellenbasis abgelagert werden, wo die „orbital velocity“ noch hoch genug für Grobmaterialbewegung ist, während gleichzeitig der Sturmwasserstand (mit aufgesetzten Wellen!) etliche Meter über der Wallkrone stehen kann (Abb. 9). In arktischen und antarktischen Regionen, aus denen wir besonders gut entwickelte Strandwallfolgen mit hunderten von einzelnen glazialisostatisch herausgehobenen Küstenkonturen kennen gilt natürlich auch, dass sie das Ergebnis von stärkeren Wellenereignissen sind. Da diese Räume aber gleichzeitig Meereisbildung aufweisen mit Unterdrückung von Wellenbildung, und etliche der Strandwallsysteme bis in das (kältere) Spätglazial zurückreichen lässt sich damit auch erkennen, wann bereits die umliegenden Meere eisfrei wurden – wenigstens eine gewisse Zeit im Jahr – bzw. in welchen Phasen sie wieder vollständige Eisbedeckung aufwiesen. Dann gibt es Lücken in den Strandwallfolgen in einem vertikalen Streifen gewisser Breite, solange sich die glazialisostatische Hebung fortsetzt. Wendet man diese Beobachtungen z.B. auf Grenzbereiche von Meeresströmungen an wie die nördliche Reichweite der warmen Gewässer des Golfstromes, so findet sich hier ein Ansatz zur Interpretation der Zirkulationsbedingungen gerade für die spannenden Übergangszeiten zwischen eindeutig kalten (glazialen) und eindeutig warmen Klimaphasen (Interglazialen). Generell lässt sich sagen, dass die Möglichkeiten, sich über die Analyse und Datierung von Strandwallsystemen Informationen zur Paläo-Tempestologie zu verschaffen, noch lange nicht genutzt sind. Wir arbeiten gerade verstärkt daran, diese weiter und genauer für tropische und außertropische Regionen zu entschlüsseln.



Abb. 7: In der Phang Nga Bucht östlich von Phuket (Thailand) sind die aus dem Meer aufragenden Wände des Turmkarstes nahezu überall dekoriert mit bioerosiven Hohlkehlen. Auf dem Bild erkennt man eine untere, die dem heutigen Gezeitenbereich entspricht, sowie 2 höhere, wobei die obere der Isotopenstufe 5e und die mittlere der Stufe 5a entsprechen dürfte. Auskleidungen mit Tropfsteinen (speleothems) ermöglichen eine kontinuierliche Analyse der Umweltbedingungen seit Auftauchen dieser Hohlkehlen.



Abb. 8: Die wechselnde Richtung von Strandwallkomplexen (hier aus dem jüngeren Holozän auf der Abrolhos-Insel Pelsaert, West-Australien) deutet auf Zeitlücken im Aufbau bzw. zwischengeschaltete Abtragungsphasen hin.



