

Jürgen JENSEN, Siegen
Christoph MUDERSBACH, Siegen

Zeitliche Änderungen in den Wasserstandszeitreihen an den Deutschen Küsten

Summary

Topic of this study is a statistical investigation of long-term time series of regular observations of water levels – Mean Tidal Low Water (MLW), Mean Tidal High Water (MHW), Mean Tidal Range (MTR) and Mean Water Levels (MW) – of 12 tidal gauges in the German North Sea (MLW, MHW, MTR and MW) and 4 gauges at the German Baltic (MW) since the beginning until 2001. Additionally to the analyses of the mean annual water levels of the gauging stations along the German North Sea and Baltic coastlines standardized mean time series of the Islands and Coastlines in the North Sea and one standardized time series of the Baltic were calculated. For these time series several adaptation functions were examined so that a forecast until 2020 could be estimated. In between 1955 and 1960 significant changes in the standardized mean time series can be observed. From this time on an increase of the MHW and a smaller decrease or stagnation of MLW can be stated. This resulted in an extraordinary increase of MTR at the coastline of almost 10% since 1955. MW shows a relative constant increase at German North Sea coastlines, which is confirmed in the Baltic. The observed changes are not only influenced by local anthropogenic measures along the coastlines, but also by variations of the global mean sea level or world wide climatic changes.

1 Einleitung

Die ersten Ergebnisse und Präsentationen zur Wasserstandsentwicklung an der deutschen Nordseeküste auf der Basis von Zeitreihen bis zum Jahr 1983 von FÜHRBÖTER und JENSEN im Jahr 1984 mit Säkularrends der mittleren Tidehochwasser (MThw) von 25 bis 64 cm/100 Jahre wurden von der Fachwelt äußerst kontrovers diskutiert und stießen damals überwiegend auf Ablehnung (JENSEN 1984; FÜHRBÖTER u. JENSEN 1985). Heute sind Säkularrends in einer Größenordnung von 50 cm/100 Jahre für das MThw an der deutschen Nordseeküste weitestgehend akzeptiert und in entsprechenden Regelwerken für Aufgaben im Küsteningenieurwesen berücksichtigt (s.a. IPCC 2001; JENSEN u. FRANK 2003). Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Aktualisierung der Untersuchungen zur Wasserstandsentwicklung an

den deutschen Küsten bis zum Jahr 2005 auf der Grundlage langfristiger Pegelaufzeichnungen. Diese sog. eustatischen Veränderungen des globalen Meeresspiegels sind dabei von Veränderungen der Trennlinie Meer-Land zu unterscheiden, die durch tektonische Bewegungen aus geologischen Prozessen entstehen. Die tektonischen Effekte sind allerdings an der deutschen Nord- und Ostseeküste von untergeordneter Bedeutung.

Die eustatischen Änderungen des Meeresspiegels (sog. säkulare Änderungen) sind Folgen von globalen Klimaänderungen, die im Wesentlichen noch Folgeerscheinungen der letzten Eiszeit sind. Besondere Bedeutung hat dabei die aktuelle Diskussion, in welchem Maße diese natürlichen Entwicklungen bereits von anthropogenen Einflüssen (Treibhauseffekt) überlagert werden. Die Schwankungen der Meeresspiegellagen sind dabei nicht über die jeweilige Beobachtungslänge stationär; diese zeitlichen Veränderungen der mittleren Tidewasserstände MTnw, MThw und des mittleren Tidehubes MThb in der Nordsee und der mittleren Wasserstände MW in der Ostsee sind Gegenstand der vorliegenden Untersuchungen.

Nachdem die Relativbewegung zwischen Land- und Wasserniveau von SCHÜTTE (1908) richtig erkannt, aber als neuzeitliche Senkungerscheinung interpretiert wurde (s.a. RIETSCHEL 1933), wurde von LÜDERS (1936) erstmalig ein Anstieg der Wasserspiegellage der Nordsee festgestellt. Der eustatische bzw. säkulare Meeresspiegelanstieg wurde für den Bereich der Nordsee bzw. an einzelnen Pegeln u. a. von GAYE (1951), HUNDT (1955), ROHDE (1968) und LIESE (1979) behandelt. In JENSEN (1984) und FÜHRBÖTER und JENSEN (1985) findet sich eine Auswertung der Arbeiten zur Wasserstandsentwicklung an der deutschen Nordseeküste sowie zu weltweiten Wasserstandsänderungen; weiterhin sind hier auch die Anforderungen an die Datensätze und die methodischen Ansätze (s.a. JENSEN 1985; JENSEN et al. 1992; JENSEN u. MUDERSBACH 2002) aufgeführt. Eine aktualisierte Darstellung zum langfristigen Verlauf des Meeresspiegels in der südlichen Nordsee und der rekonstruierten Küstenlinien findet sich in BEHRE (2003).

In JENSEN (1998) und JENSEN u. MUDERSBACH (2004) sind entsprechende Untersuchungen für die deutsche Ostseeküste dargestellt. Weitere aktuelle Untersuchungen zum Mean Sea Level (MSL) finden sich in IPCC (2001) und HUPFER et al. (2003).

2 Pegeldaten

Für die Auswertung der mittleren Tidewasserstände sind nur solche Pegel geeignet,

- die ausreichend lange Zeitreihen aufweisen,
- die qualitativ hochwertige Daten in den einzelnen Zeitreihen aufweisen und
- von denen angenommen werden kann, dass an den Pegelorten die Wasserstände nicht wesentlich durch Baumaßnahmen (Baggerungen, Eindämmungen usw.) oder durch das Oberwasser (bei Tideästuarien) gestört wurden.

