

Harald ZEPP, Bochum

Maren PARAKENINGS, Bochum

## **Künstliche Strandaufhöhung und quasinatürliche Morphodynamik an der Nordseite der Insel Wangerooge**

### **Summary**

The coast line of Wangerooge exhibits a tidal environment. The beach morphology undergoes natural changes caused by tidal currents, underwater sand drift and is influenced by coastal engineering measures. In addition, artificial sand deposits are dumped every spring to ensure a broad beach and to prevent daily flooding. The level is designed to be high enough to meet the tourists' requirements during the summer months. Every winter most of the sand deposit is eroded during storm floods, a fact that worries tourists and officials equally. In the study at hand we present data on the artificial measures as well as results of a monitoring of the beach morphology. Natural and semi-natural driving forces are discussed. The present beach is not under the condition of natural equilibrium, nor does it represent a steady state. Under natural conditions the flood free segment of the beach would be much smaller and the slope would be steeper. The current morphological changes can not be attributed to sea level change.

Wangerooge, die östlichste der Ostfriesischen Inseln, ist durch den Tourismus geprägt und wirbt mit der Sonne und Wärme suggerierenden Lagebeschreibung, eine Insel in der südlichen Nordsee zu sein. Inmitten des Nationalparks Niedersächsisches Wattenmeer gelegen, bildet der Kur- und Badebetrieb die wirtschaftliche Basis der Inselbewohner (KOHLS 2004). Seit im Jahr 1804 der Badebetrieb eröffnet wurde, profitieren die Inselgäste vom Sandstrand an der Nordseite der Insel; die Südseite eignet sich mit ihrem Schlick- und Sandwatt nicht für den Badebetrieb. Der Hauptbadestrand und die Strandpromenade sind das Aushängeschild der Insel; Gemeinde und Kurverwaltung achten darauf, dass die Gäste diese Seite Wangerooges in stets derselben Qualität vorfinden, die sie erwarten. Hierzu gehört insbesondere ein Bade- und Burgenstrand in ausreichender Breite. Er muss im Som-

mer hochwasserfrei sein und genügend Platz für die ortstypischen Strandkörbe bieten.

„Der Strand ist weg“ lautet nicht nur der Titel eines Dokumentarfilms der örtlichen Amateurfilmer, sondern es entspricht auch dem Eindruck, den Gäste zum Saisonbeginn um die Osterzeit gewinnen, wenn die Wirkungen der winterlichen Sturmfluten noch augenscheinlich sind. In diesem Beitrag sollen die Anstrengungen der Gemeinde- und Kurverwaltung, den Badestrand zu erhalten, dokumentiert und aus geomorphologischer Perspektive beleuchtet werden. Da die Maßnahmen am Badestrand und der Küstenschutz in das natürliche litorale Prozessgefüge eingreifen, werden zunächst die bisherigen Küstenschutzmaßnahmen dargestellt. Seit einigen Jahren unternehmen die Verfasser (ZEPP u. PARAKENINGS 2004) Beobachtungen zu den quasinatürlichen Veränderungen am Wangerooger Nordstrand. Diese ergänzen die Statistik der Sandauffahrten auf dem Trockenstrand um Erkenntnisse über das Geschehen am Nassstrand. Die rezenten, quasinatürlichen Veränderungen und die anthropogenen Maßnahmen werden dargestellt und vor dem Hintergrund der seit Jahrhunderten ablaufenden morphodynamischen Veränderungen beurteilt.

Die Regelmäßigkeit und die in diesem Beitrag zu erläuternden besonderen Umstände der Sandauffahrten am Wangerooger Badestrand sind für die Ostfriesischen Inseln ohne Parallele. Eine im November 2004 durchgeführte Recherche bei den Kurverwaltungen der Inseln Borkum, Juist, Norderney, Baltrum, Langeoog und Spiekeroog ergab, dass in der Vergangenheit lediglich vereinzelt und keineswegs regelmäßig künstliche Strandaufhöhungen auf Borkum und Norderney vorgenommen worden sind. Diese Maßnahmen sind im Zusammenhang mit der Zuständigkeit des Niedersächsischen Landesbetriebs für Wasserwirtschaft und Küstenschutz zu sehen, dem die Sicherung der Inseln von Sturmfluten obliegt; auf Norderney wird am Westkopf der Insel Sand aufgespült, wenn ein Mindeststrandvolumen unterschritten wird (THORENZ 2004). Diese Maßnahme dient ebenso ausschließlich der Sicherstellung der Küstenschutzziele wie der bedarfsweise künstliche Aufbau oder die künstliche Verstärkung der Schutzdünen durch den Einbau von Sand, den THORENZ (2004, 217) für Küstenabschnitte ohne massive Schutzbauwerke auf Borkum, Juist, Langeoog und Wangeroog quantifiziert. Darüber hinaus ist von Sylt bekannt, dass in unregelmäßigen Abständen am Badestrand ein Sanddepot angelegt wird (vgl. BRÜCKNER et al. 2002, 96).

