



Entwicklung des Meeresspiegels und der Sturmfluten: Ist der anthropogene Klimawandel bereits sichtbar?

Jacobus Hofstede

Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein, Kiel

Abstract

In the middle of the 1970ies the rise in global temperature accelerated. Scientific consensus prevails that this acceleration was human made. For this century, a further strong increase in global temperatures is anticipated. As a consequence, thermal expansion of the upper layers of the oceans and melting of ice sheets will induce an accelerated sea level rise. IPCC (2007) projects an increase in temperature at the end of this century among 1.8 and 4.0 degrees Celsius. As a consequence, a global average sea level rise among 18 and 59 cm is expected.

The question arises, whether the accelerated temperature rise since 1975 is already visible in sea level signals. To answer this question, time series of 17 long-term gauge stations along the North Sea and the Baltic Sea were analysed. The investigation was conducted in the course of a safety check for the master plan coastal defence in Schleswig-Holstein. The results demonstrate that acceleration in sea level rise did not occur (so far). Neither could a casual relationship be established between anthropogenic climate change and the development of storm surges along the westcoast of Schleswig-Holstein. For the future, however, an accelerated sea level rise and changes in storminess should be accounted for.

1 Einführung

Aufmacher wie „Küstenstädte könnten noch in diesem Jahrhundert versinken“, „Deutsche fühlen sich vom Klimawandel bedroht“ oder „Uno-Experten sagen Horror-Klima voraus“ (Spiegel-Online: 24.03.06, 05.12.06, resp. 02.02.07) machen es deutlich, das Thema Klimawandel und seine Konsequenzen hat die deutschen Medien und damit die Öffentlichkeit erreicht. Für Schleswig-Holstein, das Land zwischen den Meeren, sind in diesem Zusammenhang vor allem die künftigen Entwicklungen des Meeresspiegels und der Sturmfluten von besonderer Bedeutung. Zum Schutz der etwa 1.200 km langen Küstenlinie vor Erosionen und der 3.700 km² großen Küstenniederungen vor Überflutungen hat die Landesregierung von Schleswig-Holstein 2001 einen Generalplan für den Küstenschutz (MLR 2001) verabschiedet. Er enthält die Strategie für den Küstenschutz der nächsten Jahrzehnte. Im Rahmen seiner Erstellung wurde Ende der 90er Jahre eine Sicherheitsüberprüfung der 431 km Landesschutzdeiche in Schleswig-Holstein durchgeführt. Im Resultat waren 110 km vordringlich zu verstärken. Etwa 30 % hiervon sind inzwischen fertig gestellt. Bei der Planung der Deichverstärkungen wurde (und wird) auf der Grundlage des dritten IPCC-Berichtes zum künftigen Klima (IPCC 2001) ein Zuschlag für den Meeresspiegelanstieg von 0,5 (Nordsee und Elbe) bzw. 0,3 m (Ostsee) in der Deichbestickhöhe berücksichtigt. Mögliche künftige Änderungen in den Sturmfluthöhen wurden dagegen nicht berücksichtigt, da die diesbezüglichen Vorhersagen zur Zeit der Planerstellung zu stark variierten und wissenschaftlich nicht belastbar waren.

Inzwischen hat das IPCC einen neuen Bericht zum globalen Klimawandel publiziert (IPCC 2007), während die GKSS Geesthacht aktualisierte Vorhersagen zur künftigen Entwicklung der Sturmfluthöhen in der Nordsee und Tideelbe veröffentlicht hat (Woth et al. 2006). In seinem Bericht stellt das IPCC unter anderem fest, dass die globale Temperaturentwicklung der letzten 50 Jahre (Abb. 1) auf menschliche Aktivitäten zurückzuführen ist. Um diesen neuen Erkenntnissen zu den

hydrologischen Belastungen zeitnah Rechnung zu tragen, hat die Landesregierung Schleswig-Holsteins eine Zwischenüberprüfung der Deichsicherheit in ihr Arbeitsprogramm für diese Legislaturperiode aufgenommen.

Im Rahmen dieser Überprüfung wurde auch untersucht, inwieweit der anthropogene Klimawandel bzw. Temperaturanstieg in den Entwicklungen des Meeresspiegels und der Sturmfluten bereits erkennbar ist. Die Ergebnisse werden in diesem Beitrag vorgestellt.

2 Entwicklung der Temperatur

Seit 1856 liegen globale Jahresmittelwerte zur Temperatur vor. In Abb. 1 ist die Entwicklung dargestellt. Klar erkennbar ist ein zyklischer Anstieg der Temperaturen. Perioden mit verstärktem Anstieg wechseln sich mit solchen leichten Temperaturrückganges ab. Besonders deutlich wird dies durch die ebenfalls dargestellten linearen Regressionen. Der anthropogene Anstieg seit Mitte der siebziger Jahre ist somit zwar der Stärkste, jedoch nicht der Erste seit Beginn der Aufzeichnungen. Die (nicht anthropogene) Anstiegsphase zwischen 1907 und 1944 ist zumindest zum Teil auf ansteigende Vulkanaktivitäten zurück zu führen. Würde die zyklische Entwicklung sich fortsetzen, wäre zwischen 2010 und 2015 mit dem nächsten Trendwechsel bzw. mit einem Abschwächen des Anstieges zu rechnen.