Nach diesen Gesichtspunkten wurden 12 Pegel an der deutschen Nordseeküste ausgesucht, von denen sechs auf Inseln gelegen sind (Borkum, Norderney, Wittdün, Helgoland, Leuchtturm „Alte Weser“ und List auf Sylt), vier an den Mündungen großer Tideflüsse (Emden, Wilhelmshaven, Bremerhaven und Cuxhaven) und zwei an kleinen Hafentorten an der Festlandküste (Husum und Dagebüll). An der deutschen Ostseeküste wurden nach den entsprechenden Kriterien an der Festlandküste

die Pegel Travemünde, Wismar und Warnemünde sowie auf der Insel Rügen der Pegel Sassnitz ausgewählt. In Abb. 1 ist die Lage der Pegel dargestellt.



Abb. 1: Lage der verwendeten Pegel an der deutschen Nord- und Ostseeküste

Von diesen Pegeln wurden die Zeitreihen des jeweiligen hydrologischen Jahres (vom 1. November des Vorjahres bis zum 31. Oktober) des MTnw und MThw, des mittleren Tidehubes und des berechneten mittleren Tidemittelwassers an der Nordseeküste verwendet. An der Ostseeküste wurden die Zeitreihen der mittleren Wasserstände (MW) auf der Grundlage der 12:00 Uhr Messungen, ebenfalls jeweils für das hydrologische Jahr, herangezogen.

Die Tidewasserstände an der Nordseeküste sind auf NN bezogen. Die Höhenlage der Pegelnullpunkte (PN) der Ostseepiegel ist im Bezugssystem Höhen-Null (HN) festgelegt und beträgt $PN = HN - 514$ cm. Bei der Umrechnung der Pegeldata in das Normal-Null-System (NN) müssen örtliche Systemdifferenzen zwischen dem Höhen-Null- und Normal-Null-System berücksichtigt werden (STIGGE 1989).

3 Datenaufbereitung und Auswerteverfahren

In den beobachteten Wasserstandszeitreihen der einzelnen Pegel sind z.T. Einflüsse aus lokalen Besonderheiten und Diskontinuitäten zu berücksichtigen, die durch Baumaßnahmen oder Maßnahmen wie Umsetzen des Pegels, Umstellung von Latten- auf Schreibpegel oder durch Neueinmessungen der Nullpunkte des Pegels hervorgerufen werden. Solche Änderungen können auch allmählich erfolgen, z.B. durch Setzungen. Hier bietet aber die synoptische Betrachtung von 12 Pegeln in der Nordsee bzw. vier voneinander unabhängigen Pegeln in der Ostsee die wertvolle Möglichkeit, solche Störungen an bestimmten Pegeln aus den Vergleichen erkennen

zu können. In den folgenden Auswertungen werden daher die einzelnen Pegelzeitreihen in mittlere normierte Zeitreihen zusammengefasst und mit verschiedenen Funktionen beschrieben

3.1 Berechnung des mittleren Tidemittelwassers (MTmw)

Das Tidemittelwasser ist definiert als der Wasserstand der waagerechten Schwerelinie einer Tidekurve. Für das MTmw sind international die Begriffe Mean Water Level (MWL) oder Mean Sea Level (MSL) gebräuchlich. Die MTmw bzw. MSL-Zeitreihen an der Nordsee liegen nicht vor und müssen zunächst berechnet werden. Das MTmw kann mit Hilfe des ortsgebundenen k-Wertes, der die Abweichung des MTmw zum Tidehalbwasser angibt, abgeschätzt werden. Der k-Wert wird berechnet, indem für einen Pegel die einzelnen Tmw durch einen Flächenausgleich zwischen zwei benachbarten Tnw und einem dazwischen liegenden Thw bestimmt werden (LASSEN 1995).

Die MTmw-Zeitreihen der Nordseepegel ergeben sich danach zu: $MTmw = MThw - k \cdot MThb$

Für die vorliegende Untersuchung wurde jeweils aus den einzelnen k-Werten ein arithmetischer mittlerer k-Wert für die Küstenpegel und die Inselpegel gebildet. Diese Mittelung ist hinreichend genau, da die einzelnen k-Werte nur geringfügig voneinander abweichen. Die zu Grunde gelegten k-Werte basieren auf Untersuchungen von Zeitreihen bis etwa 1985, jedoch ist die Annahme eines konstanten k-Wertes bis zum Jahr 2005 auf Grund der geringen zu erwartenden Änderungen ausreichend. Die MTmw-Zeitreihen weisen im Vergleich zu den MThw- und MTnw-Zeitreihen eine geringere Genauigkeit auf. Der k-Wert eines Pegels ist allerdings nicht zeitunabhängig; für die vorliegenden Untersuchungen beträgt der k-Wert der Inselpegel 0,47 und der der Küstenpegel 0,46.

3.2 Berechnung der normierten mittleren Pegel

Für die Analysen werden die einzelnen Pegel zu Gruppen zusammengefasst und für jede Gruppe ein mittlerer Pegel ermittelt. Die normierte mittlere Pegelzeitreihe ergibt sich aus dem arithmetischen Mittel der auf den jeweiligen Mittelwert der Zeitreihe normierten Werte (s.a. FÜHRBÖTER 1986).

