

Im englischen Yorkshire holt sich die Nordsee Straßen und Häuser. Der Grund ist die extreme Erosion

# LAGE, LAGE, LAGE

Pech hat, wer am Meer lebt. Das suggerieren uns die folgenden Küstenbilder. Doch wie bedrohlich ist der steigende Meeresspiegel wirklich?

TEXT: STEFAN RAHMSTORF  
FOTOS: KADIR VAN-LOHUIZEN

# GRÖNLAND

---

Das schmelzende Eis Grönlands entscheidet wesentlich darüber, wie schnell weltweit der Meeresspiegel steigen wird. Paradoxerweise sinkt an Grönlands

Küsten der Meeresspiegel durch den Eisschwund sogar, aufgrund der schwindenden Anziehungskraft, die der Eispanzer auf das Meerwasser ausübt.

Ein Gletscher im Süden von Grönland. Rund 80 Prozent der Fläche der Insel sind mit Eis bedeckt

## BANGLADESCH

Überschwemmungen gehören zu ihrem Alltag – Millionen von Menschen leben in der tief liegenden Delta-region an der Küste von Bangladesch und Indien, den Sundarbans. Schon jetzt haben Zehntausende Men-

schen ihr Zuhause verloren. Wer kann, zieht weg, etwa in die Millionenstadt Dhaka. Eine „gewaltige Klimamigration droht am Horizont“, sagt Tapas Paul, Umweltperte der Weltbank in Neu-Delhi.

Das Dorf Choto Jaliakhali in Bangladesch. Ein neuer Damm soll die Bewohner vor den Fluten schützen

Rechte Seite oben und unten  
Ein Überschwemmungsgebiet in  
Bangladesch bei Ebbe

Weshalb und seit  
wann steigt das  
Wasser an unseren  
Küsten? Lokal gibt  
es dafür eine Reihe  
von Ursachen. Im  
globalen Mittel  
aber ist die Haupt-  
ursache die vom  
Menschen ver-  
ursachte globale  
Erwärmung

AM 24. OKTOBER 2012 TRIFFT EIN Tropensturm die Karibikinsel Jamaika und hinterlässt große Teile ohne Strom. Der Sturm überschwemmt das benachbarte Haiti mit schweren Regenfällen, 54 Menschen verlieren dort ihr Leben. Doch das ist erst der Anfang. Am 25. überquert der Sturm Kuba als Hurrikan der Kategorie zwei. Am 26. zieht er, abgeschwächt auf Kategorie eins, über die Bahamas. Dann bewegt er sich vor der US-Küste entlang nach Norden und folgt damit der typischen Zugbahn der Hurrikane, die meist nordostwärts über den Atlantik abziehen und sich abschwächen.

Doch der Sturm, genannt „Sandy“, ist kein gewöhnlicher: Mit 1800 Kilometer Durchmesser und der siebenfachen Fläche Deutschlands ist er der größte Hurrikan, der jemals über dem Atlantik beobachtet wurde. Und bereits am 23. Oktober haben die Supercomputer des Europäischen Zentrums für mittelfristige Wettervorhersage dem Sturm eine außergewöhnliche Bahn vorhergesagt: Er werde eine scharfe Linkskurve machen und die US-Küste treffen.

Leider erweist sich diese Prognose als korrekt. Am 29. schlägt „Sandy“ den erwarteten Haken nach Westen; das Auge trifft unweit von New York auf Land. Der Rest ist Geschichte. Manhattan liegt wegen Stromausfall in gespenstischer Dunkelheit da, große Teile stehen unter Wasser. Sieben U-Bahn-Tunnel unter dem East River werden geflutet – die schlimmste Katastrophe in der 108-jährigen Geschichte der Subway. Über 100 000 Häuser werden schwer beschädigt oder zerstört.

Die Verwüstungen durch Supersturm „Sandy“ illustrieren eine der Hauptfolgen des weltweit steigenden Meeresspiegels: Sturmfluten werden deutlich verheerender. Dabei sind die letzten zusätzlichen Zentimeter bei einer schweren Sturmflut meist die teuersten, werden davon doch Bereiche einer Stadt betroffen, die sonst sehr selten oder nie überflutet werden und entsprechend unvorbereitet sind.

Wissenschaftler aus New York haben die Sturmflut von „Sandy“ detailliert kartiert und im Computer simuliert. Während der um 20 Zentimeter gestiegene Meeresspiegel die Sturmflut um sieben Prozent erhöht hat, stiegen die Schäden dadurch um 24 Prozent. Die Kosten durch „Sandy“

wurden in der Geschichte der USA nur durch den Hurrikan „Katrina“ übertroffen, der 2005 New Orleans verwüstete.

