



Bundesministerium
für Verkehr, Bau
und Stadtentwicklung



Tagungsband

KLIWAS

Auswirkungen des Klimawandels auf Wasserstraßen
und Schifffahrt in Deutschland

2. Statuskonferenz am 25. und 26. Oktober 2011, BMVBS, Berlin



Verkehr Mobilität Bauen Wohnen Stadt Land Verkehr Mobilität Bauen
Wohnen Stadt Land www.bmvbs.de Verkehr Mobilität Bauen Wohnen
Stadt Land Verkehr Mobilität Bauen Wohnen Stadt Land Verkehr Mobilität

Tidekennwerte und Seegangstatistik – eine Trendanalyse

Hartmut Hein, Stephan Mai,
Ulrich Barjenbruch (alle BfG)
& Anette Ganske (BSH)

1 Einleitung

An der Küste und in den Ästuaren ist der globale Anstieg des Meeresspiegels die größte Herausforderung hinsichtlich des sich verändernden Klimas. Für die vergangenen hundert Jahre wurde bereits ein Anstieg der *globalen* Wasserstände von 15 cm bis 20 cm nachgewiesen, eine Beschleunigung des Anstieges ist wahrscheinlich (u. a. CHURCH 2011). Die Projektion in die Zukunft ist jedoch noch unsicher, der Weltklimarat kommt zum Schluss: „Das Verständnis der Vergangenheit der Änderung des Meeresspiegels ist der Schlüssel zu einer besseren Projektion der zukünftigen Änderung“ (IPPC 2010).

Für Aufgaben der regionalen Planung, des Küstenschutzes oder auch lokaler ökologischer Belange, ist der *globale* Meeresspiegel jedoch ohne Aussagekraft. Vielmehr sind belastbare Aussagen zu treffen, inwieweit sich auch an den deutschen Küsten ein historischer *regionaler* Meeresspiegelanstieg nachweisen lässt; zukünftige Entwicklungen sind abzuschätzen. Die regionale Änderung des Meeresspiegels ist von einer ganz anderen Charakteristik geprägt als der mittlere globale Meeresspiegelanstieg. In der Region bewirken die atmosphärischen Einflüsse, die Veränderungen von Strömungssystemen und Eigenschwingungen der ozeanographischen und küstennahen Becken eine bedeutende und nicht zu vernachlässigende Variabilität. Zum Beispiel beträgt allein die systematische saisonale Schwankung des regionalen Meeresspiegels an der deutschen Nordseeküste etwa 25 cm bis 30 cm (DANGENSDORF et al. 2012). Mehrere Studien (u. a. WAHL et al. 2011) bestätigen für die Deutsche Bucht säkulare Anstiegsraten von ca. 15 cm bis 25 cm (inklusive Landsenkung). Für die letzten Jahre wurde von einer Zunahme der Anstiegsraten berichtet (u. a. WAHL et al. 2011). Die

vorliegenden Studien setzen sich jedoch nur mit den Anstieg selbst auseinander, nicht jedoch mit dem Verständnis von zugrundeliegenden Prozessen. An der deutschen Nordseeküste müssen noch viele einzelne Prozesse und Wechselwirkungen genauer verstanden werden, um belastbare Aussagen über die Zukunft zu treffen.

Die Bedeutung der Änderung des regionalen Meeresspiegels liegt darin, dass dieser eine nichtlineare Änderung der Statistik der Tidekennwerte und des Seegangs an den Küsten bewirkt. Ein sich verändernder mittlerer Wasserstand bedeutet immer eine Änderung des Eigenschwingverhaltens, sowohl der Nordsee, als auch der einzelnen Ästuare. Die Statistiken von Hoch-, Niedrigwasser und Tidehub ändern sich lokal sehr unterschiedlich. Zusätzlich wird durch die Veränderung des Meeresspiegels und der Windfelder eine Anpassung der Seegangstatistik notwendig.

Die Tidekennwerte und Seegangstatistiken sind wesentliche Indikatoren für den Klimawandel in der Küstenhydrologie (HEIN et al. 2012, zur Veröffentlichung eingereicht) und Untersuchungen dazu haben grundlegende Bedeutung für den Küstenschutz, die Vorlandvegetation, den Sauerstoffhaushalt, das Sedimentmanagement und den Transport von Schadstoffen.