Formel (z.B. MThw):

$$MThw_i(norm.) = \frac{\sum_{j=1}^n MThw_{ij} - MMThw_j}{n}$$

mit:

i = Jahre

n = Anzahl der Pegel

Mit diesem Verfahren werden für die Nordsee 2 normierte (synthetische) mittlere Pegel erzeugt:

- normierter Inselpegel Nordsee, engl. Mean Gauge Island (jeweils MThw, MTnw, MThb, MTmw)
- normierter Küstenpegel Nordsee, engl. Mean Gauge Coastline (jeweils MThw, MTnw, MThb, MTmw)

3.3 *Smoothing*

Für die normierten Zeitreihen wird zunächst ein gleitender Durchschnitt gebildet, der die vorhandene Zeitreihe glättet; dadurch sind zeitliche Entwicklungen der Zeitreihe leichter zu erkennen. Bei der Berechnung eines gleitenden Durchschnitts wird jeder Datenpunkt durch das arithmetische Mittel der benachbarten Datenpunkte innerhalb eines gewählten Zeitfensters ersetzt. Zur Berücksichtigung der Nodaltide ($T = 18,61$ Jahre) wurde hier für das Zeitfenster eine Länge von 19 Jahren gewählt; damit ist $N = 9$. Dieses Verfahren ist gleichwertig zur Anwendung eines Tiefpassfilters.

3.4 *Linearer Trend*

Zur Beschreibung eines säkularen Meeresspiegelanstieges wird in der Regel eine lineare Ausgleichsfunktion an die Zeitreihe angepasst. Der säkulare Trend beschreibt die mittlere Steigung der linearen Anpassungsfunktion, bezogen auf eine Zeitspanne von 100 Jahren. Der Vorteil einer linearen Funktion liegt in der einfachen Form der Ausgleichsgeraden, jedoch lassen sich Zeitabschnitte innerhalb einer Zeitreihe mit unterschiedlich starkem Anstiegs- oder Senkungsverhalten nicht gut beschreiben. Zu diesem Zweck kann die Zeitreihe in verschiedene Teilabschnitte unterteilt werden, für die jeweils eine Ausgleichsfunktion bestimmt wird. Die Entscheidung, welche Zeitreihenabschnitte untersucht werden, ist eine subjektive Entscheidung des Bearbeiters, die sich im Wesentlichen auf zwei Merkmale stützt. Zum einen wird eine visuelle Überprüfung der Zeitreihe vorgenommen, bei der markante Punkte gesucht werden, an denen sich das Steigungsverhalten ändert. Dazu ist das zuvor berechnete gleitende Mittel eine nützliche Hilfestellung. Zum anderen ist darauf zu achten, dass eine Zeitspanne betrachtet wird, die ein Vielfaches der Periode der astronomischen Nodaltide ($T = 18,61$ Jahre) ist. Die Nodaltide ist die einzige Tide mit einer Periode ≥ 1 , die einen nachweisbaren Einfluss auf das Tidegeschehen hat (JENSEN et al. 1992).

Um eine lineare Ausgleichsfunktion an die Zeitreihe bestmöglich anzupassen, wird die Methode der kleinsten Abstandsquadrate verwendet. Eine lineare Ausgleichsfunktion ist definiert als eine Gleichung, deren Koeffizienten linear sind:

$$y = p_1x + p_2$$

In der vorliegenden Untersuchung wurden jeweils zwei lineare Ausgleichsfunktionen für eine Zeitreihe berechnet. Die visuelle Überprüfung der Zeitreihen ergibt, dass sich in der Zeitspanne von ca. 1950 bis 1970 eine Änderung des Tideverhaltens eingestellt hat. Mit der zusätzlichen Maßgabe, dass die untersuchten Zeitabschnitte ein Vielfaches der Nodaltide sein sollen, ergibt sich damit ein zu untersuchender Zeitabschnitt von 1950 bis 2005 (Pegel-Nordsee) und 1949 bis 2004 (Pegel-Ostsee) (Zeitspanne: 56 Jahre $\approx 3 \cdot 18,61$ Jahre). Die zweite Trendfunktion wird für die Zeitspannen von 1857 bis 2005 (Küstenpegel-Nordsee), von 1894 bis 2005 (Inselpegel-Nordsee) und 1838 bis 2004 (Pegel-Ostsee) bestimmt.

Bei der Analyse von Zeitreihen mit unterschiedlichen Längen gilt zu beachten, dass die lineare Trendfunktion der normierten mittleren Pegelzeitreihe nicht zwangsläufig identisch mit dem arithmetischen Mittel der Einzeltrends sein muss. Die Frage nach der „Richtigkeit“ des Ergebnisses ist nicht eindeutig zu beant-

worten, da die Bildung eines einfachen arithmetischen Mittels von Einzeltrends, basierend auf stark unterschiedlich langen Zeitreihen, deutliche Aussageunschärfen hat. Die Trendangaben für die Analysen von 1950 bis 2005 sind demgegenüber eindeutig, da für alle Pegel innerhalb dieser Zeitspanne Daten vorliegen und somit das arithmetische Mittel der Einzeltrends dem Trend der normierten mittleren Zeitreihe für diese Zeitspanne entspricht.