### **Maßnahmen des Küstenschutzes**

Die ersten Versuche, die Inselküsten an der Nordsee zu schützen oder wiederaufzubauen, wurden bereits 1650 in Form von Buschzäunen und Helm-

pflanzungen durchgeführt (LUCK 1975, 62). Mit verbesserten technischen Möglichkeiten veränderte sich die Form des Küstenschutzes. Massive Bauwerke wie Strandmauern, Deckwerke oder Bühnen wurden auf Wangerooge seit 1874 gebaut (LUCK 1975, 12). Sie prägen bis heute das Erscheinungsbild der Ostfriesischen Inseln Borkum, Norderney, Baltrum und Wangerooge; sie beeinflussen die morphologischen Vorgänge zumeist in der gewünschten Richtung, wenngleich in den letzten Jahren gerade die massiven konventionellen Küstenschutzbauten zunehmend in die Kritik geraten sind (JEVERSCHE WOCHEBLATT 10.11.2001), weil die gewünschten positiven Auswirkungen nicht immer ausreichend eingetreten sind oder sich die Bauwerke ungeplant negativ auf die Strömungsverhältnisse ausgewirkt haben. Unbestritten ist, dass nur durch den massiven Küstenverbau die Westseiten der genannten Inseln lagestabil gehalten werden können. Seit dem Jahr 1990 sind insgesamt 7,0 km der Wangerooger Küsten durch sieben Deckwerke unterschiedlicher Länge geschützt (WSA 1990, 49), die bis heute in dieser Form unterhalten werden. Der rasche von Westen nach Osten fortschreitende Bau von Strandmauern bzw. Deckwerken in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts bzw. im 20. Jahrhundert hatte vor allem militärstrategische Gründe, denn der 1853 gegründete preußische Marinehafen in Wilhelmshaven erforderte die Festlegung der Inselnde, um das Jadedfahrwasser vor einer Versandung zu schützen (HOMANN 1989, 71; STREIF 1990, 238 und WITTE 1970, 80). Heute schützen, von Südwesten nach Norden und weiter Richtung Osten (Abb. 1), folgende Deckwerke die Insel (in Klammern das Baujahr): Südwestdeckwerk (1974), Westdeckwerk (1962–64), Nordwestlängsdeckwerk (1972 und 1974), Norddeckwerk (in drei Bauabschnitten von 1979 bis 1985 gebaut), Strandmauer Nord und Nordufermauer (1895 begonnen und bis 1928 stetig ergänzt) (WSA 1990, 43).