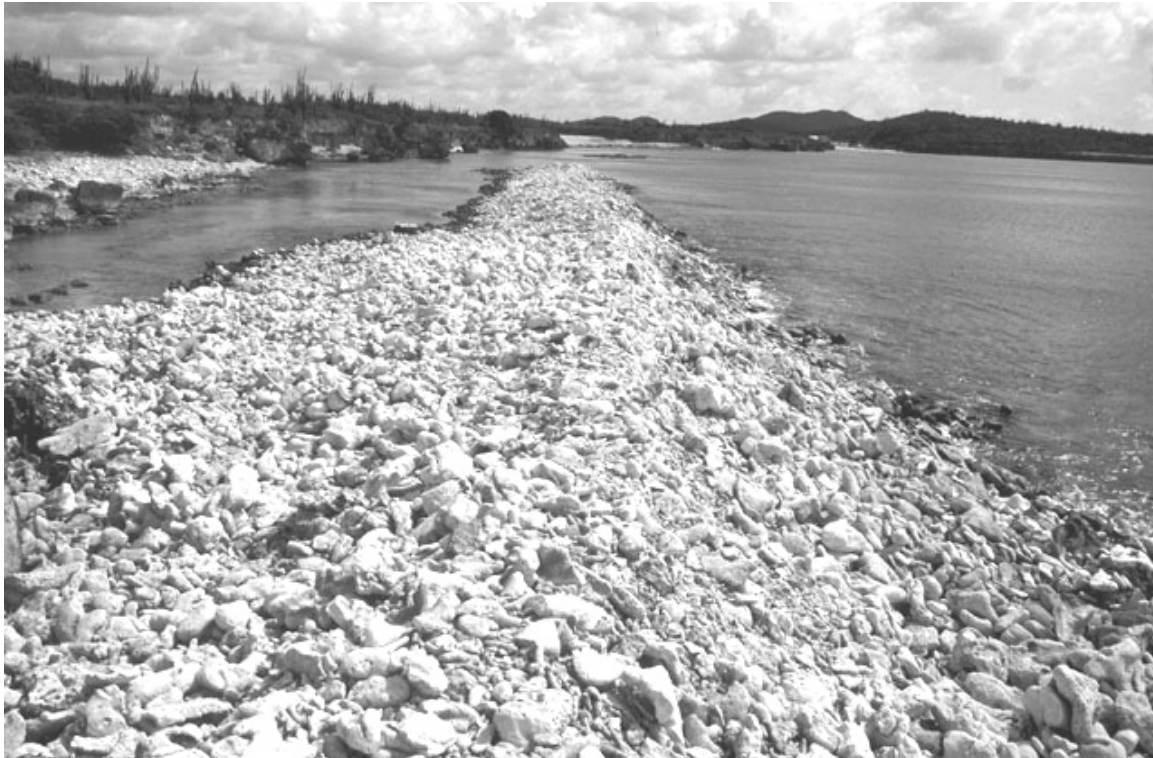


Abb. 9: Dieser neue „spit“ als frei ins Meer verlaufender Strandwall entstand im Verlaufe des Hurrikans Lenny (1999) an der Insel Bonaire (südliche Karibik), als die Wellen an dieser Stelle mindestens 4 m über die Strandwallkrone reichten.

Eine andere und vielfach genutzte Technik, die Küsten als Geoarchive zu nutzen, ist nicht die Geomorphologie selbst, sondern die Sedimentologie bzw. die Stratigraphie, die man gewöhnlich mit aufwendigen Bohrungen gewinnt. Bei entsprechenden Feinanalysen der Chemie und Mikrobiologie dieser Sedimente lassen sich nicht nur Meeresspiegelschwankungen recht präzise ermitteln, sondern auch das weitere Umfeld der Küstenräume bis zu Geschehnissen im Hinterland rekonstruieren. Vor allem, wenn archäologische Zeugnisse mit berücksichtigt werden wie in dem mittlerweile gut entwickelten Wissenschaftszweig der Geo-Archäologie ergeben sich Landschaftsrekonstruktionen von erstaunlicher Präzision und Aussagekraft, die unser Bild historischer und prä-historischer Gegebenheiten nachdrücklich verändert und verfeinert haben. Hier sind die Ansätze in unseren Breiten und für die Mittelmeerregion bereits gut entwickelt, aber weltweit liegt dabei noch sehr viel Arbeit vor uns.

Ein weiteres Archiv, welches erst nach und nach erschlossen wird, sind die in Korallen und anderen langlebigen Aufbauformen gespeicherten Umweltinformationen, so u.a. in Tropfsteingebilden, den sogenannten Speleothems. Hier sind nicht nur Altersbestimmungen aufs Jahr genau möglich, sondern sogar saisonale Auflösungen mit Auskünften etwa zum Niederschlagsablauf, der Oberflächentemperatur des Wassers, der Wassertrübung durch Stürme oder Tsunamis u.a.m. Allerdings sind dazu Ausstattungen und Mittel nötig, die meist weit über die Möglichkeiten der Geographie hinausgehen, aber das regt bekanntlich zu interdisziplinärer Zusammenarbeit besonders an.

#### 4 Risikoraum Küste

Küsten als Grenzräume unterliegen vielfältigen Risiken, vor allem für die dort ansässigen Menschen und ihre oft empfindliche und teure Infrastruktur. Ich will mich hier aber beschränken auf kurze Betrachtungen zu physikalischen Faktoren bei extremen Wirbelstürmen und Tsunamis.