4 Ergebnisse der Zeitreihenuntersuchungen

In Abb. 2 bis 9 und in Tabelle 1 sind die normierten mittleren Zeitreihen der MThw-, MTnw-, MThb- und MTmw-Zeitserien der Insel- und Küstenpegel der Nordsee dargestellt und in Tabelle 1 sind die Säkularrends der einzelnen Pegel aufgeführt. In Abb. 10 und in Tab. 2 sind die entsprechenden Ergebnisse für die Ostsee dargestellt.

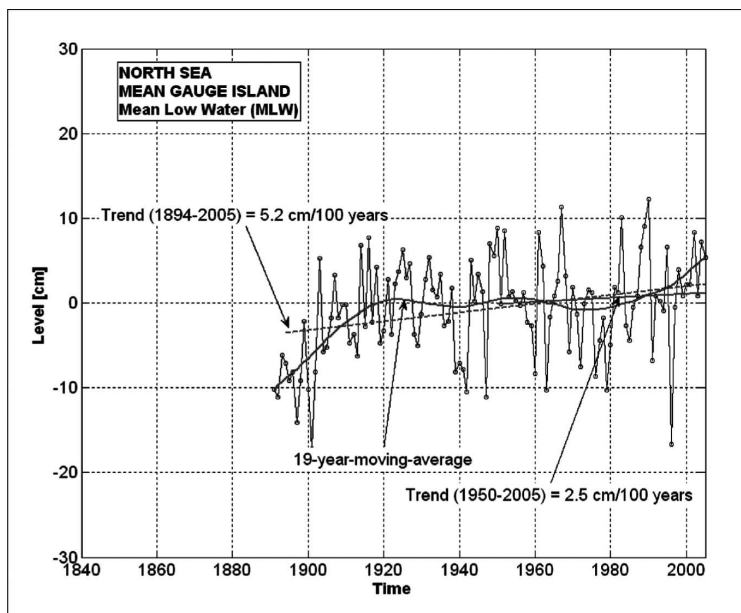


Abb. 2: Normierte mittlere *MTnw*-Zeitreihe (*Inselpegel-Nordsee*) mit Ausgleichsfunktionen

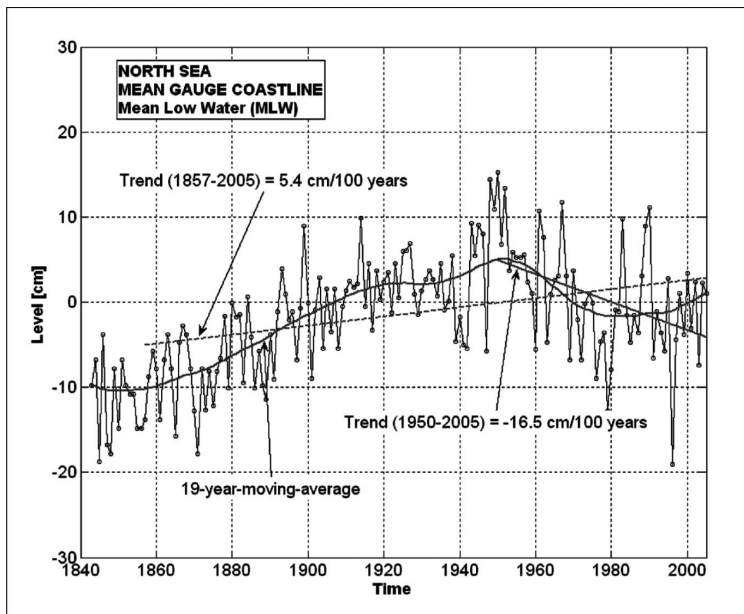


Abb. 3: Normierte mittlere *MT_{nw}*-Zeitreihe (*Küstenpegel*-Nordsee) mit Ausgleichsfunktionen

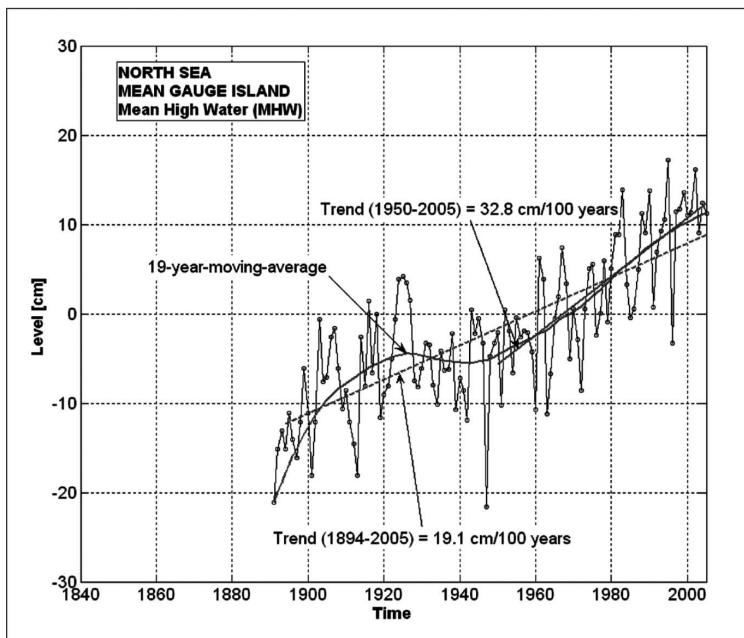


Abb. 4: Normierte mittlere *MTh_w*-Zeitreihe (*Inselpegel*-Nordsee) mit Ausgleichsfunktionen