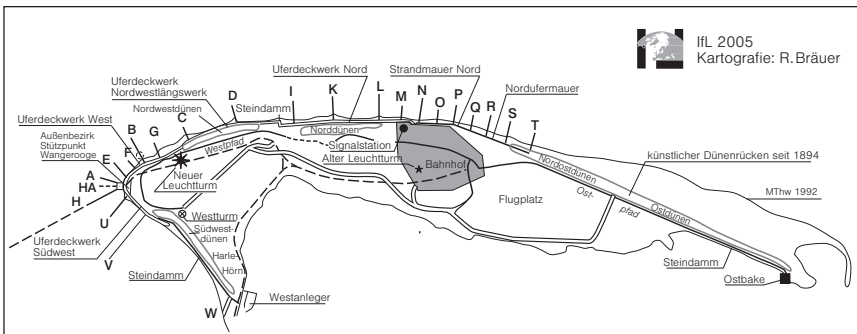


Abb. 1: Wangerooger Bühnen und Deckwerke

Ein weiteres Element des Küstenschutzes sind die Buhnen. Mit 22 Strandbuhnen und den langen durch Deckwerke gesicherten Abschnitten ist Wangerooge die am stärksten befestigte Ostfriesische Insel (SEEDORF u. MEYER 1992, 322). Strandbuhnen werden gebaut, um die küstenparallele Strömung vor ihren Köpfen zu konzentrieren und dadurch die Strandbalje (strandparalleler Priel) auf Abstand zum Strand zu halten (EHLERS u. MENSCHING 1983, 500). Dieser soll so vor übermäßigem Abtrag geschützt werden. Ein breiter und stabiler Strand schützt wiederum die Dünenkette, da die auflaufenden Wellen schon vor dem Dünenfuß an Geschwindigkeit und Kraft verlieren. Um die größtmöglichen Wirkungen der Buhnen zu gewährleisten, werden sie ständig unterhalten und zum Teil sogar verlängert oder neu gebaut. 1991 (HEMPEL 1995, 65) bzw. 1992 (WSA 1992) sind die Buhnen N und P am Dorfstrand um je 80 m verlängert worden; weitere Unterhaltungsmaßnahmen werden aktuell durchgeführt. Der gewünschte Effekt der weiteren Stabilisierung des Badestrandes und des im Osten angrenzenden Strandbereichs konnte bis 1994 durch HEMPEL (1995, 65) nicht festgestellt werden. Obwohl nicht mit Sicherheit vorauszusagen ist, wie sich die Strand-situation durch weitere Veränderungen an den Buhnen entwickelt, wird weiterhin in diese Bauwerke investiert. Allein der Neubau der Buhne I im Jahr 1988 kostete für eine Länge von 265 m ca. 1.423.000,00 DM (WSA 1990, 48). 1998 ist im Rahmen eines Naturversuches westlich der Buhnen L und M je eine Pfahlreihe parallel zu der jeweiligen Buhne gebaut worden (WSA 2003a, mündl. Aussage). Hierdurch erhoffen sich das WSA Wilhelmshaven und die Gemeinde Wangerooge eine Verbesserung bzw. Stabilisierung des trockenfallenden Vorstrandes (WSA 1998). Die Auswirkungen der im Jahr 2003 wieder errichteten Buhne T östlich des Badestrandes sind Gegenstand laufender Beobachtungen durch das WSA und die Verfasser.

### **Sandaufspülungen und -auffahrten am Badestrand**

Der Hauptbadestrand erstreckt sich nördlich des Ortes über eine Länge von etwa 1 km. Analog zur Gliederung eines naturbelassenen Strandes kann er in einen Nassstrand, der beim MTHW zweimal täglich und in einen Trockenstrand, der nur bei höheren Wasserständen überflutet wird, gegliedert werden. Doch das Profil des Badestrandes weicht in charakteristischer Weise von dem eines natürlichen Strandes ab. Zwar enthält der Nassstrand auch hier die Elemente Strandriff und Strandpriel, doch oberhalb der MTHW-Linie und damit oberhalb des natürlichen Strandwalls folgt eine zeitweise als Böschung und zeitweise als steilerer kurzer Strandabschnitt ausgebildeter Übergang zum deutlich erhöhten Trockenstrand. Dieser bildet die Unterlage für die Strandkörbe.



Abb. 2: Durch Sturmflut abgetragener Badestrand mit Erosionskante (Frühjahr 2002)

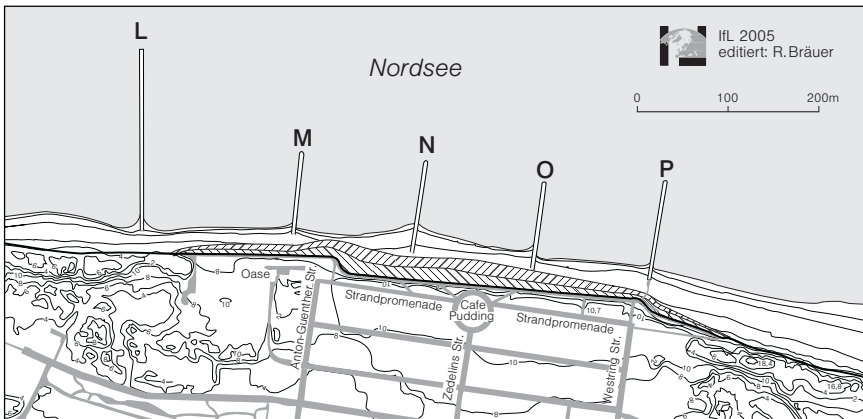


Abb. 3: Alljährliche Aufschüttungsfläche und Stranderosion im Winter 2003/2004 (Situation im April 2004)