Anfang November 2013 traf der Tropensturm „Haiyan“ die Philippinen. Bei der folgenden Sturmflut starben mindestens 6300 Menschen. Es war der stärkste gemessene Taifun, der jemals auf Land getroffen ist. Nach einer japanischen Studie hatte die globale Erwärmung seine Spitzenwindgeschwindigkeit um zehn Prozent erhöht. Und er traf ausgerechnet eine Küste, an der der Meeresspiegel seit Mitte des Jahrhunderts weit überdurchschnittlich angestiegen war: nämlich um rund 50 Zentimeter statt der üblichen 15 bis 20 Zentimeter. Ursache dafür war wiederum die Zunahme der Passatwinde im Lauf der letzten Jahrzehnte, die das Meerwasser im Westen des tropischen Pazifiks aufstauen. Beide Faktoren, die Rekordsturmstärke und der gestiegene Meeresspiegel, machten diesen Sturm so tödlich.

Doch weshalb und seit wann steigt das Wasser an unseren Küsten? Lokal gibt es dafür eine Reihe von Ursachen; im globalen Mittel aber ist die Hauptursache die vom Menschen verursachte globale Erwärmung. Durch die zunehmende Erwärmung dehnt sich das Meerwasser aus, und immer rascher schmelzen die Landeismassen: die Gletscher im Gebirge ebenso wie die großen Eisschilde auf Grönland und der Antarktis. Die Eisschilde in Grönland und der Antarktis verlieren inzwischen jährlich eine Eismenge, die einem Mehrfachen der Masse des Mount Everest entspricht. Die Westantarktis ist nach mehreren übereinstimmenden Studien inzwischen bereits destabilisiert: Wahrscheinlich wurde der kritische Punkt überschritten, ab dem der komplette Verlust des Eisschildes zum Selbstläufer wird, der in den folgenden Jahrhunderten zu einem unaufhaltsamen globalen Meeresspiegelanstieg um drei Meter führen wird.

Seit dem späten 19. Jahrhundert ist der globale Meeresspiegel um knapp 20 Zentimeter gestiegen. Allein seit 1993, dem Beginn der Satellitenmessung, kamen acht Zentimeter hinzu. Davon stammen 40 Prozent von der Erwärmung und thermischen

*Lesen Sie bitte weiter auf Seite 70*



Das Meer kommt den Häusern in Scituate bei Boston bedrohlich nahe. Immer wieder gibt es schwere Sturmschäden



## USA

An der Ostküste der USA, nördlich des Cape Hatteras, ist wegen der Abschwächung des Golfstromsystems mit verstärktem Meeresspiegelanstieg zu rechnen. Gefährdet ist auch der Süden Floridas. Der Bürgermeister von Miami Beach, Philip Levine, spricht von

alarmierenden Prognosen für seine Stadt, die nur 1,3 Meter über dem Meeresspiegel liegt. Inzwischen hat man dort den Kampf gegen das ständige Hochwasser aufgenommen. So erhielt die oft überflutete Alton Road vor Kurzem eine 24 Millionen Euro teure Pumpanlage.

Rechte Seite oben und unten  
Auch wenn kein Sturm tobt,  
kommt es in Miami häufig zu  
Überschwemmungen

Ausdehnung des Meerwassers, knapp 30 Prozent vom Verlust von Gebirgsgletschern und ein Viertel vom schwindenden Eis Grönlands und der Antarktis. Schmelzendes Meereis trägt übrigens nicht zum Anstieg bei, da es bereits schwimmt.

Die Geschichte des Meeresspiegels vor Beginn der regelmäßigen Pegelmessungen kann man aus sogenannten Proxydaten entschlüsseln. Dazu gehören vor allem Sedimentablagerungen, Korallen und teilweise auch archäologische Daten, wie etwa die Lage von mit dem Meer verbundenen Fischzuchtbecken aus dem Römischen Reich. Zahlreiche solcher Datenreihen aus verschiedenen Weltgegenden wurden kürzlich in einer Studie zu einer globalen Synthese zusammengeführt.