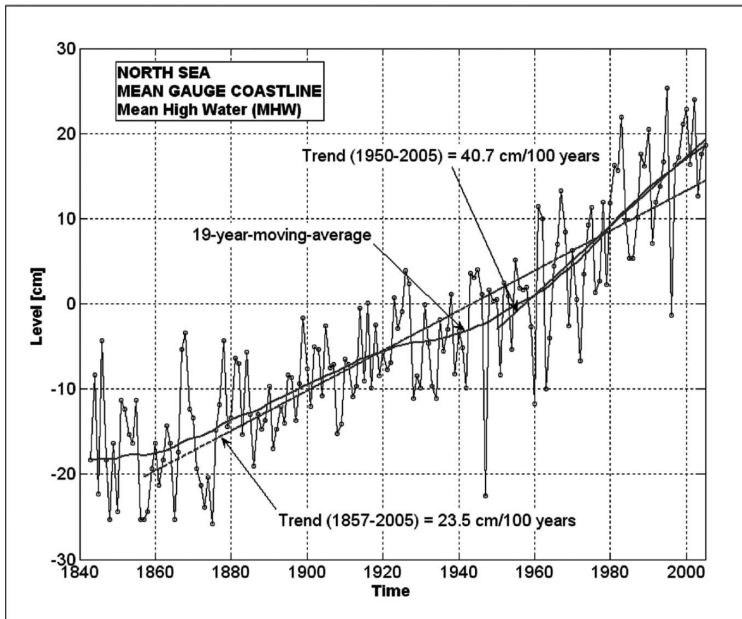


Abb. 5: Normierte mittlere *MThw*-Zeitreihe (*Küstenpegel-Nordsee*) mit Ausgleichsfunktionen

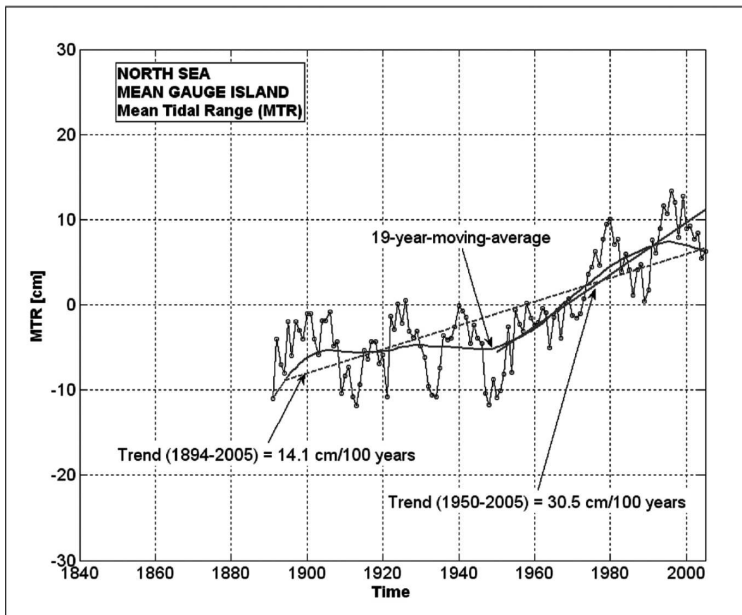


Abb. 6: Normierte mittlere *MThb*-Zeitreihe (*Inselpegel-Nordsee*) mit Ausgleichsfunktionen

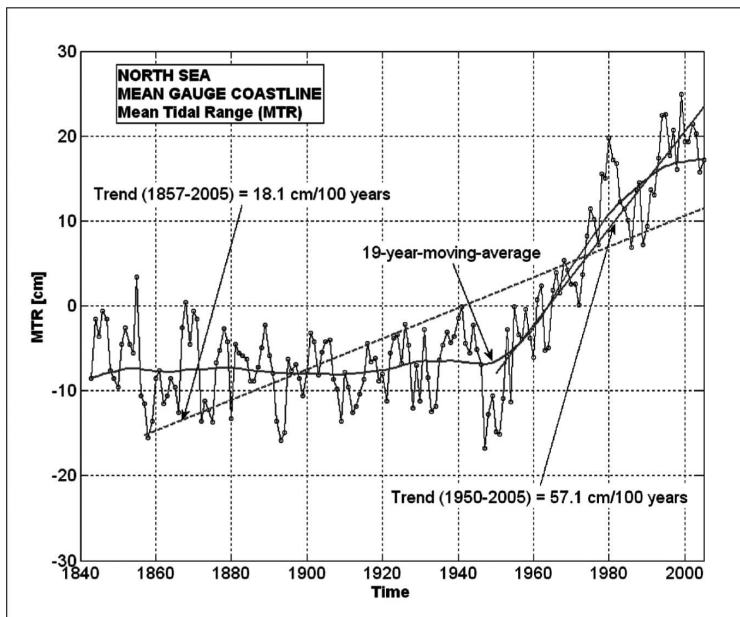


Abb. 7: Normierte mittlere $MThb$ -Zeitreihe (Küstenpegel-Nordsee) mit Ausgleichsfunktionen