Verstärkt im Winter wird Sand vom Badestrand abgetragen (Abb. 2). Eine Kartierung vom Frühjahr 2004 (Abb. 3) zeigt den aufgehöhten, nicht abgetragenen Trockenstand und den anschließenden Abschnitt, der vor allem durch die Sturmflut am 11. und 12. Februar 2004 verloren gegangen ist. Dieses Sanddefizit wird durch künstliche Materialzufuhr, in der Regel im März und April eines jeden Jahres ausgeglichen. Das erforderliche Sandvolumen unterliegt jährlichen Schwankungen (Abb. 4). Über regelmäßige Stranderhöhungen vor 1987 stehen keine Daten zur Verfügung. Alle vier bis fünf Jahre ist eine Materialzufuhr von mehr als 100.000 m<sup>3</sup> Sand nötig, wohingegen in den dazwischenliegenden Jahren selten mehr als 60.000 m<sup>3</sup>, meist weniger als 40.000 m<sup>3</sup> aufgefahren werden. Der Badestrand wird nicht gleichmäßig hoch, sondern die oberen Strandbereiche werden höher als die unteren, meernahen Bereiche aufgefüllt. Daher können anhand der vorhandenen Daten lediglich Durchschnittswerte für die Erosion bzw. die Stranderhöhung berechnet werden, die einer angenommenen gleichmäßigen Verteilung der Stranderhöhung entsprechen. 1990 beispielsweise wurden im Rahmen der Strandaufspülung 158.062 m<sup>3</sup> Sand aufgebracht, was einer gleichmäßigen Stranderhöhung von rund 2,5 m entspricht. Im Gegensatz dazu wird in einem Jahr mit vergleichsweise geringen Verlusten, wie beispielsweise 1997, der Strand um nur rund einen halben Meter erhöht.

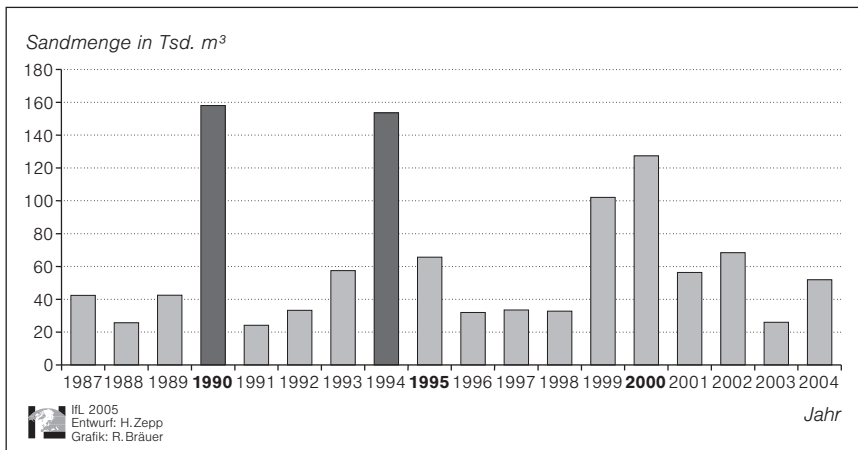


Abb. 4: Sandauffahrten und Sandaufspülung am Badestrand 1987-2004.  
Aufspülungen sind dunkel dargestellt  
(Datenquelle: Gemeinde Wangerooge 2004)

Im Dezember 1974 trug eine Sturmflut den gesamten Badestrand ab (HOMANN 1989, 92), woraufhin dieser im Frühjahr erstmals künstlich wieder aufgebaut wurde. Eine Orkanflut im folgenden Jahr machte auch für die