Sie zeigt, dass der Anstieg des Meeresspiegels im 20. Jahrhundert weitaus schneller verlief als in jedem anderen Jahrhundert der vorangegangenen 3000 Jahre. Eine solche Beschleunigung des Anstiegs ist eine logische physikalische Folge der Klimaerwärmung, die die Eismassen immer rascher schmelzen lässt. Analysen der möglichen natürlichen Schwankungen haben gezeigt, dass wahrscheinlich mindestens die Hälfte des im 20. Jahrhundert beobachteten Meeresspiegelanstiegs vom Menschen verursacht wurde – möglicherweise auch der gesamte Anstieg.

Blickt man Jahrhunderttausende weit zurück, so bestimmen das Wachsen und der Zerfall der großen Landeis Massen der aufgrund der Erdbahnzyklen periodisch wiederkehrenden großen Eiszeiten den Meeresspiegel. Vor 20 000 Jahren, auf dem Höhepunkt der letzten Eiszeit, war es im globalen Mittel fünf Grad kälter als heute, und der Meeresspiegel war um 120 Meter abgesunken. Während der vorangegangenen Warmzeit, dem Eem vor 120 000 Jahren, lag der Meeresspiegel dagegen sechs bis neun Meter höher als jetzt; dabei war die globale Temperatur ähnlich der heutigen, ein Grad über der vorindustriellen Temperatur. Die heute auf der Erde vorhandenen Eismassen reichen aus, um den Meeresspiegel weltweit um 60 Meter anzuheben – schon der Verlust von wenigen Prozent dieses Eises wäre verheerend für tief liegende Landstriche.

Besonders verwundbar sind die oft dicht besiedelten Flussmündungen un-

serer Erde: das Nildelta, das Mekongdelta und das Ganges-Brahmaputra-Meghna-Delta in Bangladesch. Die Küste Bangladeschs liegt wie die Philippinen in der Zugbahn tropischer Wirbelstürme und hat schon etliche Sturmfluten erlebt: Die schlimmste, durch den Tropensturm „Bhola“, nahm im November 1970 über einer halben Million Menschen ihr Leben.

Außer der wachsenden Sturmflutgefahr leidet Bangladesch aber auch unter weiteren Folgen des steigenden Wasserstands an seiner Küste. Dazu gehört die schleichende und zunehmende Erosion von Land entlang der zahlreichen Flussarme, durch die viele Familien Haus und Ackerland verlieren. Viele dieser Menschen machen sich auf den Weg in die längst überquellende Hauptstadt Dhaka und versuchen dort, in bitterer Armut in den Slums zu überleben.

Küsten sind dynamisch – dazu gehört die Erosion an manchen Stellen ebenso wie die Verlandung durch Anlagerung von Sedimenten an anderen Orten. Der Anstieg des Meeresspiegels beschleunigt die Erosionsprozesse. Mancherorts, wie in Yorkshire an der englischen Nordseeküste, stürzen dadurch Häuser und Straßen ins Meer. Durch die zunehmende Erosion verschwinden auch ökologisch wertvolle Feuchtgebiete und Strände und damit zum Beispiel die seit Jahrtausenden angestammten Nistplätze von Meeresschildkröten, zu denen zurückzufinden sie „programmiert“ sind. Wo der Tourismus genug Geld einbringt, werden vielerorts die schrumpfenden Strände künstlich wieder aufgespült – eine wegen der ökologischen Folgen nicht unumstrittene Praxis.

Ein zunehmendes Problem, das tief liegende Orte in reichen und armen Ländern gleichermaßen betrifft, ist das sogenannte „nuisance flooding“, das man als „lästige Überflutung“ bezeichnen kann. Auch ohne Sturmflut kommt es immer häufiger zu Überschwemmungen im Küstenbereich: durch die ganz normalen Gezeiten. Alle 14 Tage, wenn Sonne, Mond und Erde in einer Linie aufgereiht sind, kommt es zu besonders hohen Fluten. Einige Male im Jahr, wenn der Mond dabei besonders

*Lesen Sie bitte weiter auf Seite 81*



Vor 20 000 Jahren,  
auf dem Höhe-  
punkt der letzten  
Eiszeit, war es im  
globalen Mittel  
fünf Grad kälter als  
heute, und der  
Meeresspiegel  
war um 120 Meter  
abgesunken



In Yorkshire an Englands Nordsee-  
küste fallen ganze Dörfer und Straßen  
ins Meer

## ENGLAND

Die Ostküste Yorkshires in England hat mit extremer Erosion zu kämpfen, beschleunigt durch den Meeresspiegelanstieg. Durch Uferabbruch und Rutschungen gehen hier jedes Jahr im Schnitt zwei Meter Land verloren. Dutzende Dörfer sind mittlerweile verschwunden. Rettende Deiche werden nur für einige wenige

Ortschaften gebaut. Der finanzielle Aufwand lohnt sich nicht. Die Menschen sind aufgefordert, in sichere Gebiete zu ziehen. Da es aber kaum Entschädigungszahlungen gibt, verlieren die Bewohner faktisch ihre Häuser. Die meisten wollen daher bis zum letzten Moment bleiben.