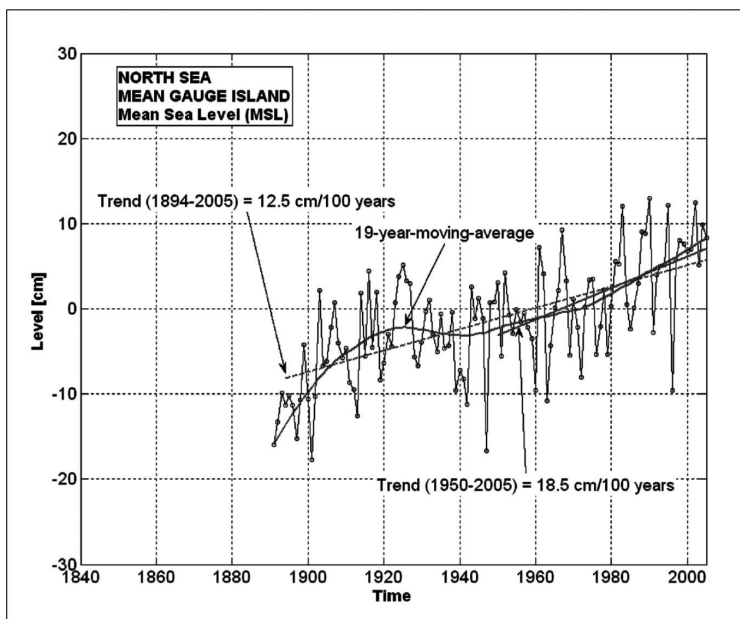


Abb. 8: Normierte mittlere $MTmw$ -Zeitreihe (Inselpegel-Nordsee) mit Ausgleichsfunktionen

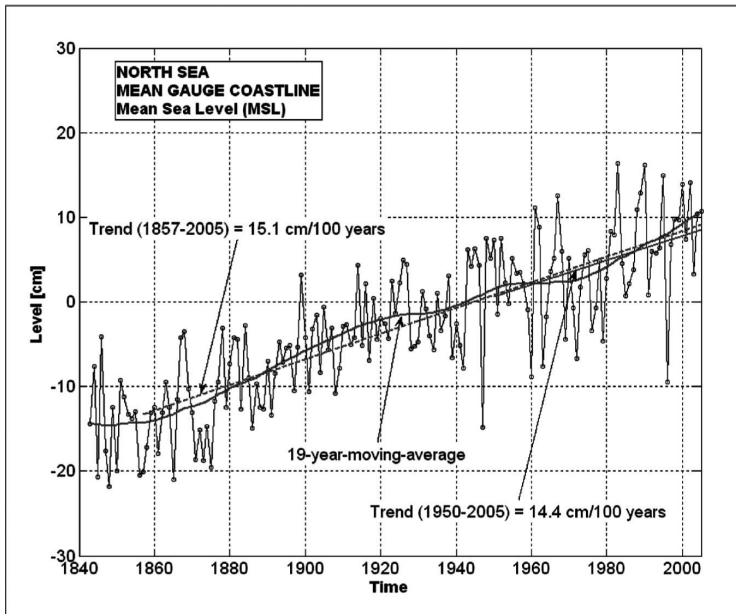


Abb. 9: Normierte mittlere $MTmw$ -Zeitreihe (Küstenpegel-Nordsee) mit Ausgleichsfunktionen

Tab. 1: Säkulare Trends s_T für die normierten mittleren Zeitreihen der Pegel an der Nordseeküste

	Inselpegel-Nordsee (Mean Gage North Sea Island)				Küstenpegel-Nordsee (Mean Gauge North Sea Coastline)			
	1894–2005		1950–2005		1857–2005		1950–2005	
	Trend [cm/100 Jahre]	RMSE [cm]	Trend [cm/100 Jahre]	RMSE [cm]	Trend [cm/100 Jahre]	RMSE [cm]	Trend [cm/100 Jahre]	RMSE [cm]
$MTmw$ (MSL)	12,5	5,2	18,5	5,3	15,1	5,2	14,4	6,0
$MThw$ (MHW)	19,1	5,5	32,8	4,9	23,5	6,2	40,7	6,3
$MTnw$ (MLW)	5,2	5,7	2,5	6,0	5,4	6,2	-16,5	6,3
$MThb$ (MTR)	14,1	4,1	30,5	3,0	18,1	6,9	57,1	4,0

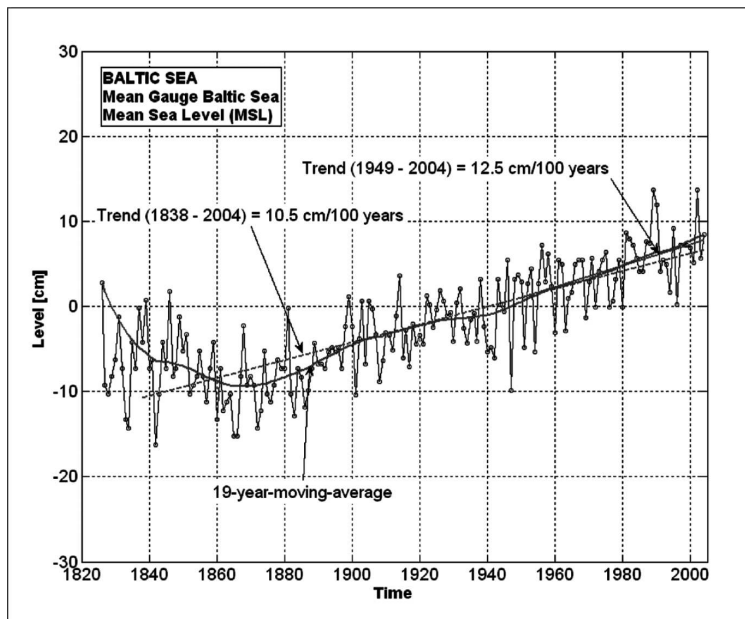


Abb. 10: Normierte mittlere *MW*-Zeitreihe (Ostsee) mit Ausgleichsfunktionen

Tab. 2: Säkulare Trends s_T für normierte mittlere Zeitreihe der Pegel an der Ostseeküste

