



[Michael Zapf]

Zukünftiger Dauerzustand in Hamburg infolge von Klimawandel und Elbvertiefung?

Von Prof. Dr. Hartmut Graßl

Der Klimawandel ist in aller Munde. Insbesondere in den Küstenregionen Norddeutschlands ist infolge des Meeresspiegelanstiegs mit gravierenden Veränderungen zu rechnen. Dies betrifft auch Flussmündungen wie die Tideelbe. Im folgenden werden die Auswirkungen im Einzelnen näher erläutert und – soweit möglich – in Zusammenhang mit der geplanten Elbvertiefung gestellt.

Flüsse mit erheblichem Gezeitenhub, d.h. in denen der Unterschied zwischen Ebbe und Flut sehr groß ist, entwickeln oft ausgeprägte Mündungstrichter. Die Elbmündung ist dabei besonders ausgezeichnet, weil ein Gezeitenhub von ca. 3,5 m wie in Cuxhaven am Eingang des Tideflusses Elbe für Marschniederungen weltweit gesehen selten hoch ist. Dadurch entstand „vor unserer Haustür“ das größte Wattenmeergebiet der Erde. Ohne Küstenschutzmaßnahmen ist eine Flussmündung fähig, bei steigendem Meeresspiegel von weniger als etwa 2 mm pro Jahr mitzuwachsen. Denn die durch Reibung verlangsamten Strömungsgeschwindigkeiten in Küstennähe erlauben eine stärkere Ablagerung von Schwebstoffen. Den mittleren globalen Meeresspiegelanstieg von ca. 17 ± 5 cm im 20. Jahrhundert haben ungeschützte Küstenzonen mitmachen können, wenn dies der einzige Anstiegsfaktor war. Da wir jedoch seit Jahrhunderten Hochwasser- und Sturmflutschutz für die Menschen an der Elbmündung betreiben, kann der Unterelbraum bei Meeresspiegelanstieg nicht mehr

mitwachsen. Daher nimmt die Fläche, die niedriger als der Meeresspiegel liegt, laufend zu. Das Gelände hinter den Deichen würde ohne Entwässerungsmaßnahmen versumpfen. Um dies zu verhindern und Landwirtschaft betreiben zu können, werden Teilgebiete, wie beispielsweise Dithmarschen und Teile der unteren Osteregion, künstlich entwässert. Ohne Deiche entstünde um Hamburg herum das weitaus größte Süßwasserwatt der Erde.

Klimawandel und Meeresspiegelanstieg

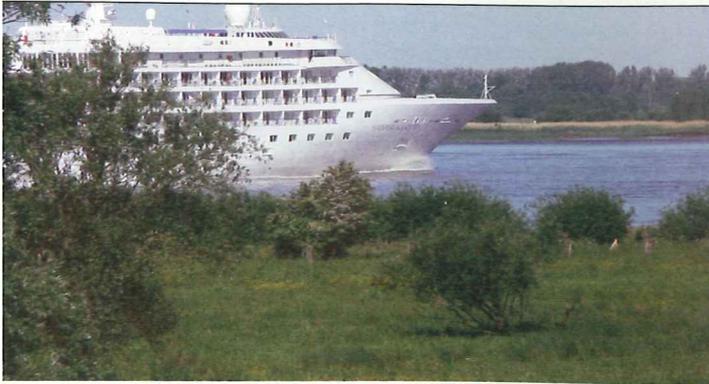
Die Klimaforscher haben am 2. Februar 2007 in der Zusammenfassung ihres vierten bewertenden Berichts für Entscheidungsträger (IPCC 2007) jetzt nach 1995 und 2000 erneut, aber verstärkt klar gestellt, dass die beobachtete mittlere Erwärmung von ca. $0,80^\circ\text{C}$ seit dem Jahre 1900 mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit überwiegend von uns Menschen verursacht worden ist. Gleichzeitig ist der mittlere Mee-

resspiegelanstieg seit 1992, als genaue Satellitensensoren erstmals zur Verfügung standen, präziser als bisher mit etwas über 3 mm pro Jahr gemessen worden. Als weitere Faktoren für einen Meeresspiegelanstieg kommen hinzu:

Das Absinken oder Ansteigen von Kontinenten und Schelfmeeren (1), das Anwachsen oder Schrumpfen des Tidenhubs (2), regionale Küstenschutzmaßnahmen (3), Entnahme von Bodenschätzen wie Erdgas und Erdöl (4), ständiges Pumpen von Wasser aus Marschniederungen in den Tidefluss oder die See (5) sowie veränderte allgemeine Zirkulation der Atmosphäre und damit der Meeresströmungen (6).