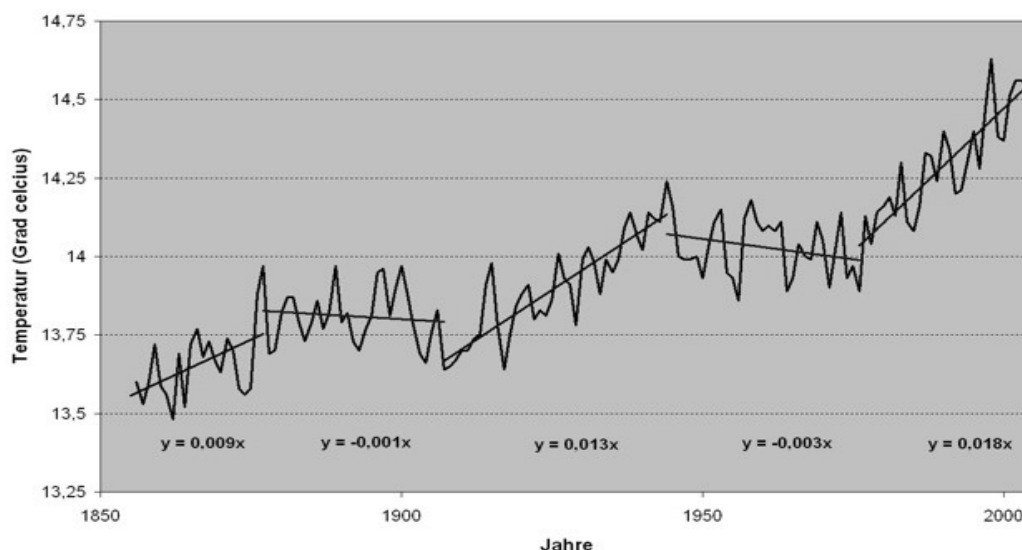


Abb. 1: Entwicklung der globalen Mitteltemperatur seit 1856 mit linearen Regressionen für unterschiedliche Zeiträume

3 Entwicklung des mittleren Meeresspiegels

Der Untersuchung zu Grunde gelegt werden sollte ein möglichst langfristiges und überregionales Bild der Meeresspiegelentwicklung an möglichst vielen Pegeln. Damit wird verhindert, dass lokale und/oder zeitlich befristete Anomalien die Ergebnisse verfälschen. Es wurden die Jahreshauptwerte von insgesamt 18 deutschen und niederländischen Pegeln ermittelt und analysiert (Abb. 2). 13 dieser Pegel registrieren seit mindestens 75 Jahren Wasserstände, 5 Langzeitpegel seit mindestens 150 Jahren. Die Pegelstandorte lassen sich in vier Regionen aufteilen:

1. Ostseeküste Schleswig-Holstein,
2. Westküste Schleswig-Holstein (einschl. Elbe),
3. Wattenmeerküste der Niederlande und
4. Holländische Küste.

Für alle Pegel wurden die jährlichen Mittelwasserstände (Ostsee) bzw. Tidehalbwasserstände (Nordsee) bis 2005 ermittelt und in MS-EXCEL eingegeben. Diese Wasserstandskennwerte kennzeichnen in etwa den mittleren Meeresspiegel. Mit dem Tabellenkalkulationsprogramm wurden die Daten einer Trendanalyse unterzogen.

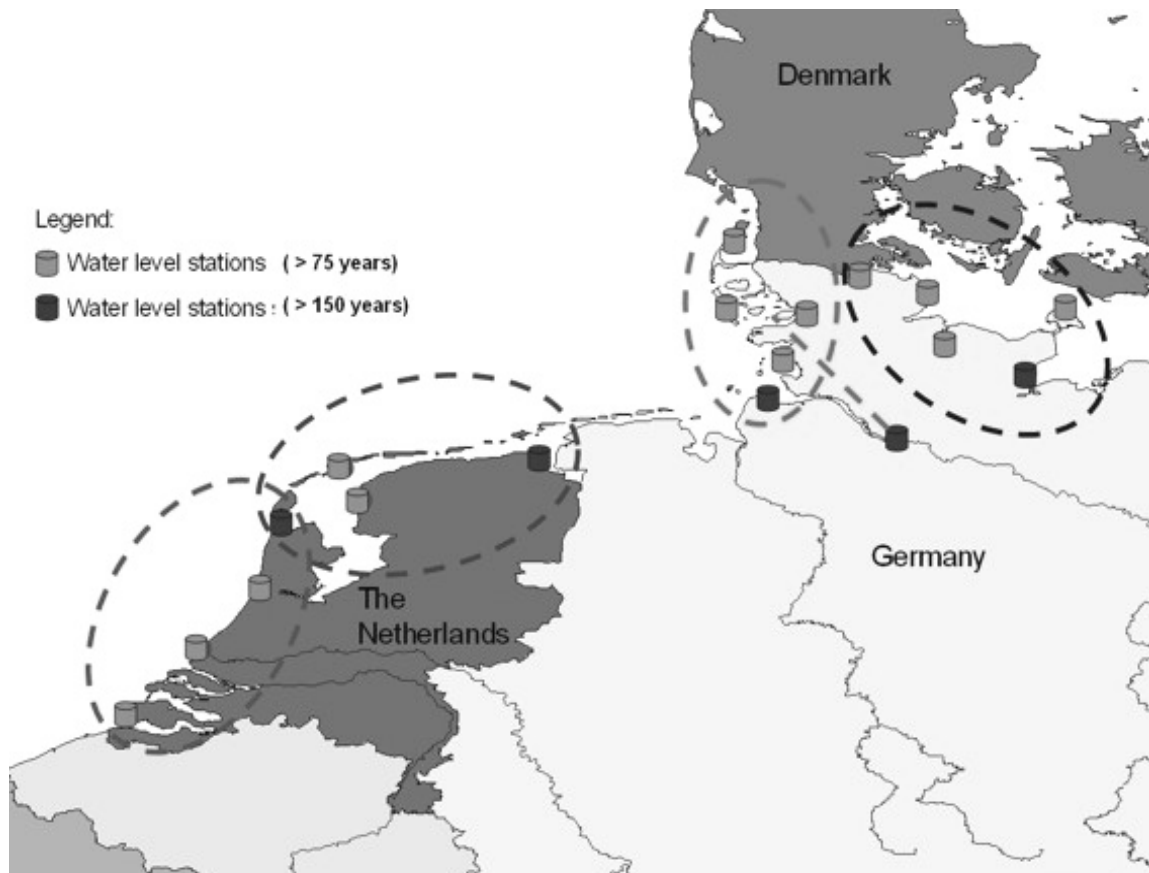


Abb. 2: Übersichtskarte mit den benutzten Langzeitpegeln

Es stellte sich heraus, dass der Langzeitpegel Hamburg St. Pauli eine stark von den übrigen Pegeln abweichende Entwicklung des mittleren Meeresspiegels aufweist. Die negative Entwicklung – es wurde ein linearer Trend von $-0,26 \text{ cm/J}$ ermittelt – hängt kausal mit den künstlichen Eingriffen in der Unterelbe zusammen. Zu nennen sind insbesondere die Elbvertiefungen und die Abdämmungen der Nebenflüsse, die zu überproportionalen Absenkungen der Tideniedrigwasserstände geführt haben. Der Pegel Hamburg St. Pauli wurde daher für die weiteren Untersuchungen nicht berücksichtigt.