2 Vom Messwert zum Trend

Grundlage der Untersuchungen der Veränderung des Meeresspiegels sind die Messdaten der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (www.wsv.de) und deren Vorgängerorganisationen. Es liegen Zeitreihen von Tidehochwasser (Thw) und Tideniedrigwasser (Tnw) von teilweise mehr als hundert Jahren vor. Diese Datensätze gehören weltweit zu den dichtesten, die den Klimawandel inklusive der räumlich differenzierten sich verändernden Prozesse dokumentieren. Der regionale Meeresspiegel wird nach DIN 4049-3 Tidemittelwasser (Tmw) genannt und wird dort als „Wasserstand der waagerechten Schwerlinie einer Tidekurve“ definiert; d. h., Tmw kann nicht direkt gemessen werden. Für längere Zeitreihen lässt sich der regionale Meeresspiegel rekonstruieren: Es ist hierzu der sogenannte k-Wert (LASSEN

& SEIFERT 1991) als Skalierungsfaktor zwischen T_{mw} und T_{hw} bzw. T_{nw} zu berechnen.

Diese pragmatische Lösung, den regionalen Meeresspiegel zu berechnen, ist jedoch umstritten, da sich der k -Wert möglicherweise abhängig vom T_{mw} ändert. Eine Möglichkeit, dieses zu überprüfen und Unsicherheiten zu ermitteln, bietet die Digitalisierung der analog vorliegenden Pegelbögen. Der Arbeitsbereich der Küstenhydrologie im Referat M1 der BfG hat sich dem Thema angenommen und testweise 100 Jahre Pegelmessungen digitalisieren lassen. Die Testdaten dienen vor allem der Entwicklung von: 1. Standards für die Digitalisierung und 2. Verfahren und Standards für die Qualitätssicherung digitalisierter Pegelmesswerte. Eine wichtige Erkenntnis, die sich direkt ergibt: Die Sicherung der Qualität ist notwendig und vor allem ähnlich aufwendig wie die Digitalisierung der Daten selbst. Das KLIWAS-Projekt 2.03 beteiligt sich hier am Projekt „Automatische Bestimmung von Tidekennwerten (Autibe)“ der Küstenhydrologie der BfG, welches sich mit automatisierten Verfahren zur Qualitätssicherung beschäftigt. Es zeigt sich, dass zur Beurteilung der Auswirkungen des Klimawandels die Qualitätsanforderungen an die Messungen steigen. Es wird eine Aufgabe der Ressortforschung sein, verbesserte Verfahren zur automatischen Plausibilisierung und zur Bestimmung von Unsicherheiten von Langzeitdatensätzen zu entwickeln.

Wenn nach den Voruntersuchungen die entsprechenden Zeitreihen inklusive der abgeschätzten Unsicherheiten des Wasserstands (vgl. HEIN et al. 2010a) vorliegen, dann sollten Bruchpunktanalysen die Homogenität der Daten nachweisen. Hier entwickelt die Küstenhydrologie der BfG in Zusammenarbeit mit der RWTH Aachen teilweise neue stochastische Verfahren (JENNING et al. 2012). Für den mittleren regionalen Meeresspiegel lassen sich mehrere Pegel zu einem repräsentativen virtuellen Pegel zusammenfassen. Dieses Verfahren kann jedoch nur beim T_{mw} und nicht für andere Tidekennwerte durchgeführt werden. Dieses wurde mit ausgefeilten neuen Methoden für die südliche Deutsche Bucht durchgeführt (HEIN et al. 2011b), das T_{mw} des virtuellen Pegels ist als der regional monatlich wahrscheinlichste Wert

berechnet. Erstmals werden Messreihen mit modernen stochastischen Verfahren virtuell rückwärtig verlängert. Um rechnerische Artefakte zu vermeiden dürfen bei der Bestimmung eines virtuellen Pegels nur Zeitreihen gleicher Länge verwendet werden. Entsprechend ist eine Verlängerung der Messzeitreihen bei den Pegeln hilfreich, die nur für kürzere Zeitreihen vorliegen. Mit dem in KLIWAS 2.03 (HEIN et al. 2011b, c) entwickelten Verfahren ist es möglich die Zeitreihen auf eine einheitliche Länge zu bringen. Durch dieses neue Verfahren ist diese Länge durch die längste vorliegende Zeitreihe und nicht wie bisher durch die kürzeste vorliegende Zeitreihe bestimmt. HEIN et al. 2011b ist auch zu entnehmen, wie die Landsenkungen berücksichtigt werden.