Alle diese Faktoren sind auch für die Elbe und damit für den Wasserstand von Cuxhaven bis zum Sperrwerk bei Geesthacht wichtig. Im Einzelnen sind es folgende Prozesse neben dem allgemeinen Meeresspiegelanstieg von etwas über 3 mm/a ($\text{mm/a} = \text{Millimeter pro Jahr}$; $\text{cm}/100\text{a} = \text{Zentimeter pro Jahrhundert}$): 1) tektonisches Absinken der Unterelberegion als Folge des immer noch anhaltenden Anstiegs Skandinaviens nach der Entlastung von dem bis zu 3 km mächtigen Eisschildes am Ende der großen Vereisung vor ca. 20.000 Jah-

[Frank Allmer]



Bedrohter Lebensraum Untereibe: Ausgedehnte, nicht eingedeichte Marschwiesen auf der Elbinsel Pagensand. Der Wellenschlag großer Schiffe beschädigt das Ufer.

ren. Meeresspiegeländerungsrate: etwa +0,5 mm/a; 5 cm/100a.

2) erhöhter Tidenhub am Pegel Cuxhaven als Folge der Fahrrinnenvertiefungen und der Deichbauten sowie des erhöhten Wasserstandes in einem Flachwassergebiet bei Meeresspiegelanstieg. Dies führt zu erhöhtem mittlerem Hochwasser, aber auch zu gesunkenem oder nur gering ansteigendem Niedrigwasser. Meeresspiegeländerungsrate in Cuxhaven seit 1900: 2,66 mm/a; 26,6 cm/100a; bei mittlerem Tidehochwasser.

3) Eindeichung und Fahrrinnenvertiefung erhöhen den Tidenhub flussaufwärts von Cuxhaven stark, so dass er z.B. am Pegel St. Pauli im 20. Jahrhundert um mehr als einen Meter anstieg, weil die Gezeitenwelle durch geringere Reibung schneller aufläuft und abläuft. Tidenhubzunahme in St. Pauli seit 1910: 150 cm; Erhöhung des mittleren Tidehochwassers um 50 cm.

4) Öl- und Erdgasförderung senken die feste Erde um die Entnahmestelle ab. Dieser Prozess kann einige Meter betragen, z.B. in der zentralen Nordsee bei Ekofisk. Das Absinken ist im Untereiberaum zur Zeit wegen geringer Förderung nur noch schwach.

5) Pumpen von Wasser zum Erhalt der überkommenen Landwirtschaft sowie der übrigen Infrastruktur in Regionen, die bereits eindeutig unter dem mittleren Meeresspiegel liegen. So wird z.B. bei Otterndorf aus der Region Wasser in die Elbe gepumpt.

6) Veränderte Zirkulation der Atmosphäre und mit ihr die veränderten Meeresströmungen können erhebliche Meeresspiegeländerungen auf Zeitskalen von Stunden bis Jahrhunderten an einem bestimmten Ort verursachen. Da die Westwinddrift in den vergangenen Jahrzehnten im Mittel zugenommen hat, ist in den Pegelmessungen in der Deutschen Bucht ein Teil des Meeresspiegelanstiegs hierauf zurückzuführen.

Alle diese den Wasserstand ändernden Faktoren haben in den vergangenen Jahrzehnten in Cuxhaven und in Hamburg zu einem An-

stieg des mittleren Tidehochwassers von + 2,66 mm/a bzw. +/- 5 mm/a geführt. Damit hat der Anstieg in der Elbe den mittleren globalen Meeresspiegelanstieg von ca. 1,8 mm/a seit 1960 um das fast 1,5-fache bzw. 2,7-fache übertroffen. Welcher Klimaprozess für den mittleren Meeresspiegelanstieg verantwortlich war, ist jetzt besser bekannt, aber zum Teil noch immer nicht abschließend geklärt. Für 1993 bis 2003 waren es laut IPCC-Bericht, gereiht nach Beitrag, die Wärmeausdehnung des Meerwassers mit $1,6 \pm 0,5$ mm/a, Gebirgsgletscher und kleine Eiskappen mit $0,77 \pm 0,22$ mm/a, das Grönländische Inlandeis mit $0,21 \pm 0,07$ mm/a, das Antarktische Eisschild mit $0,21 \pm 0,35$ mm/a. Die Summe von $2,8 \pm 0,7$ mm/a stimmt mit der Beobachtung von $3,1 \pm 0,7$ mm/a überein.