Beispielhaft dargestellt in Abb. 3 ist die Meeresspiegelentwicklung für die fünf untersuchten Pegel der Ostküste von Schleswig-Holstein seit 1925. An den Pegeln sind geringfügige Unterschiede in den jährlichen Wasserständen und deren Entwicklungen erkennbar. Perioden mit größeren Unterschieden, zum Beispiel in den 70er Jahren, wechseln sich mit Phasen mit nur geringen Abweichungen wie zu Anfang der 50er Jahre ab. Diese Varianz hängt sicherlich mit lokalen Faktoren, zum Beispiel der Exposition zur vorherrschenden Windrichtung, zusammen. Klar erkennbar ist ein gemeinsamer positiver Trend im mittleren Meeresspiegel.

In Abb. 4 ist die Entwicklung des mittleren Meeresspiegels seit 1900 für die vier untersuchten Regionen (Abb. 2) dargestellt. Hierzu wurde aus den Jahreswerten aller Pegel einer Region der Mittelwert gebildet. Für eine klare graphische Darstellung wurden den Regionen jeweils unterschiedliche Nullhorizonte zugeordnet. Zusätzlich sind die durch die Jahresmittelwerte errechneten linearen Regressionen abgebildet. Mit Ausnahme des schleswig-holsteinischen

Wattenmeeres ($R^2 = 0,37$) zeigen alle Kurven einen signifikanten linearen Trend ($R^2 = 0,63$ bis $0,82$). Der errechnete Trend schwankt zwischen $0,13$ cm/J für die schleswig-holsteinische Ostküste und $0,22$ cm/J für die holländische Küste. Auffällig sind die stark herabgesetzten Mittelwerte der Jahrgänge 1947 und 1996. Diese Jahre wurden durch stabile Hochdrucksysteme über Skandinavien mit vorherrschenden Ostwinden gekennzeichnet. Beides, hoher Luftdruck und Ostwinde, führen zu abgesenkten Wasserständen. Im Winter 1995/1996 war die Ostsee zum letzten Mal großflächig zugefroren.

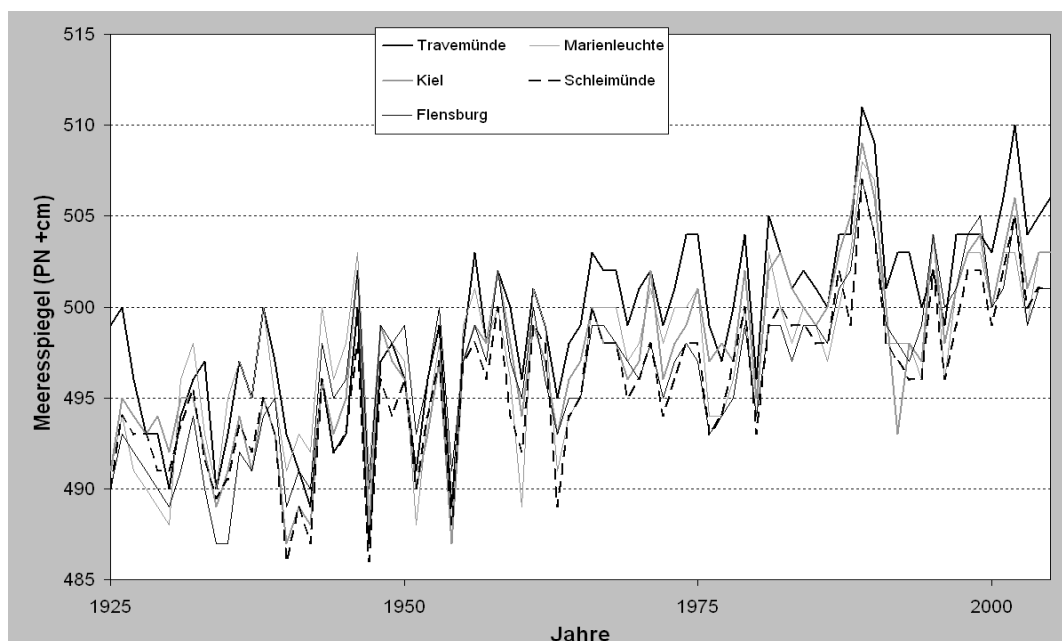


Abb. 3: Entwicklung des mittleren Meeresspiegels seit 1925 an fünf deutschen Ostseepegeln