3 Untersuchung des Trends

Die Abbildung 1 zeigt den mittleren regionalen Meeresspiegel der südlichen Deutschen Bucht. Bei der Berechnung wurde auf die Definition der „*International Hydrographic Organisation*“ für den „*mean sea level*“ (msl) zurückgegriffen: Der regionale Meeresspiegel ist demnach ein 19-jähriges Mittel der Wasserstände an einem Pegelstandort (hier der virtuelle Pegel der südlichen Deutschen Bucht; HEIN et al. 2011a,b). Diese Art der Filterung ermöglicht es, kurzfristige Schwankungen, sei es durch atmosphärische Einflüsse oder durch den Einfluss der Tide aus der Betrachtung herauszuhalten. In der Abbildung ist zu erkennen, dass der regionale Meeresspiegel steigt, in den letzten 100 Jahren liegt der Trend bei ca. 11 cm/100 a bis 17 cm/100 a. In der Zeit vor 1900 liegen nur Daten vom Pegel Cuxhaven vor, es sollten keine Schlussfolgerungen für diese Periode gezogen werden.

Der festgestellte Trend liegt in der Größenordnung der von WOODWORTH et al. (2009) für die Küste Großbritanniens festgestellten 14 cm/100 a, ist also durchaus plausibel. Gleichzeitig mit dem Meeresspiegelanstieg sinkt das Land in dieser Region um etwa 4 cm bis 16 cm in den letzten 100 Jahren. Die Landsenkung ist jedoch lokal sehr unterschiedlich verteilt. Das ausgeprägte Auf und Ab der blauen Linie zeigt, dass der festgestellte Trend ausgeprägt nicht linear ist. Die Anstiegsraten unterliegen