Sturmfluten im Elbegebiet

Ähnlich stark, wie der Meeresspiegelanstieg die Küstenschutzpolitik und die Schifffahrts- bzw. Hafenpolitik beeinflusst hat bzw. ändern sollte, beeinflussen auch Sturmfluten alle diese Politiken. Sturmfluten lagern nicht nur viele Sedimente in der Elbe um und verursachen dadurch hohe Baggerkosten, sie können auch so hoch sein, dass Deiche brechen oder überspült werden. Denn in Deutschland ist es politisch verabredet, nur das so genannte Jahrhundertereignis abzuwehren, also ein Extremereignis, das statistisch gesehen einmal in 100 Jahren auftritt, aber bereits im nächsten Winterhalbjahr eintreten kann. Für noch seltenere Ereignisse wird das Versagen von Teilen der Sicherheitsinfrastruktur, wie z.B. das Brechen eines Deiches, in Kauf genommen.

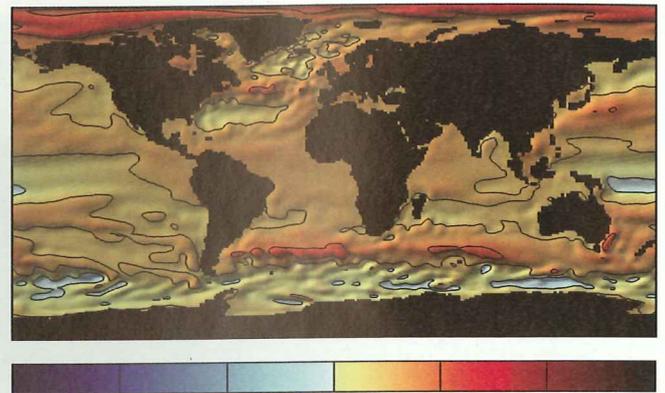


Abb. 1: Globaler Meeresspiegelanstieg allein durch Ausdehnung des Meerwassers als Folge der globalen Erwärmung im 21. Jahrhundert für das Szenario A1B (Menschheit treibt keine stringente Klimapolitik, erlebt großes globales Wirtschaftswachstum und nutzt einen Mix von Energieträgern). Quelle: Max-Planck-Institut für Meteorologie 2006

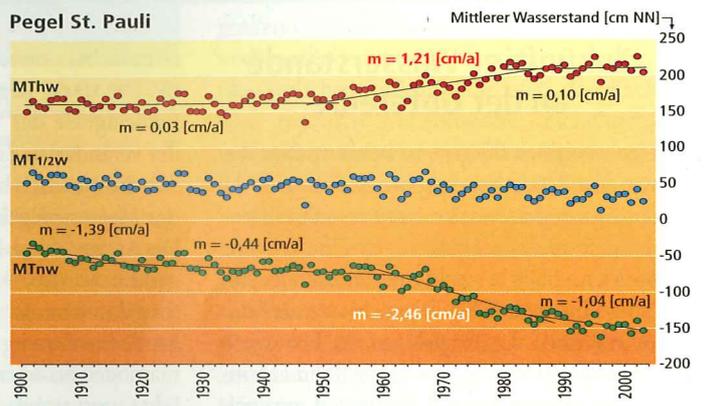
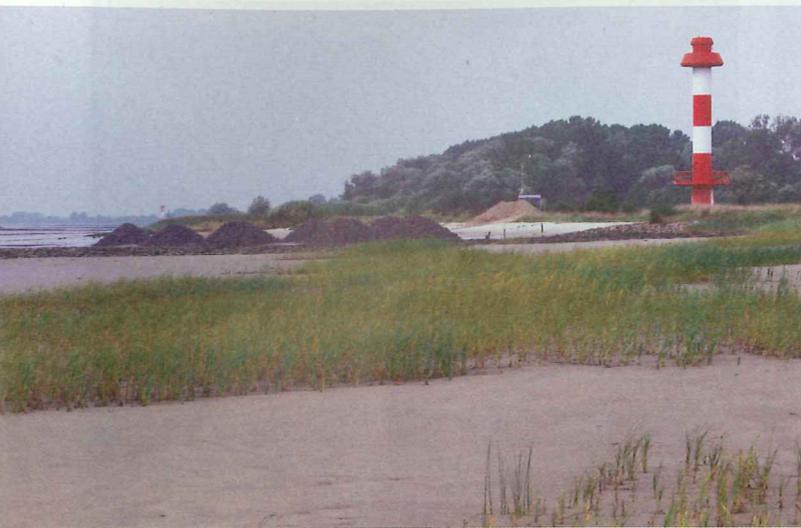