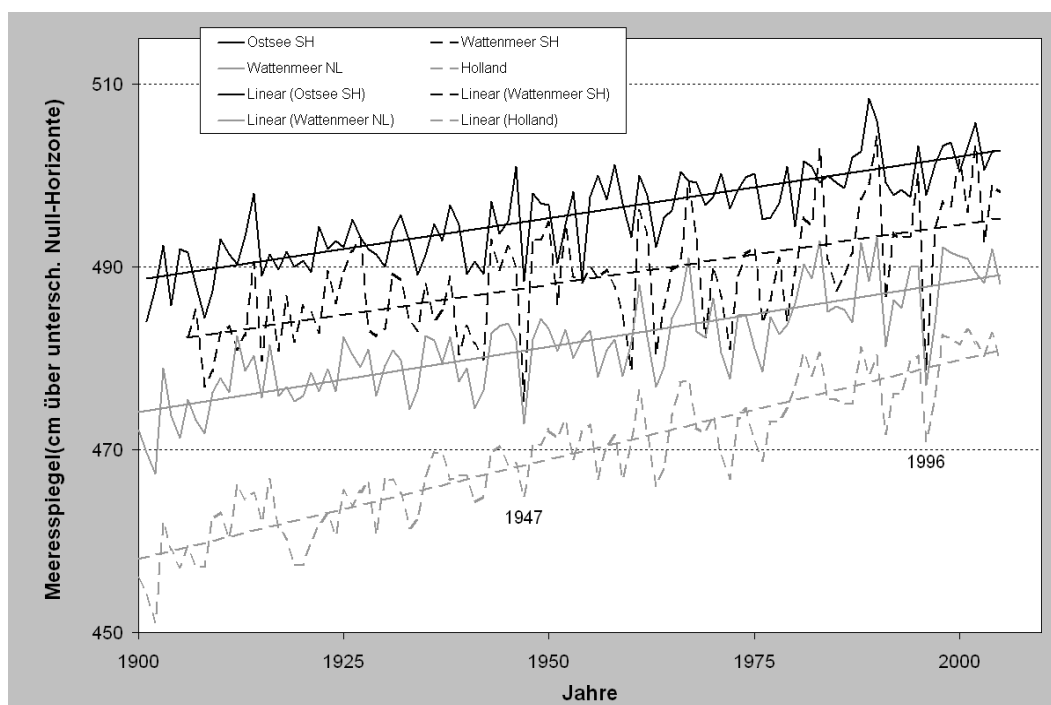


Abb. 4: Entwicklung des mittleren Meeresspiegels seit 1900 in den vier Regionen (Abb. 2) mit den jeweiligen linearen Regressionen

Abb. 5 zeigt die Meeresspiegelentwicklung an den vier Langzeitpegeln Travemünde, Cuxhaven, Delfzijl und Den Helder seit 1850 sowie die über die vier Pegel gemittelte Entwicklung. Auch hier wurden unterschiedliche Nullhorizonte gewählt. Die zusätzlich dargestellte polynomische Funktion durch die Mittelwerte zeigt auf, dass sich der mittlere Meeresspiegel zwischen 1850 und etwa 1885 kaum änderte. Die Aussage, wonach der Meeresspiegel sich seit mehreren Jahrhunderten kontinuierlich anhebt, lässt sich nicht halten (siehe hierzu auch Hofstede 1991). Erst einige Jahrzehnte nach Ende der sog. „Kleinen Eiszeit“ in Europa fing der Meeresspiegel an, erneut zu steigen. Seitdem erhöht er sich an den vier Langzeitpegeln um durchschnittlich 0,17 cm pro Jahr.

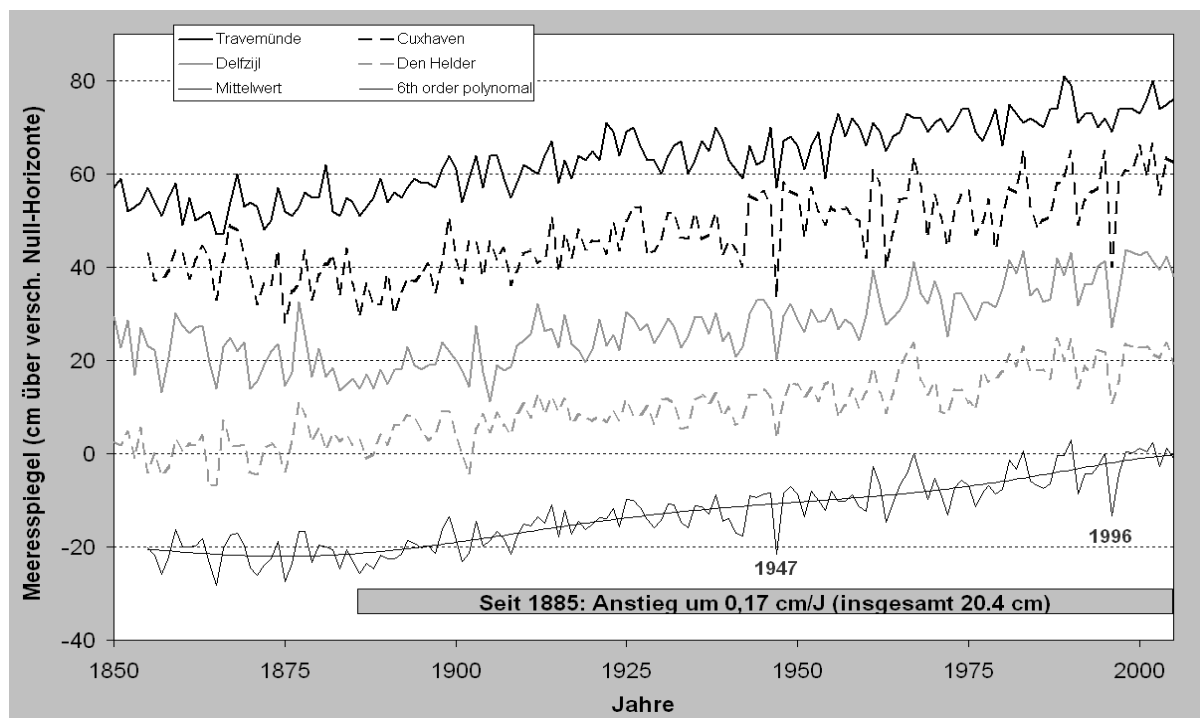


Abb. 5: Entwicklung des mittleren Meeresspiegels seit 1850 an vier Langzeitpegeln sowie deren Mittelwert

4 Entwicklung der Sturmfluten

Entgegen der Meeresspiegelentwicklung zeigen die Sturmfluten eine regional stark unterschiedliche Entwicklung. Während der Meeresspiegel in erster Linie durch den globalen Temperaturanstieg gesteuert wird, wird die Entwicklung der Sturmfluten von vielen regional unterschiedlich wirksamen Faktoren geprägt. Im Hinblick auf die Aufgabenstellung (Zwischenüberprüfung der Deichsicherheit in Schleswig-Holstein) wurden daher nur Pegel aus Schleswig-Holstein analysiert.