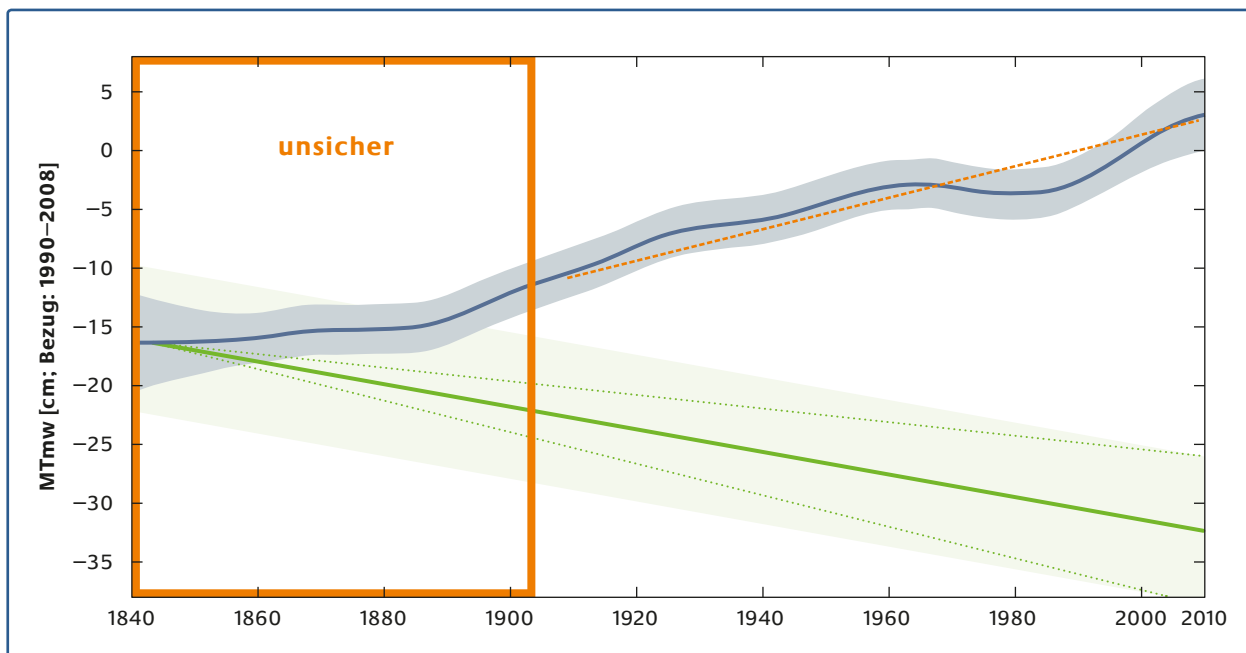


Abb. 1: Der regionale Anstieg des Meeresspiegels (blaue Kurve) und Unsicherheiten (graues Band); der lineare Trend (orange gestrichelte Line); Landsenkung mit Unsicherheiten (grün).

einer ständigen Veränderung (MOSEK et al. 2011). Berechnungen des Trends der *globalen* Wasserstände zeigen eine Beschleunigung (u. a. CHURCH & WHITE 2011). Für die deutschen Seewasserstraßen gilt dieses nicht: Es lässt sich zunächst *keine signifikante Beschleunigung* des Meeresspiegelanstieges nachweisen (HEIN et al. 2011b).

Die Anstiegsraten (Abbildung 2a) zeigen die starke natürliche Variabilität des regionalen Meeresspiegels. Zum Beispiel ist der Meeresspiegel in den siebziger Jahren des letzten Jahrhunderts gesunken. In den letzten 20 Jahren ist die Rate des regionalen Meeresspiegelanstieges erhöht. Ein Eindruck von den Prozessen, die hinter den nicht-linearen Veränderungen stehen, kann durch eine Multiskalenanalyse gewonnen werden. Die Küstenhydrologie der BfG hat hier verschiedene Verfahren weiterentwickelt. Neben einfachen spektralen Methoden kommen unter anderem die Singuläre System Analyse, die Trendbereinigte Fluktuationsanalyse und die Wavelet-Transformation zum Einsatz.

Beispielhaft werden Ergebnisse einer Wavelet-Transformation gezeigt (vgl. HEIN 2011a): In Abbildung 2b bis Abbildung 2d sind drei der wesentlichen Periodizitäten der natürlichen Fluktuationen abgebildet. Es muss darauf hingewiesen werden, dass die Reduzierung der Ergebnisse der Wavelet-Transformation auf die drei wesentlichen Periodizitäten eine vereinfachte Darstellung der natürlichen Prozesse ist. So bleiben bedeutende Periodizitäten von weniger als 19 Jahren unberücksichtigt. Insbesondere wird jedoch auch die besondere Möglichkeit der Verfahren der Multiskalenanalyse auch diejenigen Periodizitäten aufzudecken, deren Frequenzen sich durch natürliche Prozesse mit der Zeit ändern, hier nicht abgebildet. Dieses würde den Rahmen dieses Textes sprengen und wir möchten auf eine in Arbeit befindliche Publikation verweisen.

In unseren Analysen zeigen sich unter anderen Periodizitäten von ca. 20 bis 30 Jahren, von 35 bis 40 Jahren und eine Periodizität von 60 bis 80 Jahren. Dieses gibt