Lehrbücher der Küstenmorphologie vermitteln uns den Eindruck, als entwickelten sich die Küstenformen allmählich unter dem Einfluss von Meeresspiegelschwankungen mit Abtragung oder Ablagerung, ggf. unter Mitwirkung von Organismen wie Mangroven oder Korallen. Es wurde jedoch niemals ernsthaft geprüft, ob nicht die meisten Küstenformen im Wesentlichen durch Extremereignisse zustande kommen oder doch ihr gegenwärtiges Aussehen erhielten. Das ist sicher richtig für die groben Konturen etwa der Nordfriesischen Inseln und Halligen oder der Jadebucht, die auf singuläre Sturmflutereignisse vor etlichen hundert Jahren zurückgehen, deren Spuren immer noch nicht verwischt sind.

Eigentlich müssten an den Küsten der Erde Ereignisse mit großer Energieentfaltung einen viel größeren Anteil haben als am terrestrischen Relief, denn es standen für ihr heutiges Bild nur etwa 6000 Jahre seit dem Meeresspiegelhochstand nach der letzten Vereisung zur Verfügung, und gerade im Küstenraum gibt es eher „extreme events“ als auf dem Lande abseits von Vulkangebieten oder Steilrelief. Wenn man aber versucht, die Wirkung einzelner Extremvorgänge mit den ständig ablaufenden Prozessen quantitativ zu vergleichen, kommt man zu sehr extremen Ergebnissen. Nehmen wir dazu ein Beispiel, wie wir es einmal für Zypern berechnet haben:

An den dortigen Karbonatküsten gibt es u.a. biogene Hohlkehlen um 1 m Tiefe. Messungen haben ergeben, dass in diesem eulitoral Streifen die dortigen Organismen ohne weiteres in der Lage sind, pro Jahr flächenhaft mindestens 1 mm abzutragen. Damit könnte eine Hohlkehle im harten Kalk bei 1 m Eindringtiefe um 1000 Jahre alt sein, kaum älter. Nun fanden wir in Zypern Spuren eines starken Tsunami, der wahrscheinlich in der ersten Hälfte des 18. Jahrhundert aufgetreten ist. Er zerstörte längere Kliffpartien mit den Hohlkehlen und verbrachte große Blöcke weit ins Land und in größere Höhen. Eine Tsunamiwelle zerstörte demnach biogene Hohlkehlen aus einem etwa 1000 Jahre andauernden kontinuierlichen Prozess, doch die Welle wirkte sicher nicht länger als 30 Sekunden in ihrem Ansturm auf die Kliffe. Setzt man 30 Sekunden in Beziehung zu 1000 Jahren, so ergibt sich ein Verhältnis von 1: 1 Mrd. und es wäre nicht unlogisch zu behaupten, dass in dieser Konstellation eine Tsunamiwelle die milliardenfache Zerstörungsenergie im Vergleich zur biogenen Küstenabtragung an Karbonatgesteinen hat.

So schlicht diese Überlegungen sind, so äußerst heftig und komplex ist die andauernde Diskussion darüber, was starke Wellen überhaupt zu leisten vermögen. Kurz gesagt, in der Küstenforschung geht ein heftiger Streit zwischen den Vertretern von Sturmhypothesen für jegliche auch noch so extreme Art von Materialbewegung oder morphologischer Veränderung, und einer anderen Gruppe, die teilweise oder sogar in den meisten Fällen Tsunamis als Formungsagenzien heranzieht um. Es gibt also – in Analogie zu den Plutonisten und Neptunisten zu Zeiten Goethes – heutzutage die „Tempestologen“ und die „Tsunamiisten“.

Abschließend möchte ich zu dieser Diskussion einen kleinen Beitrag mit Beispielen aus eigener Forschungserfahrung beisteuern. Schließlich ist es nicht unwichtig, welchem Risiko Küstengebiete unterliegen: Eher häufigen und vorhersagbaren, aber in der Wirkung begrenzten Sturmereignissen, vor denen man sich mehr oder weniger gut schützen kann, oder unvermuteten und energetisch nahezu unbegrenzt starken Tsunamis, vor denen es – außer ggf. Warnungen nach der Auslösung – keinen wirklich sicheren Schutz gibt.