Badesaison 1976 eine künstliche Strandauffüllung nötig (HOMANN 1989, 94). Seit 1995 wurden keine Sandaufspülungen mehr vorgenommen. Bei den regelmäßigen Sandauffahrten wird der Sand am breiten Nassstrand im Osten der Insel abgebagert und mit Muldenkippern herantransportiert. Die Linie, bis zu der der Sand meerwärts aufgefahren wird, ist durch Pfähle etwa im Bereich der MTHW-Linie markiert. Der Sand wird bis ca. 1–3 m nah an die Pfähle abgeladen. Diese Pfähle können als Denudationspegel angesehen werden, denn sie lassen Denudation und Akkumulation erkennen. Nach dem Winter ist der Überstand der Pfähle über der Strandoberfläche größer als nach den Sandauffahrungen im Sommer; zu dieser Zeit hat sich ein Teil des Sandes durch den Wellenschlag und durch anthropogene Einflüsse des Badebetriebs auch um die Pfähle herum verteilt. Die hier seit 18 Jahren dokumentierten Aufföhungen des Badestrandes lassen klar erkennen, dass das Strandprofil nicht mit den quasinatürlichen<sup>1</sup> Abtrags- und Akkumulationsprozessen durch Gezeiten, Strömung und Wellenschlag im Gleichgewicht steht.

### **Quasinatürliche Veränderungen der Oberfläche des Nassstrandes**

Regelmäßige Vermessungen des Strandprofils am Hauptbadefeld haben ergeben, dass sich die Strandoberfläche bei ruhigem Sommerwetter um weniger als 5 cm in 3 Wochen verändert. Die Strandpriele erweisen sich in solchen Zeiträumen als relativ lagestabil, ebenso verhält es sich mit den Strandriffen und dem Strandwall. Werden die Beobachtungsabstände größer, so entgeht dem aufmerksamen Beobachter nicht, dass Strandpriele ihre Lage durchaus verändern. Neben photographischen Belegen lassen dies Messungen erkennen, die die Verfasser im westlichen Abschnitt des Hauptbadestrandes durchführen. Die Pfahlreihe M westlich der Buhne M (Abb. 5 und 6) liegt im Westen des durch die Sandauffahrungen beeinflussten Strandabschnittes, und zwar im Vorfeld der Sandaufschüttung; sie bietet eine ideale Versuchseinstellung, Veränderungen der Strandoberfläche mit einfachen Mitteln, d.h. ohne aufwändige Vermessungen festzustellen, weil lediglich die Überstände der Pfähle über den umgebenden Strand gemessen werden müssen. Durch ein einmalig durchgeführtes Nivellement können die Pfahlüberstände in Höhen über NN umgerechnet werden.

Zur Dokumentation der Veränderungen an der Buhne M liegen aus den Jahren 2001 bis 2004 Messungen an 13 Terminen vor. Der Schwankungsbereich der Strandoberfläche (Abb. 7) steigt mit zunehmender Entfernung vom Ufer auf ca. 1,75 m an. Mit den Messungen aus den ersten 20 Metern

---

<sup>1</sup> Die natürlichen Prozesse sind ohnehin nicht rekonstruierbar, weil durch Deckwerke und Bühnen der Sandhaushalt der Insel beeinflusst worden ist.

ist zeitweise ein Strandwall im Übergangsbereich zur Aufschüttungsfläche erfasst. Dies erklärt den steileren Anstieg. Insgesamt ist die Schwankungsbreite der Strandoberfläche in diesem Strandabschnitt geringer als 1 m.