Abb. 2: Entwicklung der Wasserstände am Pegel St. Pauli in Hamburg seit 1900. Gezeigt sind das mittlere Tidehochwasser (MThw), das mittlere Tidehalbwasser (MT1/2w) und das mittlere Tideniedrigwasser (MTnw). Quelle: Bericht der Beweissicherung 2007

Haben die Sturmflutscheitel, die Sturmflutzahl sowie die Sturmflutstärke zugenommen? Auf diese Teilfragen gibt es recht unterschiedliche Antworten. Sturmflutscheitel nehmen bei unveränderter Sturmflutstärke allein wegen des Meeresspiegelanstiegs zu, wie durch einige Untersuchungen in der Deutschen Bucht gezeigt wurde. Die Auswertung der langen Messreihen des Luftdrucks und damit der Windgeschwindigkeit an mehreren Orten an der Deutschen Bucht hat seit etwa 120 Jahren keine generelle Zunahme der Windstärke und der Sturmhäufigkeit gezeigt. Beide verändern sich aber gleichmäßig alle fünf Jahrzehnte. Nach einem Maximum Anfang der 1990er Jahre verharrt die Windgeschwindigkeit außerdem auf relativ hohem Niveau. Ohne Deicherhöhung bei beobachtetem Meeresspiegelanstieg und unveränderter Sturmflutstärke muss der Sturmflutscheitel zunehmen, so dass aus dem 100-jährigen Sturmereignis ein häufigeres wird. Viele hundert Millionen Euro sind deshalb stets nach den großen Sturmfluten an der unteren Elbe investiert worden, aber nicht um Überflutungspolder zu schaffen, sondern um die Deiche zu erhöhen und auch oft näher an die Elbe heranzuführen. Wie die Fahrrinnenvertiefung erhöht auch dies die Schutzkosten in Hamburg.



Aufgrund der erheblichen Landverluste nach der letzten Elbvertiefung werden jetzt die Inselufer von Pagensand mit Steinpackungen gesichert. Die Uferlinie verlief ursprünglich etwa vom linken Schlackehaufen auf den Betrachter zu. Auch die Standsicherheit des Unterfeuers bereitet Sorgen. Rechts: Die Abbruchkante des Nordspülfeldes ist in den letzten fünf Jahren um bis zu 6 m abgetragen worden.

[Fotos: Frank Allmer]

Zukünftige Wasserstände an der Unterelbe

Den wenigsten Bürgern ist bekannt, dass der von uns Menschen erhöhte Treibhauseffekt der Atmosphäre ein Problem für Jahrtausende ist. Etwa das gesamte 21. Jahrhundert wird die Menschheit bei recht einschneidender globaler Klimapolitik benötigen, bis stabile Konzentrationen der langlebigen Treibhausgase erreicht sein werden, wie es die Rahmenkonvention der Vereinten Nationen seit 1994 völkerrechtlich verbindlich fordert. Die globale Erwärmung wird deshalb aber noch lange nicht beendet sein, denn dazu müssen sich der Ozean in Jahrhunderten sowie die Inlandeisgebiete in Jahrtausenden erst an veränderte Randbedingungen anpassen. Folglich werden die menschengemachte globale Erwärmung und der zugehörige Meeresspiegelanstieg Jahrtausende weitergehen, wenn nicht natürliche Prozesse wesentlich bremsen. Letzteres ist nicht in Sicht, weil sich die Umlaufbahn der Erde um die Sonne in den nächsten 30.000 Jahren nicht dahingehend ändern wird, dass wir mit einer Eiszeit und der Bildung von Inlandeisgebieten rechnen können.

Für eine Stadt wie Hamburg ist also eine globale Klimapolitik zu einer Existenzfrage geworden. Denn sollten große Teile des Grönländischen Inlandeises schmelzen (dies könnte schon in den nächsten Jahrzehnten angestoßen werden), helfen in einigen Jahrhunderten keine Deicherhöhungen mehr. Ein vollständiges Abschmelzen ergäbe ca. 7 m Meeresspiegelanstieg.