Die meisten Forscher, welche sich der Frage „Sturm oder Tsunami“ für Feldsignaturen der Vergangenheit im Küstenraum gewidmet haben, arbeiteten an Feinsedimenten, die zufällig in Aufschlüssen zu sehen waren oder die man mittels Bohrungen in ihrer Verbreitung verfolgte. Das liegt daran, dass z.B. Tsunamiforscher in aller Regel Geologen oder Sedimentologen sind, die sich gern auf zuverlässige stratigraphische und sonstige (physikalische und chemische sowie biologische)

Analysemethoden verlassen. Das gilt auch für die Teams, welche die ganz jungen Tsunamis untersuchten wie z.B. denjenigen vom 26.12.2004 im nördlichen Indischen Ozean. Man gewinnt dabei den Eindruck, als hinterließen Tsunamis – wenn überhaupt etwas - dann Feinsedimente, und so erschienen mittlerweile recht zahlreiche Publikationen über die Frage, wie man denn Tsunamisande von Feinsedimenten aus Hurrikanen unterscheiden könne. Etwas störend ist dabei, dass jeder Autor hier seine eigenen Auffassungen und Blickwinkel hat, mal die Unterschiede und mal die Gemeinsamkeiten betont und es deshalb sehr verschiedene Kataloge der Kennzeichen für diese beiden so unterschiedlich wirkenden Prozesse gibt. Es ist auch nicht zu erwarten, dass es hier in absehbarer Zeit eine Einigung der Auffassungen gibt, weil eben jedes Team im Gelände immer nur einen sehr kleinen Ausschnitt wirklich bearbeiten kann und dabei meist übersieht, dass die Sedimentationsverhältnisse „um die nächste Ecke herum“ ganz anders gewesen sein könnten. Hinzu kommt natürlich die Frage der Erhaltung. Hier gibt es erste Erfahrungen über eine deutliche Umwandlung der Feinsedimente in Südasien durch die heftigen Niederschläge des nächsten Monsuns 2005 mit über 3300 mm (in Thailand) sowie die Veränderung des Lagerungsgefüges durch Pflanzenwurzeln allein in der ersten Phase der Wiederbesiedlung.

Wir haben daher unser Augenmerk verstärkt auf Grobsedimente gerichtet, welche von extremen Welleneignissen hinterlassen wurden, bis zu wirklich riesigen Blöcken und ihrer Verlagerung aus dem Küstenstreifen landwärts. An ihnen lässt sich die notwendige Wellenenergie zum Transport einschließlich der Geschwindigkeit und Höhe am besten ablesen. Außerdem sind dadurch objektive Größenordnungen für die Wellenbelastung von Bauwerken u.ä. bei Tsunamis gegeben, welche endlich in die Modelle eingebaut werden müssen. Da vieles von diesen Beobachtungen bereits publiziert wurde, will ich mich hier auf wenige Beispiele in Bilddokumenten beschränken (Abb. 10-13):



Abb. 10: Dieser um 3 t schwere Block mit perfekt erhaltenen biogenen rock pools und zwischengeschalteter feinsten Felsskulpturierung wurde aus dem Supralitoral von Bonaire (südliche Karibik) herausgebrochen und mehr als 200 m landwärts und mindestens 5 m gegen die Schwerkraft transportiert. Er liegt weit außerhalb der Reichweite selbst von Hurrikan-Brandung. Abrasionsspuren fehlen, so dass ein Transport rollend oder schiebend ausgeschlossen werden kann.



Abb. 11: Dieser Riesenblock von mehr als 200 t auf Bonaire wurde aus einem Wasserschwall abgesetzt und zerbrach an Ort und Stelle durch den Aufprall. Für beide Prozesse reichen Sturmwellen nicht aus, weil sie zu niedrig und vor allem zu langsam sind und eine zu kleine Wassermasse beinhalten. Das Alter der Blockablagerung wurde mit ca. 4200 BP bestimmt. Seit dieser Zeit hat sich unter dem Block – geschützt vor Verkarstung durch Niederschläge – ein „Karsttisch“ von ca. 30 cm Höhe gebildet.