## PANAMA

---

Zum Guna-Yala-Archipel, auch San Blas genannt, gehören 365 flache Inseln vor Panamas Küste. Laut Greenpeace sind die dort lebenden Guna „das erste Volk, das vom Klimawandel vertrieben wird“. Eine Evakuierung der Insel Gardi Sugdub scheiterte, weil die Regierung

nicht zahlte. Nun haben Freiwillige begonnen, auf dem Festland ein Stück Regenwald für ein neues Dorf zu roden. Den Verbleibenden bleibt keine Wahl, als die vorgelagerten Riffe zu plündern, weil sie die Brocken für den Bau von Schutzbarrieren am Strand benötigen.



Guna-Yala-Archipel, Panama.  
Familie Hernández bewohnt zu zwölf  
die winzige Insel Sucunguadup

## KIRIBATI

Der Inselstaat liegt im Pazifik und besteht mehrheitlich aus winzigen Atollen. Einige werden von Dämmen geschützt. Die Menschen behelfen sich zusätzlich mit Sandsäcken, um das Meer von ihren Häusern fernzu-

halten. Vorsorglich hat die Regierung von Kiribati für 8,7 Millionen Dollar Land auf den bergigen Fidschinseln gekauft. Dorthin sollen mehrere tausend Kiribatier ziehen, falls ihre Heimat im Meer untergeht.

Gefährdete Hütten am Strand von Betio, einem 16 000-Einwohner-Ort in Kiribati

## FIDSCHI

---

Die meisten der Fidschiinseln entstanden bei der Aktivität unterseeischer Vulkane. Dementsprechend bergig sind die meisten der 332 Inseln. Dennoch wird sich das Leben dort verändern. Einige der bei Touristen beliebten Strände könnten verschwinden. Außerdem

liegen 80 Prozent aller Dörfer des Inselstaats an der Küste. Ein Dorf wurde bereits in eine höher liegende Region verlegt. „Wir werden jahrzehntelang Dörfer umsiedeln müssen“, sagt Alifereti Tawake vom örtlichen Netzwerk „Locally-Managed Marine Area“.

Der ehemalige Friedhof eines Dorfes im Süden der Fidschiinsel Viti Levu ist vom Meer umspült



## PAPUA-NEUGUINEA

Die Atolle Papua-Neuguineas sind unmittelbar vom steigenden Meeresspiegel bedroht. Besonders hart trifft es das Carteret-Atoll, dessen Inseln nur 1,5 Meter aus dem Meer herausragen. Den Menschen dort fehlt es an Nahrung, weil durch Überflutungen die Böden unfruchtbar geworden sind. Auch Trinkwasser ist

knapp. Mittlerweile haben die Menschen damit begonnen, sich selbst zu evakuieren – nach Bougainville, einer größeren, bergigen Insel etwa 85 Kilometer entfernt. Die Regierung Papua-Neuguineas hat versprochen, die Umsiedlung logistisch und finanziell zu unterstützen. Bisher ist dies aber noch nicht passiert.

nahe an der Erde steht, fallen diese Springfluten noch etwas höher aus. Dies allein reicht inzwischen aus, um in Städten wie Miami oder Boston regelmäßig Straßen unter Wasser zu setzen.

Besonders gefährdet sind auch tief liegende Inseln wie die Malediven, der Guna-Yala-Archipel in der Karibik oder das Carteret-Atoll und die Inseln von Kiribati im Pazifik. Diese Korallenatolle ragen an den höchsten Stellen oft nur zwei bis drei Meter aus dem Meer. Korallenriffe können zwar bis zu einem gewissen Grad mit steigendem Meeresspiegel mitwachsen und Sedimente ansammeln. Doch die Korallen kämpfen durch die kohlendioxidbedingte Erwärmung und Versauerung des Meerwassers um ihr Leben und werden mit dem immer schnelleren Anstieg der Meere kaum mithalten können.