Die jährliche Verweildauer von Sturmwasserständen an einer Pegelstation stellt einen guten Indikator für die lokale Sturmflutintensität dar. In Abb. 6 ist die jährliche Verweildauer von Sturmwasserständen (höher als 2 m über Normal Null) am Pegel List auf Sylt seit 1900 dargestellt. Auffällig sind die großen Schwankungen in den Jahreswerten, die mit den auslösenden meteorologischen Prozessen zusammenhängen. Trotz dieser jährlichen Schwankungen zeigt die eingezeichnete polynomische Annäherungsfunktion auf, dass die Sturmflutintensität an der Westküste von Schleswig-Holstein von etwa 1910/20 bis um 1990 zunahm. Danach deutet sich eine Beruhigungsphase an, die allerdings im Hinblick auf eine statistische Signifikanz noch zu kurz ist. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass nicht für den säkularen Meeresspiegelanstieg korrigiert wurde. Eine solche Korrektur würde zu leicht verringerten Anstiegstendenzen führen.

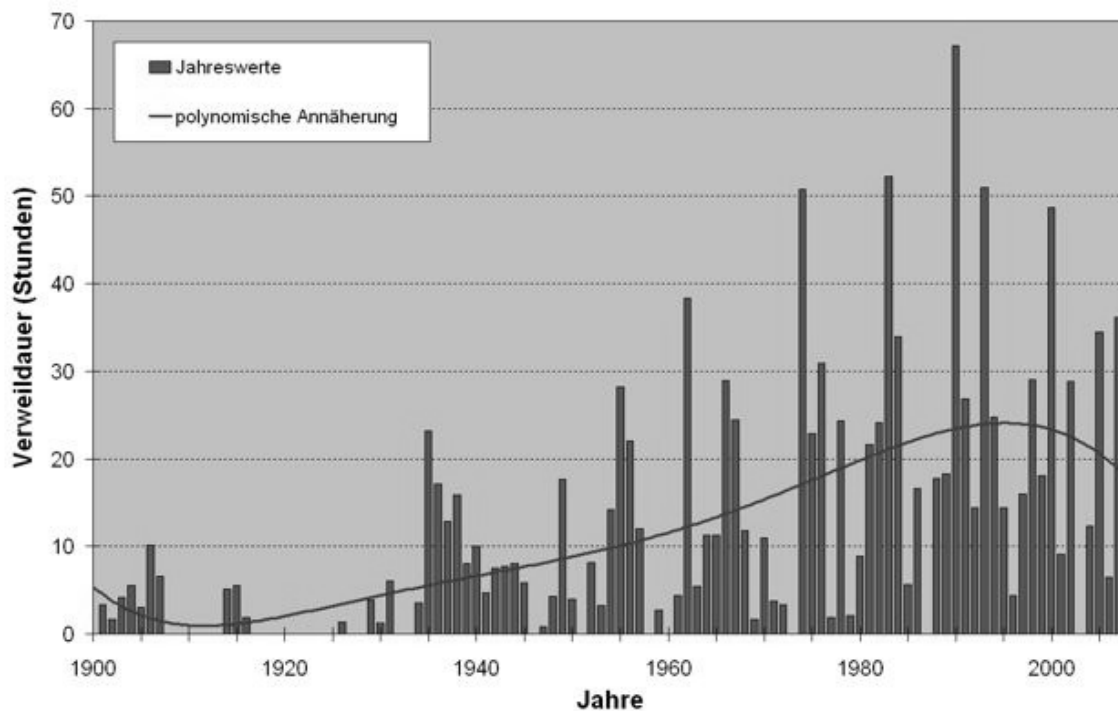


Abb. 6: Entwicklung der jährlichen Verweildauer von Sturmwasserständen (> NN + 2 m) am Pegel List seit 1900

Eine begrenzt ähnliche Entwicklung zeigen die in Abb. 7 dargestellten Jahreshöchstwasserstände am Pegel Husum seit 1868 – als weiterer Indikator für die Sturmflutintensität – auf.