Abb. 5: Die Pfahlreihe M im Juni 2001



Abb. 6: Die Pfahlreihe M im September 2001



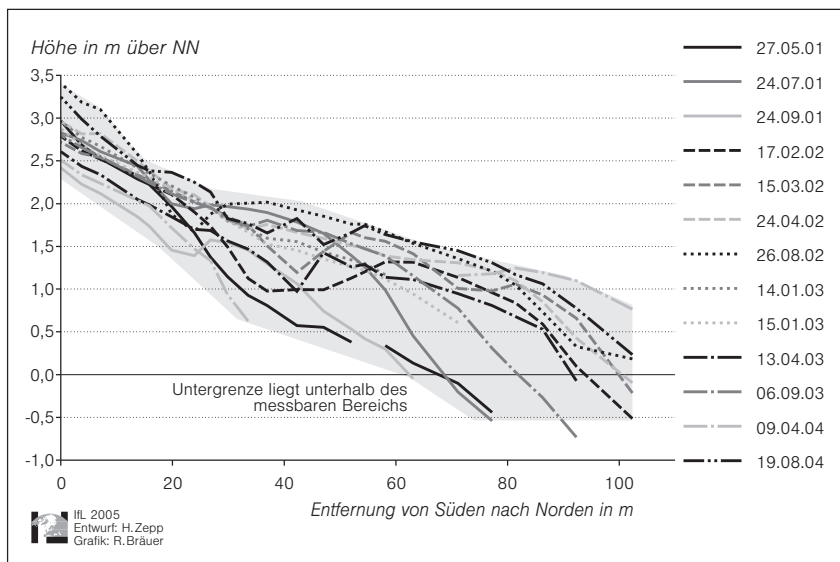


Abb. 7: Schwankungsbereich der Strandoberfläche entlang der Pfahlreihe M im Zeitraum von Mai 2001 bis August 2004. Die Strandoberflächen an einzelnen Messterminen sind als dünne Linien erkennbar.

Die Strandumbildungen der einzelnen Jahre folgen einem gleichen Muster (Abb. 8). Nach der anthropogenen Stranderhöhung im Bereich der Buhne M im Frühjahr findet man im Sommer einen wallartig erhöhten Strand vor, der zunächst in den unteren Abschnitten abgetragen wird, bevor sich im Verlauf des Winters deutlich ausgeprägt Priel und Riff einstellen. Die Lage des Priels und des Riffs kann dabei genauso variieren wie die Strandhöhe und die jährliche Abtragsrate. Die Ursache für die Ausbildung eines kräftigen Strandriffes im Februar 2002 in 60 m Entfernung ist allein aus diesen Messungen nicht zu klären. Hier könnte es sich um eine Umlagerung des weiter oberhalb aufgeschütteten Sandes, aber auch um Sand, der mit der küstenparallelen Strömung landwärts versetzt worden ist, handeln. Zu den natürlichen Prozessen der Strandentwicklung gehört ebenso das Aufwerfen eines kleinen Strandwalls als äußerste Begrenzung des Nassstrandes.

Am Hauptbadestrand entspricht der während der Badesaison mit Strandkörben besetzte, aufgeschüttete Strand einem Trockenstrand. Als natürliche Reihe würden landeinwärts durch äolischen Transport vom Trockenstrand ausgehend Kupsten (Vordünen), Primärdünen und später – nach einer nachhaltigen Befestigung durch Vegetation (u.a. Strandhafer, Strandroggen, Kartoffelrose) die Graudünen entstehen. Die Akkumulation von Flugsand findet bevorzugt während der winterlichen Phasen mit Ostwindwetterlagen

statt, so dass auch die untere Strandpromenade regelmäßig vor der Saison freigeräumt werden muss. Statt einer natürlichen Entwicklung ist am Badestrand das Deckwerk übersandet und mit Strandhafer, Stranddistel und Kartoffelrose bewachsen.