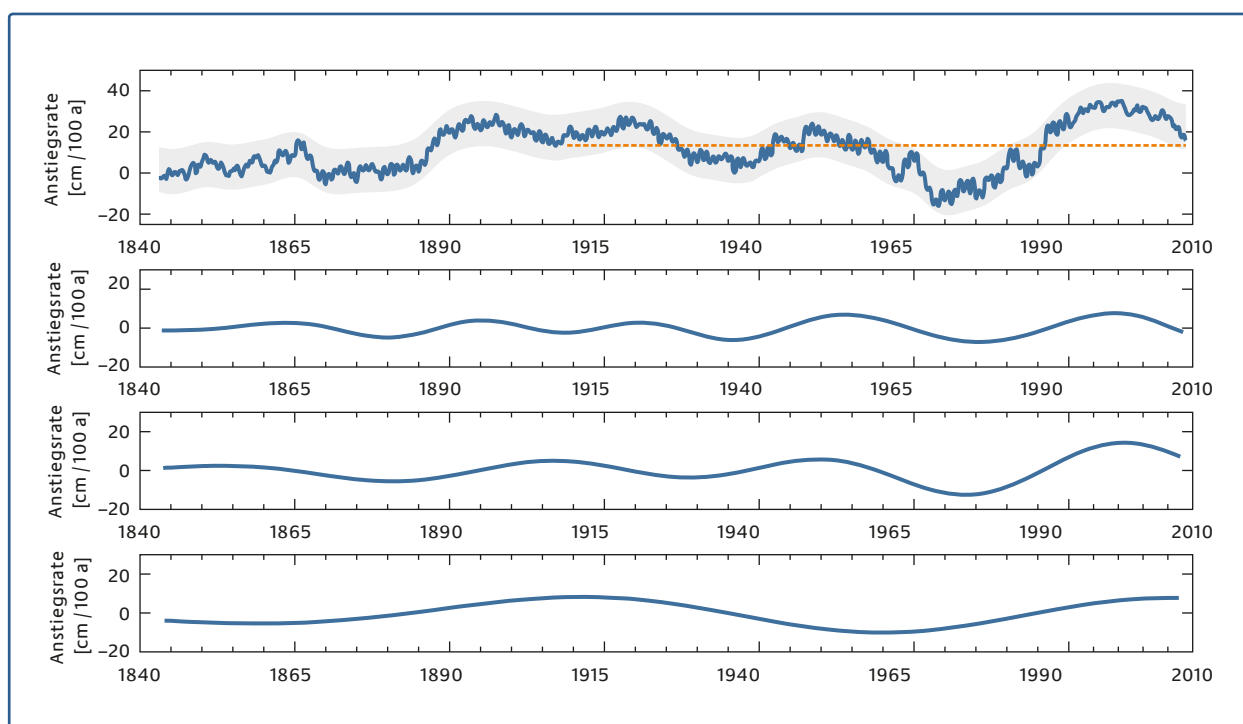


Abb. 2: Anstiegsraten des regionalen Meeresspiegels (blaue Linie) und Unsicherheiten (graues Band); b–c) drei wesentliche Periodizitäten aus der Multiskalenanalyse.

zum ersten Mal einen neuen prozessorientierten Einblick in die langfristige Veränderung der Wasserstände. Beispielsweise ist der 35 bis 40-jährige Zyklus eine typische Periode unseres Wettergeschehens und wurde schon 1625 von Francis Bacon beschrieben (GREGORY 1930). Die Periodizität von 60 bis 80 Jahren ist angesichts der Länge der Zeitreihe mit Vorsicht zu genießen. Jedoch hat die sogenannte Atlantische Multidekadische Oszillation (AMO) eine ganz ähnliche Periodizität (u. a. KERR 2000). Wenn die drei abgebildeten Periodizitäten übereinander gelegt werden, kann ein großer Teil der Fluktuationen des Tmw erklärt werden. Insbesondere wird deutlich, dass die scheinbare Beschleunigung der letzten 20 Jahre wahrscheinlich durch eine einfache Interferenz der verschiedenen Periodizitäten hervorgerufen wurde und eher nicht Teil des Klimawandels ist.

Beachtenswert ist die mögliche Zunahme der Variabilität, die in den Abbildungen 2b, 2c erkennbar ist. Nicht erkennbar ist in Abbildung 2, dass die Zunahme der Variabilität mit einer Veränderung des Frequenzspektrums verbunden ist. Dieses muss noch genauer verifiziert werden, bedeutet eine Zunahme der Variabilität doch eine zusätzliche Herausforderung für die Anpassung – die Wasserstände werden sich unberechenbarer verhalten als im Vergleich zu einem häufig angenommenen stetigen Anstieg. Obwohl wir keine Beschleunigung der Anstiegsraten in den letzten Jahrzehnten oder innerhalb der letzten 100 Jahre signifikant nachweisen können, bedeutet dieses keine Entwarnung für die deutschen Küsten. Nach derzeitigem Stand des Wissens wird der zukünftige Anstieg hier jedoch geringer ausfallen als im globalen Mittel.