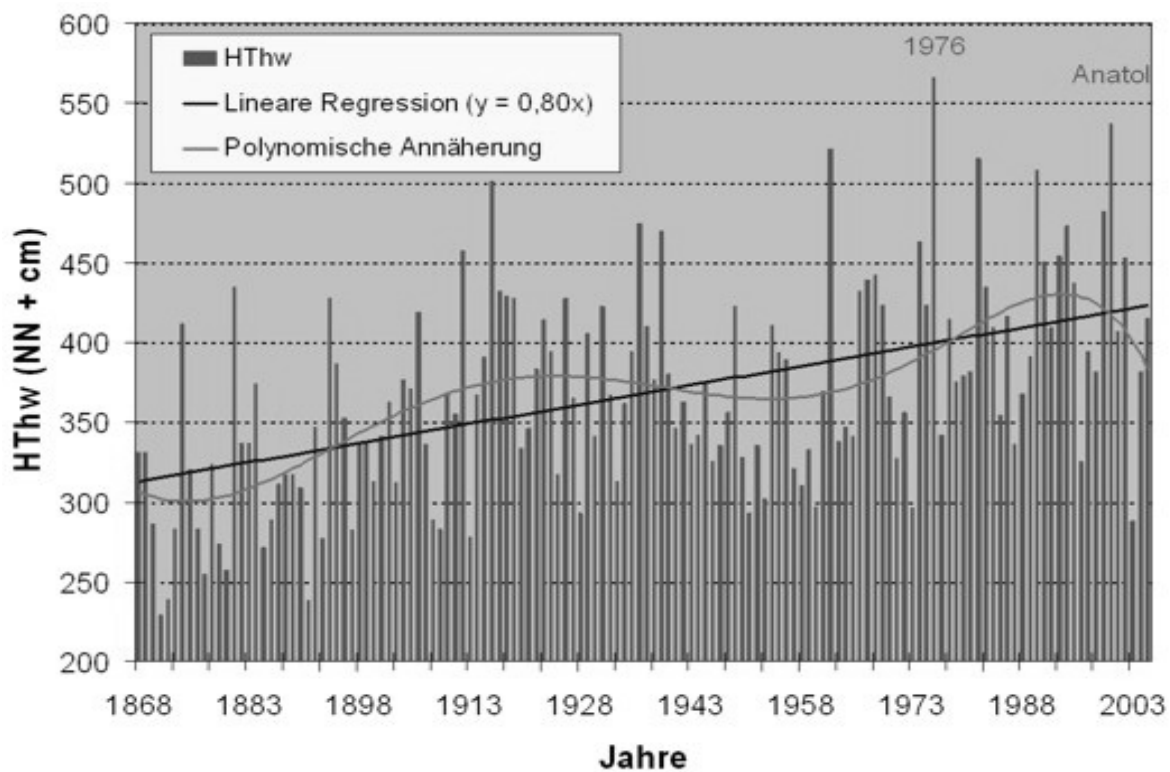


Abb. 7: Entwicklung der Jahreshöchstwasserstände am Pegel Husum seit 1868

Wie aus dieser Abbildung hervorgeht, unterliegen die Jahreshöchstwasserstände in Husum seit Anfang der Aufzeichnungen im Jahre 1868 einem stark ansteigenden Trend. Um die Entwicklung der Sturmflutintensität nachzuzeigen, müsste dieser Trend um den säkularen Meeresspiegelanstieg reduziert werden. Dem mit der linearen Regression dargestellten Trend aufgesetzt ist eine durch die polynomische Annäherungsfunktion angedeutete zyklische Entwicklung mit einem letzten Maximum um 1990. Auch dieser Indikator weist also ab Anfang der neunziger Jahre auf eine Beruhigung der Sturmflutintensität an der Westküste von Schleswig-Holstein hin.

Naturgemäß nicht vergleichbar mit der Entwicklung an der Westküste ist die Entwicklung der Jahreshöchstwasserstände an der Ostküste von Schleswig-Holstein, wie beispielhaft in Abb. 8 für Pegel Travemünde seit 1826 dargestellt. Hier wird das Signal vom singulären Hochwasserereignis im Jahre 1872 dominiert. Der generelle leichte Anstieg in den Jahreswerten erklärt sich mit dem säkularen Meeresspiegelanstieg seit etwa 1885 (Abb. 5). Insgesamt ist über den gesamten Zeitraum kein signifikanter Trend erkennbar.

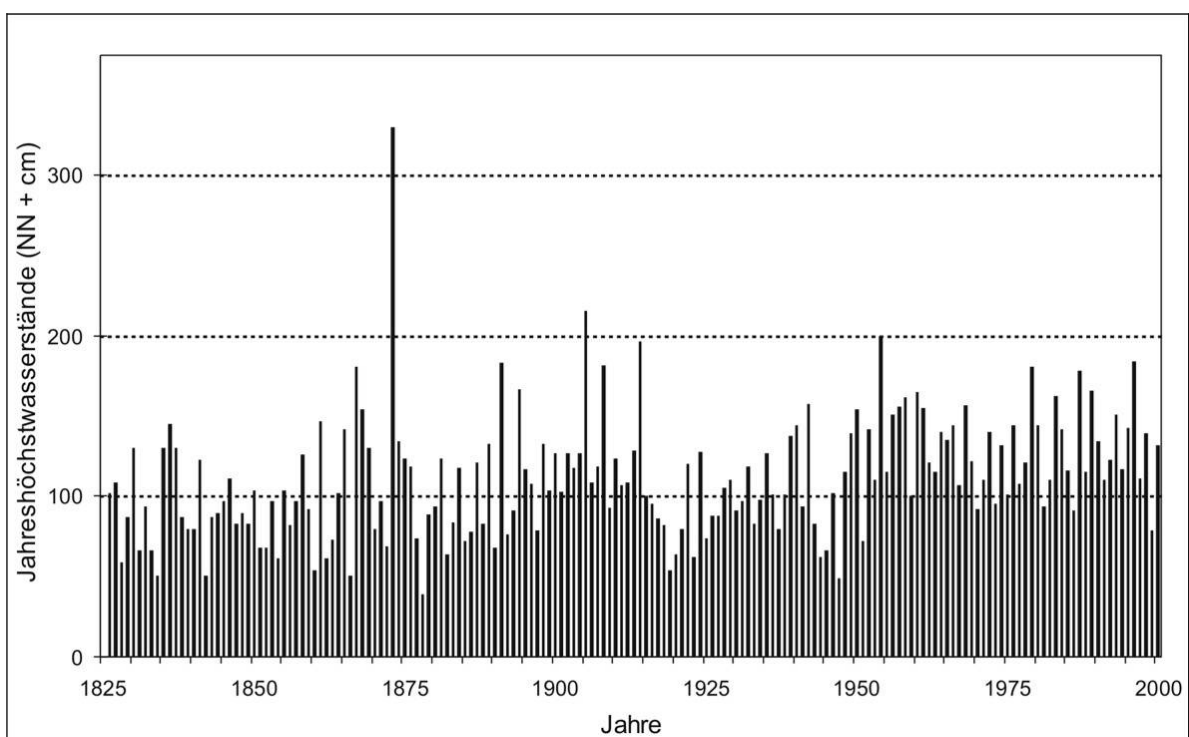


Abb. 8: Entwicklung der Jahreshöchstwasserstände am Pegel Travemünde seit 1826

5 Diskussion

Seit etwa 1885 unterliegt der Meeresspiegel an den untersuchten Pegeln einem linearen Trend. Aus den Abb. 4 und 5 geht klar hervor, dass sich dieser Trend in den letzten Jahrzehnten bzw. Jahren nicht geändert hat. Es ist somit (noch) keine Reaktion im Meeresspiegelsignal auf den seit Mitte der siebziger Jahre beobachteten anthropogenen Temperaturanstieg (Abb. 1) erkennbar. In dieser Hinsicht ist es interessant, dass auch der zyklische Temperaturanstieg zwischen etwa 1907 und 1944 nicht zu einem Trendwechsel im Meeresspiegelsignal geführt hat. Es gibt scheinbar Rückkoppelungsmechanismen die dazu führen, dass der zyklische Temperaturanstieg sich in einem linearen Meeresspiegelanstieg bemerkbar macht.

Rahmstorf et al. (2007) hat nach Auswertung von Satelliten- und Pegelmessungen des globalen Meeresspiegels auf eine deutliche Beschleunigung der Anstiegsraten seit 1993 hingewiesen. Er sieht dies als Hinweis dafür, dass die oberen Vorhersagewerte des IPCC (2007) mit 60 cm bis 2100 eher

noch als zu niedrig eingestuft werden müssen. Allerdings weist er darauf hin, dass die Stichprobe von 13 Jahren (1993 – 2005) eigentlich für Extrapolationen über längere Zeiträume (ein Jahrhundert) zu kurz ist.