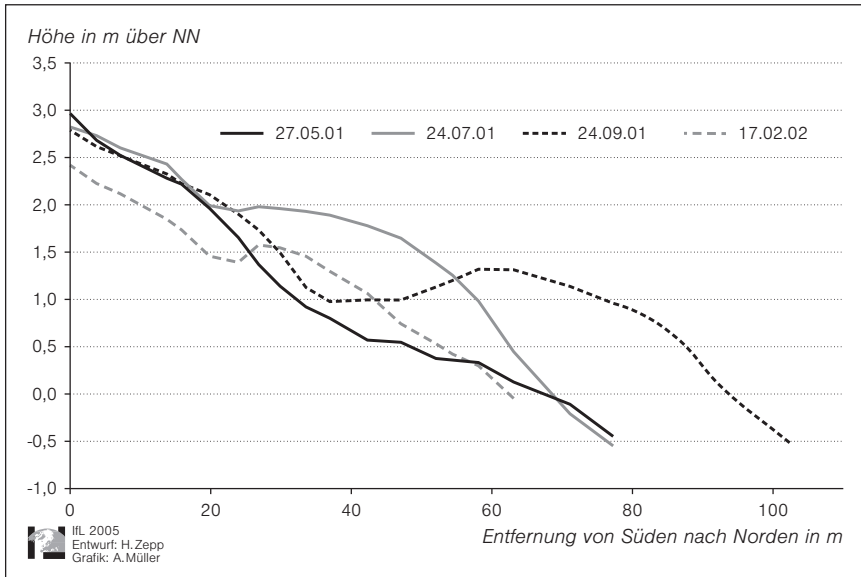


Abb. 8: Strandprofil an der Pfahlreihe M zwischen Mai 2001 und Februar 2002

### Natürliche Prozesse der Strandentwicklung, Riffanlandung und Sanddrift

Bei Sturmfluten läuft das Wasser besonders hoch am Strand auf, so dass Teile eines zuvor gebildeten Trockenstrandes, des Dünengürtels oder des künstlich aufgeschütteten Sandstrandes abgetragen werden. Der ökonomische Zwang zu regelmäßigen Aufschüttungen (Abb. 4) ist ein Beleg hierfür. Zwar hat EITNER (1993) für die Deutsche Bucht generell die Zunahme der Sturmfluthäufigkeit festgestellt, doch für Wangerooge ist in den letzten Jahren dieser Trend nicht erkennbar (Abb. 9). Im Gegenteil scheinen die Extremwasserstände sogar eher abzunehmen. Die letzte große Sturmflut trat auf Wangerooge 1994 auf und ging mit erheblichen Materialverlusten am Badestrand und im Osten (HEMPEL 1995) einher, die zu der groß angelegten Strandaufspülung geführt haben. Bei geringeren Wasserständen baut sich innerhalb von Wochen und Monaten zunächst der Strandwall neu auf und mittelfristig können sich die Dünen regenerieren.

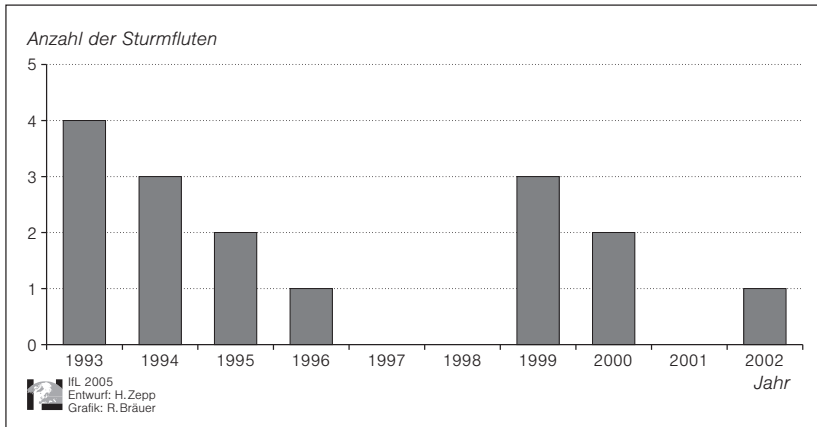


Abb. 9: Sturmfluten der Jahre 1993 bis 2002 am Pegel Wangerooge Nord. Sturmflutwasserstände, die das jeweilige Jahres-MTHW um mindestens 1,50m übertreffen (nach Daten des WSA 2003 b)

Die dargestellten, periodisch wiederkehrenden Prozesse des Strandabbaus und Strandaufbaus werden durch die Anlandung von Riffen überlagert. Eine lokal positive Bilanz stellt sich also immer dann ein, wenn aus dem der Insel im Nordwesten vorgelagerten Riffbogen ein Riff anlandet. Fünf Messungen zwischen Sommer 2002 und Sommer 2004 entlang der Pfahlreihe an der Buhne L (Abb. 10 und 11) lassen diesen Prozess für das Untersuchungsgebiet erkennen. Die etwa 200 m lange Pfahlreihe liegt westlich des durch Sandauffahrten beeinflussten Strandabschnitts; sie quert nicht den gesamten Strand, sondern endet einige Meter vor dem Deckwerksfuß. Der Böschung des Deckwerkes ist die Düne, an dieser Stelle die so genannte Aussichtsdüne, aufgesetzt. Die bis zu 18 m hohe Graudünenreihe ist durch das Deckwerk lagestabil. Im Unterschied zu einem naturbelassenen Strand einer Ostfriesischen Insel existiert unter diesen quasinatürlichen Verhältnissen ein nur temporärer, schmaler Trockenstrand; selbst bei nicht extremen Hochwasserständen kann die Nordsee den Fuß des Deckwerkes erreichen.