Abb. 12: Ebenfalls beim Aufprall zerbrochene Blöcke im Nordwesten der Insel Kreta. Der größte wiegt um 75 t und liegt inmitten von Muschelpflastern bei 15 m ü.M und mehr als 200 m von seinem Ursprungsort, einem Kliff, entfernt. Auch diese Bewegung, datiert auf etwa 500 BP, kann nur auf einen Tsunami zurückgehen.

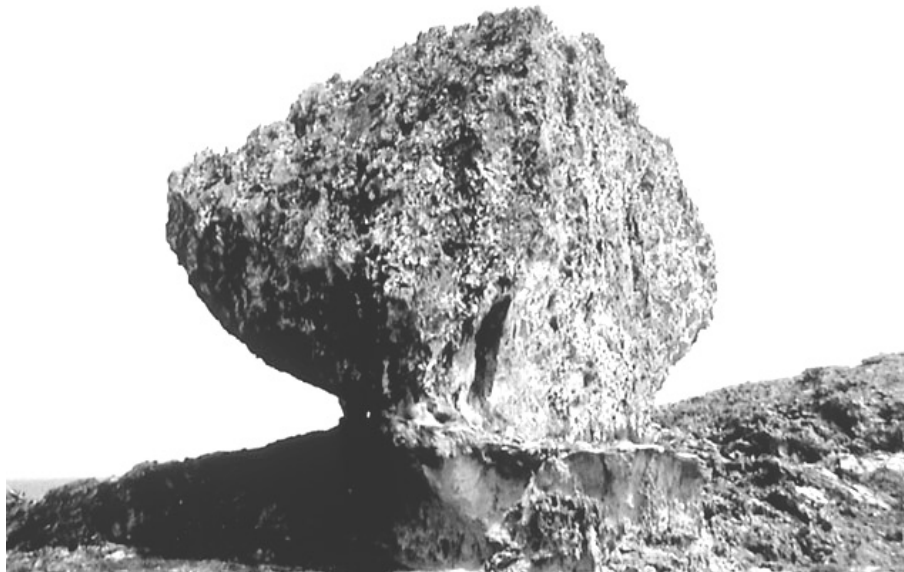


Abb. 13: Selbst bei den mächtigsten Blöcken, die unstrittig durch Wellen landwärts transportiert wurden, wird immer noch über den Bewegungsmechanismus – Tsunami oder Supersturm-Wellen – gestritten. Das Beispiel stammt vom Norden der Insel Eleuthera auf den Bahamas: der Block wiegt mind. 2300 t und wurde mehr als 400 m weit und mind. 20 m gegen die Schwerkraft bewegt, und zwar im letzten Interglazial bei einem Meeresspiegelstand, der hier etwa dem heutigen entsprach.

Erst jüngst in die Diskussion geraten sind merkwürdige winkel- oder parabelartige Ablagerungen im Küstenraum, die als schmale lanzenförmige Gebilde von der Küste landwärts zeigen und viele Kilometer Länge und Höhen bis mind. 200 m erreichen können. Sie werden als „Chevrons“ bezeichnet (Abb. 14). Wegen ihrer Größe und auffällig hellen Färbung (aufgrund geringer Vegetationsbedeckung als Altersindiz für nur wenige Jahrhunderte oder Jahrtausende seit Ablagerung) lassen sie sich sogar in Satellitenbildern erkennen, wodurch z.B. mittels Google Earth ihre nahezu weltweite Verbreitung belegt werden kann. Noch ist es viel zu früh, alle diese Phänomene extremen Tsunami (etwa gar aus Meteoriten-Impacts) zuzuschreiben, doch ist dieses bereits für einige Lokalitäten gelungen. Abweichungen von Hauptwindrichtungen und Dünenachsen in der Nachbarschaft, Biegungen im Längsverlauf von Chevrons, Auftreten auch in Regionen ohne Strände als Materiallieferanten, eine Mischung von chaotischen Sanden mit Muschelschalen oder Steinen und andere Indizien mehr bezeugen, dass das Chevron-Phänomen noch weit von einer befriedigenden Erklärung entfernt ist und hier größere Forschungsanstrengungen notwendig sind, an denen wir uns ebenfalls beteiligen.