	Pegel-Ostsee (MeanGauge Baltic Sea)			
	1838–2004		1949–2004	
	Trend [cm/100 Jahre]	RMSE [cm]	Trend [cm/100 Jahre]	RMSE [cm]
MW (MSL)	10,5	3,8	12,5	3,3

5 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

Die aktuellen Analysen der Wasserstandszeitreihen bestätigen die Untersuchungen von JENSEN (1984) sowie FÜHRBÖTER und JENSEN (1985); in der Zeit von 1955 bis 1960 haben sich erhebliche Veränderungen im Tideverhalten der Nordsee eingestellt. Die Tidehochwasser steigen ab dieser Zeit signifikant stärker an; die Tideniedrigwasser verhalten sich in gegenläufiger Weise, d.h. der positive Trend wird schwächer bzw. kehrt sich teilweise in einen negativen Trend um. Der Tidehub in der Nordsee steigt an den Küsten- und Inselpegeln seit Ende der 1950er Jahre dramatisch an. Das Mittelwasser zeigt demgegenüber seit 1840 in der Nordsee wie

auch in der Ostsee seit Beginn der Wasserstandsaufzeichnungen kaum Veränderungen.

Nach IPCC (2001) wird der Meeresspiegel bis zum Jahr 2100 zwischen 10 und 50 cm (mittlere Schätzung) steigen. Die vorliegenden Untersuchungen bestätigen diese Ergebnisse für die deutsche Nord- und Ostseeküste und geben darüber hinaus für einzelne Pegelstandorte detaillierte Ergebnisse an. Derzeit erscheinen Abschätzungen bis zum Jahr 2020 auf der Grundlage der vorliegenden Wasserstandsuntersuchungen möglich; bis 2020 ist mit einem Anstieg des MThw an der Nordsee von etwa 0,5 bis 1 dm und an der Ostsee mit einem Anstieg des MW von wenigen Zentimetern zu rechnen.

Wesentlich schwieriger als das Verhalten der Tidehoch- ist das der Tideniedrigwasser zu erklären, womit unmittelbar auch das des Tidehubes zusammenhängt. Astronomische Gründe scheiden hier aus. Ebenso wenig sind großräumige morphologische oder tektonische Veränderungen bekannt, die derartige Folgen haben könnten. Da die Pegel überwiegend an Rinnen oder Strömen in ausgedehnten Wattengebieten liegen und außerdem konstruktiv oft so beschaffen sind, dass sie die tiefsten Niedrigwasser nicht registrieren können, dürften die tatsächlichen Tideniedrigwasser in den umgebenden Seegebieten eher noch niedriger als nach den untersuchten Zeitreihen sein. Deshalb machen sich örtliche morphologische Besonderheiten an den Pegeln eher bei den Registrierungen der Tideniedrig- als bei denen der Tidehochwasser bemerkbar. Im Allgemeinen weist ein Jahr mit einem höheren MThw auch ein höheres MTnw entsprechend den vorherrschenden meteorologischen Bedingungen auf. Es sollte daher angenommen werden, dass der mittlere Tidehub als die Differenz von MThw und MTnw frei von den jährlichen Schwankungen ist. Weiterhin sollte erwartet werden, dass der Tidehub weitgehend konstant bleibt. Die Zeitreihen für den Tidehub zeigen aber eine deutlich zunehmende Tendenz. An den Küstenpegeln ergibt sich in Bezug auf den Mittelwert des MThb bis 1955 (309 cm) eine Zunahme um etwa 9%. An den Inselpegeln beträgt die Zunahme, bezogen auf den Mittelwert des MThb bis 1955 (227 cm), etwa 6%. Als Ursachen für die dramatische Zunahme des Tidehubes in der Nordsee können folgende Thesen abgeleitet werden:

- die Tidewelle verhält sich wie eine stehenden Welle, bei der durch die Erhöhung der Eingangswelle (= Anstieg des Meeresspiegels) die Reflexion verstärkt wird; damit könnte auch eine Verschiebung der Zentren der Amphidromien (Drehtiden) begründet werden
- eine Veränderung der Tidedynamik in der Nordsee kann auch durch eine Reduzierung der relativen Rauheit durch einen Anstieg des Meeresspiegels begründet werden.

Diese Systemänderungen in der Nordsee sind mit Sorge zu betrachten, da die Folgen nicht im Detail vorhersagbar sind; die Wasserstände müssen weiterhin genau beobachtet und analysiert werden. Das Beispiel der Deutschen Bucht zeigt, dass das Tidemittelwasser oder MSL nicht immer die geeignete Größe ist, mit der Veränderungen erkannt werden können.

Durch die festgestellten Veränderungen in den Wasserstandszeitreihen an der deutschen Nord- und Ostseeküste sind verschiedene Konsequenzen zu beachten (s.a. FÜHRBÖTER UND JENSEN 1985):

- durch die Erhöhung des MThw entstehen auf Watten und Außensänden größere Wassertiefen, worauf das Wellenklima sehr empfindlich reagiert; größere Wellenhöhen und damit höhere Orbitalgeschwindigkeiten und Brandungsenergien sind die unmittelbare Folge, die zu großflächigen Erosionen führen können;
- durch die erhöhten Tidehübe treten größere Strömungsgeschwindigkeiten auf, die Ausräumungen der Tiderinnen, verstärkte Erosionen an den Inselsockeln, Strandausräumungen und in Zusammenhang mit Sturmfluten zu Dünen- und Kliffabbrüchen führen können.