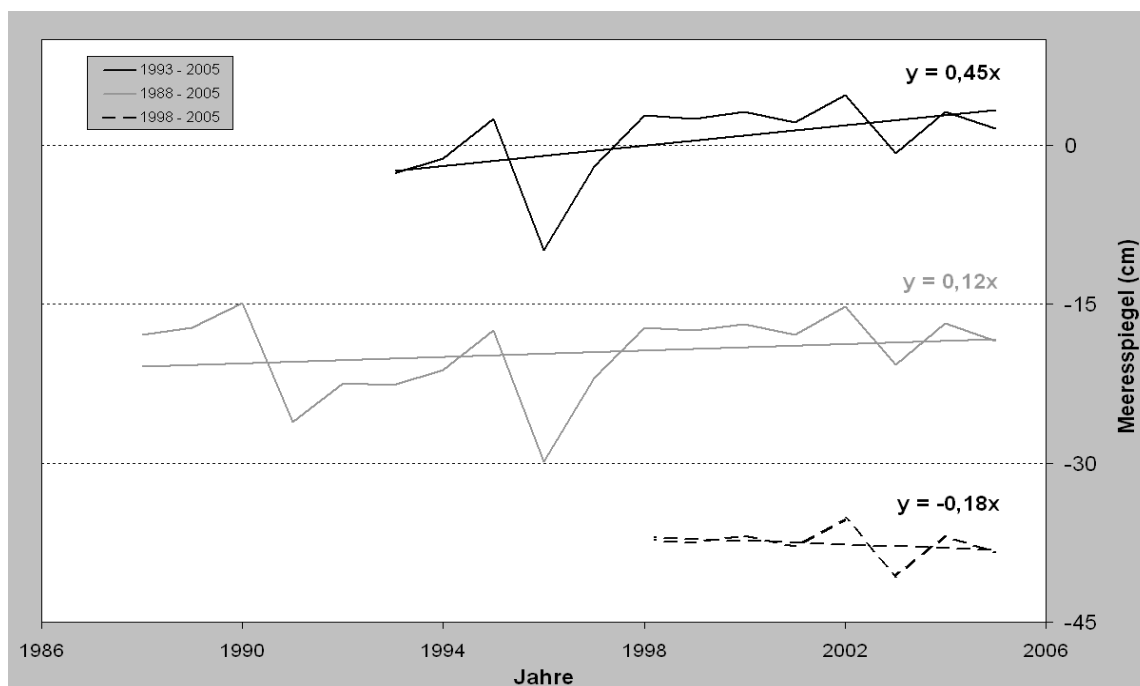


Abb. 9: Mittlere Meeresspiegelentwicklung (17 Pegel aus Abb. 2) für unterschiedliche Zeiträume

Die Abb. 9 mag dies verdeutlichen. Dargestellt ist die über den 17 Pegeln gemittelte Entwicklung des mittleren Meeresspiegels für drei Zeiträume: 1993 bis 2005, 1988 bis 2005, und 1998 bis 2005. Demnach stieg der Meeresspiegel für den Zeitraum 1993 bis 2005 im Schnitt um 0,45 cm pro Jahr an. Allerdings verringert sich der mittlere Anstiegswert auf nur noch 0,12 cm pro Jahr, wenn die 18-jährige Stichprobe (1988 – 2005) zugrunde gelegt wird. Nimmt man den kürzesten Zeitraum, erhält man sogar einen negativen Trend von -0,18 cm pro Jahr. Dies zeigt die übergeordnete Bedeutung von möglichst langen Zeitreihen für statistische Analysen und Prognosen auf.

Der Korrelationskoeffizient zwischen Temperatur- und Meeresspiegelanstieg seit 1855 (Abb. 2 und 5) beträgt 0,81 und ist somit relevant. Beide Parameter unterliegen einem ansteigenden Trend. Während die Temperatur jedoch eher zyklisch ansteigt, verläuft die Meeresspiegelentwicklung an den untersuchten Pegeln bis heute linear. Wie für den Zeitraum 1907 – 1944 (siehe oben) hat sich der anthropogene Faktor im Klimasignal (1955 bis heute gemäß IPCC 2007) noch nicht im hydrologischen Signal bemerkbar gemacht. Möglicherweise hängt dies mit der Trägheit der Ozeane und Landeiskappen zusammen, weshalb sich der anthropogene Teil des Temperaturanstieges erst mit großer Verzögerung im Meeresspiegelsignal zeigt. Entsprechend setzte der moderne Meeresspiegelanstieg um 1885 erst einige Jahrzehnte nach Ende der sog. Kleinen Eiszeit ein.

Eine Gegenüberstellung der Temperatur- und Sturmflutentwicklung an den deutschen Küsten macht klar, dass es bisher keinen direkten Zusammenhang zwischen beiden Parametern gibt. An keinem der untersuchten Pegel (Abb. 6 bis 8) konnte ein Trendwechsel zu Anfang der anthropogenen Beeinflussung um die Mitte der fünfziger Jahre festgestellt werden. Die in den Medien (und von manchen Wissenschaftlern) nach jeder schweren Sturmflut gerne suggerierte Korrelation zwischen anthropogenem Klimawandel und Zunahme der Sturmfluten ist somit in den Daten bisher nicht nachweisbar bzw. wird durch diese widerlegt. In diesem Zusammenhang sei darauf hinzuweisen, dass der Meeresspiegelanstieg automatisch zu höheren Sturmfluten führt, da deren Ausgangshöhe zunimmt.