Ironischerweise könnten die sterbenden Riffe vorübergehend die Sedimentzufuhr erhöhen und Inseln wachsen lassen. Doch für dicht besiedelte urbane Inseln, wie die Hauptinsel der Malediven, Malé, ist dies kein Trost, denn die Sedimentierungsprozesse sind dort durch die Bebauung unterbunden. Die Malediven bauen daher bereits an einer höheren, künstlichen Insel namens Hulhumalé, auf der in 40 Jahren 150 000 Menschen leben sollen – mehr als die Hälfte der heutigen Bevölkerung der Malediven.

Das steigende Meer bringt auch Probleme mit Versalzung. Salziges Grundwasser und salzige Böden breiten sich aus. Die meisten Korallenatolle sind für ihr Trinkwasser auf eine Süßwasserlinse unter der Insel angewiesen, in die bei steigendem Meeresspiegel Salzwasser eindringt. Wie lange die Inselbewohner sich den Folgen von Klimawandel und Versauerung anpassen und durchhalten können, vermag heute noch niemand zu sagen.

Selbst Inseln mit höherem Land, wie die Vulkaninseln von Fidschi, bekommen Probleme mit dem steigenden Meer, weil dort oft Ortschaften, Kraftwerke und Flughäfen in einem schmalen, flachen Küstenstreifen konzentriert sind. Auf Fidschis zweitgrößter Insel Vanua Levu mussten die Bewohner der Ortschaft Vunidogoloa bereits umgesiedelt werden. Die Regie-

rung hat 600 weitere Dörfer identifiziert, die vom steigenden Meer bedroht sind.

Was wird die Zukunft bringen – für die Menschen in Kiribati, Miami oder Hamburg? Der Weltklimarat rechnet in seinem letzten Bericht von 2013 mit einem globalen Meeresspiegelanstieg um 28 bis 98 Zentimeter in diesem Jahrhundert. Dabei ist die untere Zahl nur durch eine Beschränkung der globalen Erwärmung auf unter zwei Grad, wie sie im Dezember 2015 in Paris völkerrechtlich vereinbart wurde, und mit Glück erreichbar – es könnten selbst bei zwei Grad auch 60 Zentimeter werden. Bei einer Expertenbefragung unter 90 Meeresspiegelforschern hielten zwei Drittel den oberen Wert von 98 Zentimetern zudem für unterschätzt.

Der Anstieg der globalen Temperatur lässt sich durch entschlossenen Klimaschutz binnen Jahrzehnten stoppen, doch der Meeresspiegel wird viele Jahrhunderte weiter steigen, bis die großen Eismassen wieder langsam ein neues Gleichgewicht finden. Die Erwärmung auf 1,5 Grad zu begrenzen, wie im Pariser Abkommen angestrebt, könnte immerhin eine weitere Beschleunigung des Meeresspiegelanstiegs weitgehend verhindern.

Nach jetzigem Kenntnisstand wird das neue Gleichgewicht des Meeresspiegels pro Grad Erwärmung um gut zwei Meter höher liegen. Da wir bereits ein Grad Erwärmung hinter uns haben, sind zwei Meter Anstieg wahrscheinlich bereits programmiert – und noch mehr, wenn die Eismasse der Westantarktis bereits destabilisiert wurde. Wir erinnern uns an das Ende der letzten Eiszeit: Fünf Grad Klimaerwärmung brachten da einen Meeresspiegelanstieg um 120 Meter.

Beim Meeresspiegelanstieg nur an kleine Inseln oder Venedig zu denken wäre also kurzsichtig. Die Probleme, die solche Orte bereits heute erleben, sind nur ein Vorgeschmack dessen, was in Zukunft einen Großteil der eine Million Kilometer Küstenlinie unseres Planeten erwartet. ☹

*Autor Stefan Rahmstorf, Jahrgang 1960, ist Professor für Physik der Ozeane an der Universität Potsdam und einer der weltweit führenden Meeresspiegelexperten. Der Niederländer Kadir van Lohuizen, geboren 1963, ist bekannt für seine fotografischen Langzeitprojekte und ist Mitglied der Fotoagentur Noor.*

**Eine alte Frau erntet in Gewässern der Insel Yesila in Papua-Neuguinea die Samen von Wasserpflanzen**

Der Anstieg der globalen Temperatur lässt sich durch entschlossenen Klimaschutz binnen Jahrzehnten stoppen, doch der Meeresspiegel wird viele Jahrhunderte weiter steigen, bis die großen Eismassen ein neues Gleichgewicht finden