4 Seegangstatistik

An der Küste liegen bezüglich des Seegangs keine Messreihen vor, die lang genug sind, um klimatische Aussagen treffen zu können. Zunächst gab es möglicherweise keine technischen Möglichkeiten. Als diese vorhanden waren (BARJENBRUCH & WILHELMI 2008), wurde der Seegang trotzdem nur an wenigen Standorten kontinuierlich gemessen. Dennoch können aus der Analyse von ausgewählten Zeitabschnitten Aussagen getroffen werden. Beispielsweise zeigt Abbildung 3 die Überschreitungswahrscheinlichkeiten von Wellen, die am Pegel „Leuchtturm Alte Weser“ gemessen worden sind. Als Ergebnis der Untersuchung steht fest, dass weder das im Tiefwasser gebräuchliche Modell, noch die im Flachwasser gebräuchliche Verteilung in der Lage sind, die Überschreitungswahrscheinlichkeiten von Wellenhöhen hinreichend abzubilden (MAI et al. 2010).

Signifikante Wellenhöhen können gut mit parametrischen Seegangsmodellen abgebildet werden (MAI 2008, HEIN et al. 2010b). Erste Untersuchungen für die deutsche Küste liegen vor (HEIN 2011c). Dafür wurden Wind-

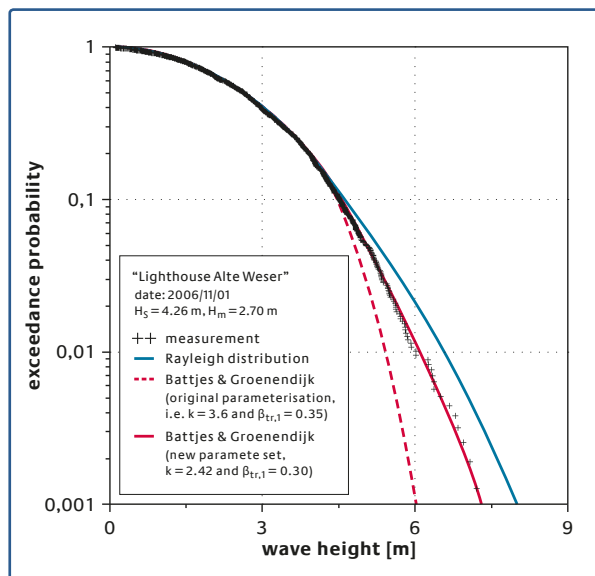


Abb. 3: Überschreitungswahrscheinlichkeit von Wellenhöhen, aus Messungen und unterschiedlichen Modellansätzen.

geschwindigkeitsergebnisse mehrerer regionaler Klimamodelle aus dem ENSEMBLES-Projekt (HEWITT et al. 2004) analysiert. Diese können in weiteren Untersuchungen als Antriebe für Seegangsmodelle dienen (Modellkette Seegang). Es wurden aus den Ergebnissen der regionalen Klimamodelle jeweils die Häufigkeiten von mittleren und sehr hohen Windgeschwindigkeiten innerhalb eines Jahres berechnet. Die Analysen zeigen im Wesentlichen zwei Dinge: 1. eine große zwischenjährige Variabilität und 2. einen großen Unterschied zwischen den verschiedenen Klimamodellen, jeweils sowohl für die Häufigkeit der mittleren als auch für die der sehr hohen Windgeschwindigkeiten. Daraus lässt sich ableiten, dass alle Parameter, die mit dem Wind direkt zusammenhängen (u. a. Seegang, Wasserstände), über lange Zeiträume betrachtet werden müssen, um belastbare Aussagen über die mögliche Betroffenheit durch Klimaveränderung treffen zu können. Die große Bandbreite der Ergebnisse von verschiedenen Klimamodellen bedeutet, dass zukünftig kontinuierlich aufdatiert jede neue Modellgeneration eingeordnet und gewässerkundlich begutachtet werden muss.

5 Antworten und Ausblick

Der regionale Meeresspiegel in der südlichen Deutschen Bucht steigt – in den letzten hundert Jahren um ca. 11 cm bis 17 cm. Im Gegensatz zum globalen Anstieg können wir derzeit aber keine Beschleunigung des Trends feststellen. Vielmehr stellen wir eine ausgeprägte zwischenjährige und dekadische Variabilität fest. Zusammen mit einer möglichen Zunahme dieser Variabilität ist dieses eine ernstzunehmende Herausforderung, weil möglicherweise die Reaktionszeit zum Handeln verringert wird. Hier müssen die zugrundeliegenden Prozesse verstanden werden, um belastbare Aussagen zu treffen: Es bestehen jedoch noch viele Wissenslücken zu globalen Prozessen, die erst in den nächsten Jahrzehnten von der Grundlagenforschung geschlossen werden können. Bei den regionalen Langzeitprozessen wurde durch KLIWAS-Projekt 2.03 ein erster Schritt in Richtung Systemverständnis beschritten.