Wir müssen heute akzeptieren, dass neben den lange bekannten und beschriebenen möglichen Schadenswirkungen durch Sturmfluten oder Hurrikane auch Tsunamis – entgegen bisherigen Auffassungen – eine extrem weite Verbreitung haben können selbst an Küstenstrecken, für die man wegen fehlender seismischer Unruhe solche Erscheinungen ausgeschlossen hatte (Abb. 15). Gleichzeitig mit diesen Erkenntnissen, die durch absolute Datierungen abgesichert sind, erheben sich neue Fragen, nämlich jene nach weiteren möglichen Ursachen für katastrophale Wellenereignisse an den Küsten der Erde, etwa durch Kometen- und Meteoriteneinschläge oder Gashydratausbrüche. Eine enge Verzahnung von Ursachenforschung durch Geologen, Sedimentologen, Ozeanographen oder Geomorphologen mit der Folgenforschung für Menschen und ihre Infrastruktur vornehmlich durch Geographen, also die Weiterentwicklung von der Forschung an Naturereignissen zu solchen an Naturkatastrophen ist dabei nachdrücklich zu fordern und zu fördern. Diese Vernetzung allein kann in Zukunft Schaden abwenden oder doch wenigstens begrenzen und reicht damit weit über die Grundlagenforschung in akademischen Elfenbeintürmen hinaus.



Abb. 14: Weitgehend ertrunkener und abradiierter Chevron aus dem letzten Interglazial an der Leeseite der Exuma-Inseln, Bahamas.

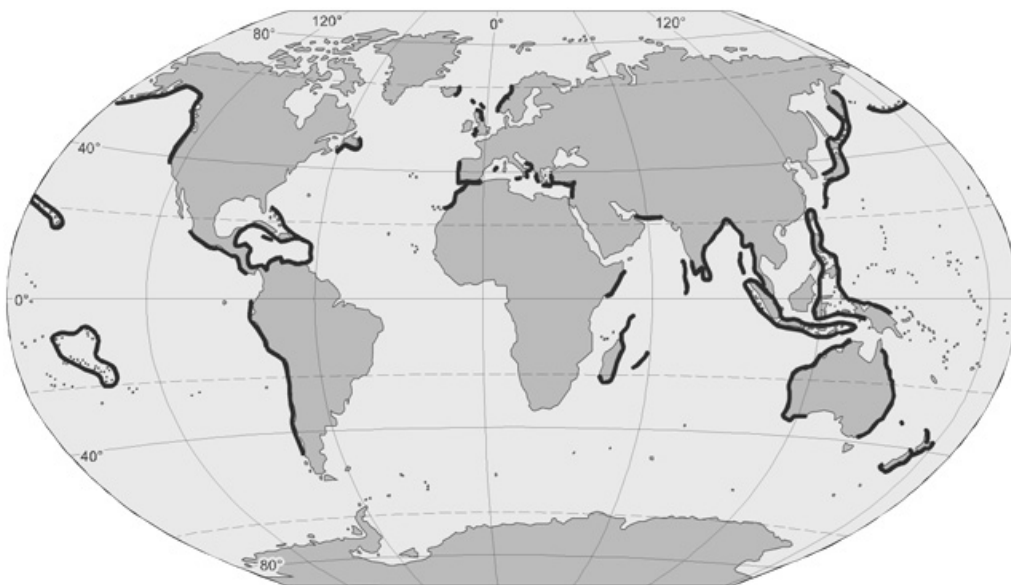


Abb. 15: Nach dem derzeitigen Wissensstand im jüngeren Holozän von starken Tsunamis betroffene Küstenregionen der Erde.

### Adresse

Prof. Dr. Dieter Kelletat  
Universität Duisburg-Essen  
Institut für Geographie  
Universitätsstraße 15  
45117 Essen

[dieter.kelletat@t-online.de](mailto:dieter.kelletat@t-online.de)