Schlussbemerkungen

Für die Zukunft steht fest, dass sich der anthropogene Klimawandel auch in den Entwicklungen des Meeresspiegels und der Sturmfluten erkennbar machen wird. Wie in der Einführung erwähnt, haben Woth et al. (2006) anhand von Modellstudien Aussagen zu künftig möglichen Sturmfluthöhen an den Küsten der Nordsee für verschiedene Szenarien des menschlichen Handelns gemacht. Demnach könnten die Sturmfluten an der deutschen Nordseeküste gegen Ende dieses Jahrhunderts 20 bis 40 cm höher auflaufen als heute. Die höchsten Werte wurden entlang der Westküste von Schleswig-Holstein errechnet. Für die deutsche Ostseeküste liegen leider noch keine vergleichbaren Studien vor. Das IPCC (2007) rechnet für dieses Jahrhundert mit einem global gemittelten Meeresspiegelanstieg zwischen 18 und 59 cm. Unsicherheitsfaktoren sind die Eiskappen auf Grönland und in der Antarktis. Würde die Eiskappe Grönlands schneller schmelzen als bisher vermutet, könnte der globale mittlere Meeresspiegel in diesem Jahrhundert um bis zu 20 cm zusätzlich ansteigen. Vermehrter Schneefall über der Antarktis kann zu einer Reduzierung des globalen Meeresspiegelanstieges führen. Einen Wert für diesen Faktor gibt das IPCC nicht. Des Weiteren können Faktoren wie geänderte Meeresströmungen zu regionalen Abweichungen von den globalen Mittelwerten führen. Schließlich muss in Schleswig-Holstein noch mit Landsenkungen in der Größenordnung von 0 bis maximal 10 cm pro Jahrhundert gerechnet werden.

Hinsichtlich des Küstenschutzes ist die Situation ernst und sollte nicht unterbewertet werden. Die Küsten und Küstenschutzanlagen werden künftig erhöhten Belastungen ausgesetzt sein. Auf der Basis der neuesten IPCC-Werte ist eine Anpassung der heutigen Strategie für den Küstenhochwasserschutz in Schleswig-Holstein jedoch nicht erforderlich. Der im Generalplan Küstenschutz festgelegte „Klimazuschlag“ von 50 cm (Nordsee und Elbe) bzw. 30 cm (Ostsee) bei der Bemessung der Deichverstärkungen an der Nordsee und in der Elbe bestätigt sich nunmehr als vorausschauende Maßnahme. Die vorgesehenen regelmäßigen Sicherheitsüberprüfungen auf Basis neuester Erkenntnisse und mit modernsten Verfahren gewährleisten darüber hinaus ein zeitnahes und flexibles Reagieren auf künftige Entwicklungen. Es ist somit möglich, den Schutz der Küsten auch langfristig auf dem heutigen Niveau zu gewährleisten. Wir müssen uns aber mittelfristig auf zunehmende Anstrengungen einstellen. Für die Küstensicherung (Schutz vor Landabbruch) ist eine differenzierte Betrachtung nötig, da der Abbruch insbesondere von der jährlichen Meeresspiegelanstiegsrate sowie einer möglichen Änderung der Sturmflutintensität (Häufigkeit und Stärke) abhängt. Grundsätzlich nimmt der Küstenabbruch mit erhöhten Anstiegsraten zu. Ab wann der Meeresspiegel verstärkt ansteigen wird, kann nicht vorhergesagt werden – derzeit ist keine Beschleunigung feststellbar. Es ist jedoch zu bedenken, dass eine Meeresspiegelanstiegsrate von 0,3 bzw. 0,5 cm pro Jahr bereits eine Verdoppelung bzw. Verdreifachung der heutigen Rate darstellt. In der Konsequenz muss spätestens in einigen Jahrzehnten mit verstärktem Küstenabbruch gerechnet werden – dann auch an Stellen, die heute stabil sind. Hinsichtlich dieser Herausforderung ist es wichtig, rechtzeitig Überlegungen über mögliche Anpassungsstrategien anzustellen. Hinsichtlich des flächenhaften Küstenschutzes (Sicherung der Stabilität des Wattenmeeres) wird schließlich auf die Ergebnisse einer trilateralen Expertengruppe hingewiesen (CPSL 2001), wonach ein Meeresspiegelanstieg von bis zu 0,5 cm pro Jahr mittels Sedimentumlagerungen noch ausgeglichen werden kann. Durch Erosionen in den tieferen Rinnen und an der Außenküste würde ausreichend Material zur Verfügung stehen, um die Wattflächen zu erhöhen. Erst bei noch stärkeren Meeresspiegelanstiegsraten würden die Wattflächen signifikant abnehmen bzw. würde eine Entwicklung in Richtung Küstenlagunen einsetzen. Die Folge wären verstärkte Wellenangriffe an den Landesschutzdeichen. In Anbetracht dieses Fazits behält die Schlussbemerkung des Generalplanes Küstenschutz (MLR 2001): „Der Küstenschutz wird somit niemals enden“, nach wie vor seine Gültigkeit.

Literatur

- CPSL (2001): Final report of the trilateral working group on coastal protection and sea level rise. Wadden Sea Ecosystem, 13, 63 p.
- Hofstede, J.L.A. (1991): Sea level rise in the Inner German Bight (Germany) since AD 600 and its implications upon tidal flats geomorphology. In: Brückner H. & U. Radke (eds.): From the North Sea to the Indian Ocean. Franz Steiner Verlag, Stuttgart, pp. 11-27.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2001): Climate Change 2001, the scientific basis - summary for policy makers. <http://www.ipcc.ch>, 18 p.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2007): Climate Change 2007, the physical science basis - summary for policy makers. <http://www.ipcc.ch>, 21 p.
- MLR (Ministerium für ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein, Hrsg.) (2001): Generalplan Küstenschutz – integriertes Küstenschutzmanagement in Schleswig-Holstein. Landesregierung Schleswig-Holstein, Kiel: 76 S.
- Rahmstorf, S., A. Cazenave, J.A. Church, J.E. Hansen, R.F. Keeling, D.E. Parker & R.C.J. Somerville (2007): Recent climate observations compared to projections. *Science* 316, 709.
- Woth, K., R. Weisse & H. von Storch (2006): Climate change and North Sea storm surge extremes: an ensemble study of storm surge extremes expected in a changed climate projected by four different regional climate models. *Ocean Dynamics* 56, 3-15.

Adresse

Dr. Jacobus Hofstede
Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein
Postfach 50 09
24062 Kiel

jacobus.hofstede@mlur.landsh.de