Als Antwort auf den Klimawandel zeigen Untersuchungen drei Handlungsoptionen auf:

- (1) Messen: Um belastbare Aussagen über zukünftige Trends der Tidekennwerte und der Seegangstatistik treffen zu können, müssen wir diese in hinreichender zeitlicher und räumlicher Auflösung erfassen.
- (2) Qualitätssicherung: Die Anforderung an die Qualität der Messwerte steigt durch den Klimawandel. Es ist noch wichtiger als bisher, die Qualität der Messdaten zu sichern, die Homogenität ist festzustellen. Mögliche Unsicherheiten sind zu dokumentieren. Es sind Verfahren zur automatischen Qualitätssicherung weiterzuentwickeln. Die Digitalisierung historischer Pegelmesswerte ist eine anwendbare Methode, um Unsicherheiten zu bestimmen. Zukünftige Generationen von Modellketten sind hinsichtlich Tidekennwerten und Seegang aufdatiert gewässerkundlich zu verifizieren.
- (3) Kontinuierliche wissenschaftlich-gewässerkundliche Begutachtung: Aufbauend auf Trendermittlungen und Multiskalenanalysen muss durch die Ressortforschung ein besseres regionales Prozessverständnis herbeigeführt werden. Sensitivitätstest und zukünftige Generationen regionaler und globaler Klimamodelle (Modellketten) müssen in den nächsten Dekaden kontinuierlich eingeordnet, verifiziert und wissenschaftlich-gewässerkundlich analysiert werden.

Das Projekt 2.03 wird im Laufe des kommenden Jahres vermehrt zukünftige Trends der Tidekennwerte betrachten. Hierzu werden auf Basis der KLIWAS-Modellkette erstmals dreidimensionale hydrodynamische Modelle eingesetzt, die in der Lage sind, die ästuarinen Prozesse auf klimatologischen Zeitskalen (d. h. Dekaden) abzubilden. Aktuelle stochastische Methoden werden eingesetzt und weiterentwickelt, um Messwerte und Modelle zu verknüpfen. Es werden erste belastbare Aussagen inklusive der bestehenden Unsicherheiten für die nahe Zukunft (2021–2050) und ferne Zukunft (2071–2100) getroffen.

Prof. Dr. Charles Finkl, Chef-Editor des „*Journal of Coastal Research*“ fasst den derzeitigen Stand der internationalen Klimaforschung zusammen: „Modelle werden besser mit der Zeit, und wir müssen sie nutzen, aber cum grano salis. Wir sollten stattdessen unsere Gehirne nutzen und echte Daten verwenden um Interpretationen zu machen.“ Wir sollten also die notwendigen Daten zuverlässig dokumentieren und die bislang nur unstetig erfolgten Analysen über die Veränderungen der Tidewasserstände (vgl. ROHDE 1968; FÜHRBÖTER & JENSEN 1985) verstetigen, um klimatologische Veränderungen der Wasserstände kontinuierlich verfolgen zu können. Wenn die Ergebnisse der heutigen Klimamodelle hinsichtlich der zukünftigen Entwicklung der Wasserstände cum grano salis betrachtet werden, zeigt sich, dass der derzeitige „vorherrschende Meeresspiegel die Quelle für einige Überraschung in der *nahen* Zukunft sein kann“ (CAZENAVE & LLOVEL 2010).

Literatur

- BARJENBRUCH U. & J. WILHELMI (2008): Application of radar gauges to measure the water level and the sea state, Textbeitrag zur Konferenz, 31st ICCE, 687–695, Hamburg.
- CAZENAVE, A. & W. LLOVEL (2010): Contemporary sea level rise. *Annu. Rev. Mar. Sci.* 2, 145–173.
- CHURCH, J. A. & N. J. WHITE (2011): Sea-level rise from the late 19th to the early 21st Century. *Surveys in Geophysics*, 32, 585–602.
- DANGENDORF, S., HEIN, H., JENSEN, J., MAI, S., MUDERSBACH, C. & T. WAHL (2012): Mean Sea Level Variability and Influence of the North Atlantic Oscillation on Long-term Trends in the German Bight. *Water, Special Issue: Flood Risk Management*, zur Veröffentlichung eingereicht.
- FÜHRBÖTER, A. & J. JENSEN (1985): Säkularänderungen der mittleren Tidewasserstände in der Deutschen Bucht. *Die Küste*, Heft 42, 1985.