Ob sich in diesen Veränderungen der Tidedynamik in der Nordsee bereits eine globale Klimaveränderung bemerkbar macht, kann nicht abschließend festgestellt werden. Allerdings ist ein verändertes Verhalten der Tide in der Nordsee ab etwa 1960 zu konstatieren, was in Verbindung mit anderen meteorologischen Indikatoren für globale Änderungen spricht.

Literatur

- BEHRE, K.-E. 2003: Eine neue Meeresspiegelkurve für die südliche Nordsee. Transgressionen und Regressionen in den letzten 10.000 Jahren. Oldenburg.
- FÜHRBÖTER, A. 1986: Veränderungen des Säkularanstieges an der deutschen Nordseeküste. In: Wasser + Boden, H. 9, S. 9–13.
- FÜHRBÖTER, A. und J. JENSEN 1985: Säkularänderungen der mittleren Tidewasserstände in der Deutschen Bucht. In: Die Küste, H. 42, S. 78–100.
- GAYE, J. 1951: Wasserstandsänderungen in der Ostsee und der Nordsee in den letzten 100 Jahren. In: Die Wasserwirtschaft, Sonderheft: Vorträge der Gewässerkundlichen Tagung 1951 in Hamburg, S. 50–54.
- HUNDT, C. 1955: Maßgebende Sturmfluthöhen für das Deichbestick der schleswig-holsteinischen Westküste. In: Die Küste, Jg. 3, H. 1/2, 20–31.
- HUPFER, P., J. HARFF, H. STERR u. H.-J. STIGGE 2003: Die Wasserstände an der Ostseeküste. In: Die Küste, H. 66, Sonderheft.
- IPCC (Intergovernmental Panel in Climate Change) 2001: Climate Change. The IPCC Scientific Assessment. Report Prepared for IPCC by Working Group 1, WMO, UNEP. [ohne Ort]: University Press of Cambridge.
- JENSEN, J. 1984: Änderungen der mittleren Tidewasserstände an der Nordseeküste. In: Mitteilungen Leichtweiß-Institut der TU Braunschweig, H. 83, 436–550.
- JENSEN, J. 1985: Über instationäre Entwicklungen der Wasserstände an der deutschen Nordseeküste. In: Mitteilungen Leichtweiß-Institut der TU Braunschweig, H. 88, 151–319.
- JENSEN, J. 1998: Recent Changes of the Water Levels in the Baltic Sea. Proceedings of The Second International Conference on Climate and Water. Espoo, Finland.
- JENSEN, J. u. T. FRANK 2003: „Grundlagen der Bemessung von See- und Flussdeichen an den deutschen Küsten“. In: HERRMAN, R.A. und J. JENSEN (Hrsg.): Sicherung von Dämmen und Deichen. Siegen: Eigenverlag Universität Siegen, 123–133.
- JENSEN, J. u. Ch. MUDERSBACH 2002: Long-Term Changes of the Water Levels along the German North Sea Coastline. In: Littoral 2002. 6th International Symposium in Porto, 22–26 September 2002, Bd. 2. Porto, S. 91–100.
- JENSEN, J. u. Ch. MUDERSBACH 2004: Analyses of recent Variations in Water Level Time-Series at the Southern Baltic Sea Coastline. In: Baltcoast 2004-Conference Proceedings. Coastline Reports 2. Warnemünde, S. 30–35.
- JENSEN, J., H.-E. MÜGGE u. W. SCHÖNFELD 1992: Analyse der Wasserstandsentwicklung und Tidedynamik in der Deutschen Bucht. In: Die Küste, H. 53, 211–275.

- LASSEN, H. 1995: Interpretation von Wasserstandsänderungen in der Deutschen Bucht auf der Basis der Ergebnisse eines KFKI-Projektes. In: *Die Küste*, H. 57, S. 108–160.
- LIESE, R. 1979: Veränderungen von Tidehochwasser, Tideniedrigwasser und Tidehub seit 1946. In: *Forschungsstelle für Insel- und Küstenschutz der Niedersächsischen Wasserwirtschaftsverwaltung (Hrsg.): Jahresbericht 1978*. Norden, S. 5–18.
- LÜDERS, K. 1936: Über das Ansteigen der Wasserstände an der deutschen Nordseeküste. In: *Zentralblatt der Bauverwaltung*, H. 50, S. 20–25.
- RIETSCHEL, E. 1933: Neuere Untersuchungen zur Frage der Küstensenkung. In: *Deutsche Wasserwirtschaft*, H. 5, Berlin, S. 11–16.
- ROHDE, H. 1968: Wasserstandsänderung und Sturmfluthäufigkeit an der Elbmündung. In: *Die Küste*, H. 16, S. 50–72.
- SCHÜTTE, H. 1908: Neuzeitliche Senkungserscheinungen an unserer Nordseeküste. In: *Jahrbuch des Vereins für Altertumskunde und Landesgeschichte*, 16. Oldenburg, S. 397–439.
- STIGGE, H.-J. 1989: Nullpunktkorrektur für alle DDR-Küstenpegel. In: *Mitteilung der Wasserwirtschaftsdirektion Küste. Beiträge zur Meereskunde*, 60. Berlin, S. 53–59.