Was hält das 21. Jahrhundert bereit? Von den Prozessen, die den Meeresspiegel beeinflussen, ist die Ausdehnung des Meerwassers bei Erwärmung noch am ehesten einschätzbar. Wie die Abb. 1 (Seite 9) zeigt, ist dieser Beitrag regional sehr unterschiedlich verteilt und global gemittelt etwas über 40 cm bis zum Jah-

re 2100 bei unwesentlicher Klimaschutzpolitik. Die starke Regionalisierung folgt aus der Eindringtiefe der Wärme in den Ozean und der veränderten Zirkulation der Atmosphäre. Für die Nordsee bedeutet das einen Anstieg des Meeresspiegels um etwa 40 cm bis 2100. Der Anstieg durch Eisverlust muss noch hinzugezählt werden. Allein der Meeresspiegelanstieg durch immer tiefer in den Ozean eindringende Erwärmung würde bis 2300 je nach Klimamodell bis 80 cm betragen, sollten bis zum Jahre 2100 stabile Treibhausgaskonzentrationen erreicht worden sein.

Da der Meeresspiegel auch bei verstärkter Klimaschutzpolitik erst nach einigen Jahrzehnten verzögert ansteigt, sind Küstenschutzmaßnahmen für die kommenden Jahrzehnte relativ unabhängig von der globalen Klimapolitik. Die langfristige Existenz vieler Städte in Marschniederungen hängt aber entscheidend von einem effektiven Klimaschutz ab.

Fahrrinnenvertiefung der Elbe

Zunächst wird sie wie schon bisherige Vertiefungen den Tidenhub vor allem in Hamburg weiter vergrößern und zwar das mittlere Tideniedrigwasser stärker als das mittlere Tidehochwasser (siehe: Abb. 2). Diese Veränderungen werden allerdings wegen der schon tiefen Fahrrinne relativ gering ausfallen. Der Tidenhubanstieg der vergangenen Jahrzehnte ist aber auch mit geprägt worden durch Sandentnahme für Deichbau und einen generellen Anstieg des Tidenhubs in der Deutschen Bucht, wie in Helgoland beobachtet. Daher ist nicht alles der Vertiefung zuzuschreiben. Küstenschutzkosten würden jedoch bei einer Fahrrinnenvertiefung ansteigen. Bei unveränderter Lage der Deiche würde eine vertiefte Fahrrinne zu rascherer Sedimentation und damit häufigerem Ausbaggern führen, mit all den Kosten

und ökologischen Problemen, die damit verbunden sind. Darüber hinaus wird die Wahrscheinlichkeit für Sauerstoffmangel im Elbewasser im Frühsommer unterhalb Hamburgs weiter erhöht mit all den Folgen für das Leben in der Elbe.

Die zentrale Frage sollte demnach lauten: Bietet die Fahrrinnenvertiefung einen volkswirtschaftlichen Vorteil und, wenn ja, wer bezahlt die dadurch erhöhten Kosten für Küstenschutz, ökologische Ausgleichsmaßnahmen und Fahrrinnsicherung? Denn nicht die Sicherheit der Bevölkerung, sondern das Interesse der Hafenvirtschaft wäre ja Anlass für die Mehrkosten.

Danksagung

Ganz herzlich danke ich Frau Dr. Elisabeth Rudolph von der Bundesanstalt für Wasserbau und Frau PD Dr. Gabriele Gönnert von der Hamburg Port Authority (HPA) für Hinweise zu existierender Literatur und zur Auswertung der Messungen von Wasserständen an der Tideelbe, die teilweise eigenen Forschungsprojekten entstammen.

Literatur

Beweissicherungsdatenbank Tideelbe, Bericht der Beweissicherung, 2004 (www.bs-elbe.de)
Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, 4th Assessment Report, 2007 (www.ipcc.ch)
Max-Planck-Institut für Meteorologie, Klimaprojektionen des 21. Jahrhunderts, 2006 (www.mpimet.mpg.de)

Über den Autor

Prof. em. Dr. Hartmut Graßl (67) warnte bereits in den 1980er Jahren vor dem Klimawandel. Graßl leitete mehrere Jahre das Weltklimaforschungsprogramm der UN in



Genf. Er machte sich auch im Zusammenhang mit dem Kyoto-Protokoll verdient und ist Beirat im Förderverein Ökologische Steuerreform. Von 1989 bis 2005 war Graßl Direktor des Max-Planck-Instituts für Meteorologie in Hamburg. Er lehrte an der Universität Hamburg.