- GREGORY, R. (1930): Weather recurrences and weather cycles. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 56: 103–120. doi: 10.1002/qj.49705623402.
- HEIN, H., WEISS, R., BARJENBRUCH, U. & S. MAI (2010a): Uncertainties of tide gauges & the estimation of regional sea level rise. Textbeitrag zur Konferenz, Hydro 2010, Warnemünde, 2010.
- HEIN, H., MAI, S. & U. BARJENBRUCH (2010b): Simulation of interactions between wind-waves and currents in estuaries with a focus on climate change. Textbeitrag zur Konferenz, 9th Int. Conf. on Hydro Science and Engineering, ICHE, Indien, 2010.
- HEIN, H., MAI, S. & U. BARJENBRUCH (2011a): What tide gauges reveal about the future sea level, Aqua Alta, Hamburg, Textbeitrag zur Konferenz.
- HEIN, H., MAI, S. & U. BARJENBRUCH (2011b): Coastal long term processes, tidal characteristics and climate change, Textbeitrag zur Konferenz, 5th International Short Conference on Applied Coastal Research, Aachen.
- HEIN, H., MAI, S. & U. BARJENBRUCH (2011c): Interaction of Wind-Waves and Currents in the Ems-Dollard Estuary. *International Journal of Ocean and Climate Systems*. Vol. 2, No. 4, December 2011, p. 249–258.
- HEIN, H., MAI, S. & U. BARJENBRUCH (2012): Applicability of coastal-hydrological characteristics to describe the impact of climate change. Textbeitrag zur Konferenz, Water – infinitely deformable but still limited, zur Veröffentlichung eingereicht, München, 2012.
- HEWITT, C. D & D. J. GRIGGS (2004): Ensembles-based Predictions of Climate Changes and their Impacts. *Eos*, 85, p. 566.
- IHO (1994): International Hydrographic Organization Dictionary, S-32, 5th Edition, 3156.
- IPCC (2010): Workshop on Sea Level Rise and Ice Sheet Instabilities. Kuala Lumpur, Malaysia, Workshop Report, 21–24 June 2010.
- JENNING, S., HEIN, H., MAI, S. & H. SCHÜTTRUMPF (2012): Breaks and long term trends of the tidal characteristics in the southern German Bight, zur Veröffentlichung eingereicht, ICCE, International Conference of Coastal Engineering, Santander.
- KERR, R. A. (2000): A North Atlantic climate pace-maker for the centuries. *Science* 288, 1984–1985.
- MAI, S. (2008): Statistics of Waves in the Estuaries of the Rivers Ems and Weser – Measurement vs. Numerical Wave Model. Textbeitrag zur Konferenz, 7th Int. Conf. on Coastal and Port Engineering in Developing Countries COPEDEC, Dubai, United Arab Emirates, 2008.
- MAI, S., WILHELMI, J. & U. BARJENBRUCH (2010): Wave height distributions in shallow waters. Textbeitrag zur Konferenz, 32nd Int. Conf. on Coastal Engineering ICCE, Shanghai, China, 2010.
- MOSER, H. HEIN, H., S. MAI & U. BARJENBRUCH (2011): Decomposition of Sea Level Rise in the Southern North Sea, Poster, IUGG2011, IAPSO, JP 03, Global and regional sea-level change.
- ROHDE, H. (1968): Wasserstandsänderung und Sturmfluthäufigkeit an der Elbmündung. *Die Küste*, Heft 16.
- WAHL, T., JENSEN, J., FRANK, T. & I. D. HAIGH (2011): Improved estimates of mean sea level changes in the German Bight over the last 166 years, *Ocean Dynamics* 2011, 5, 701–715.
- WOODWORTH, P. L., TEFERLE, N., BINGLEY, R., SHENNAN, I. & S. D. WILLIAMS (2009): Trends in UK mean sea level revisited, *Geophys. J. Int.*, 176, 19–30.