Abb. 12 zeigt deutlich die kräftigen Verlagerungen des Strandpriels sowie die Verschiebung der Bereiche mit vorherrschender Akkumulation oder Abtragung. So sind die größten Niveauunterschiede der Strandoberfläche von 2 m in etwa 100 m Entfernung vom 1. Pfahl gemessen, wo zwischen 2002 und 2004 ein Riff auf dem Strand aufgesetzt hat. Davon hat auch der Strandabschnitt bis 70 m Entfernung profitiert. Geschwindigkeit und Ausmaß der Riffanlandung entsprechen der Dynamik, die ECKEL (1974, wiedergegeben in HEMPEL 1985, 41) für die Insel Spiekeroog in den Jahren 1933 bis 1942 dargestellt hat. Wenn sich eine Plate des Riffbogens dem Strand nähert, wird diese höher und lässt zwischen Plate und Strand einen



Abb. 10: Pfahlreihe westlich der Buhne L im Juli 2002



Abb. 11: Pfahlreihe westlich der Buhne L im August 2004

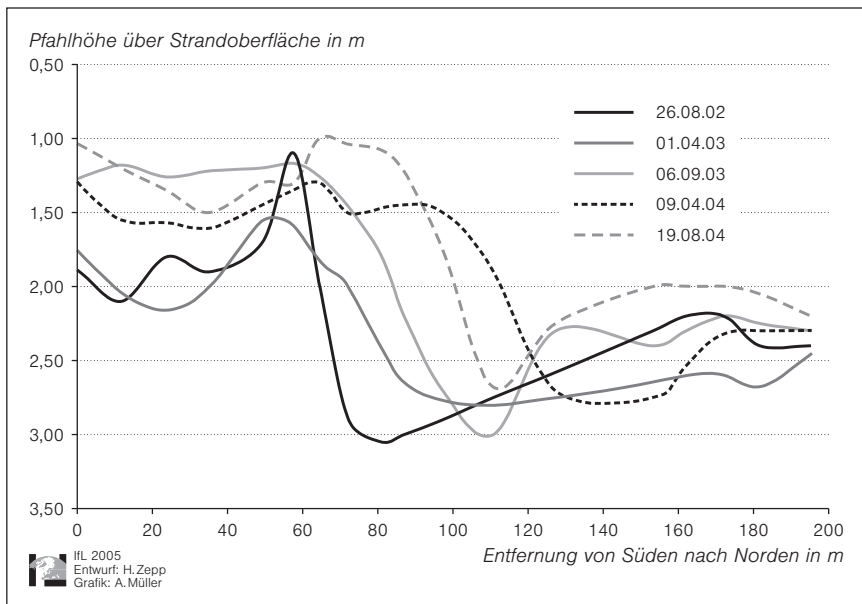


Abb. 12: Relative Veränderung der Strandoberfläche an der Pfahlreihe L, gemessen an Pfahlüberständen. Die in Abb.10 und 11 erkennbaren Kolke blieben unberücksichtigt, da sie nur lokale Turbulenzen widerspiegeln, die durch die Pfähle selbst erzeugt sind; eingemessen ist die Strandoberfläche links (westlich) der Pfähle und Kolke.

Unterstrom entstehen. Dieser Unterstrom lässt den Strand abbrechen und sorgt solange für einen Abtransport des Strandsedimentes, bis die Plate die Strandbalje überwunden und sich endgültig als Strandwall auf den Strand aufgeschoben hat. Die Stranderhöhung durch die gelandete Plate ist häufig geringer als die vorhergehende Stranderniedrigung. Das liegt nicht zuletzt daran, dass nur ein kleiner Teil der Plate auf den Strand aufgesetzt wird und der weit größere Teil in Form eines Unterwasserriffs an der Insel vorbeiwandert (KRÜGER 1911, 122). Dem Nassstrand vorgelagerte Unterwasserriffe konnten in der eigenen Untersuchung zwar nicht erfasst werden, doch für den Westen Wangerooes wurde die Wanderung von Barren, die dann als Riffe am Strand anlanden können, durch die Auswertung einer Luftbildserie (1972–1999) nachvollzogen (Abb. 13).

Das angelandete Sediment bewegt sich mit einer mittleren Geschwindigkeit von ca. 350 m/a über Vorstrand und Strand Richtung Osten (WSA 1995, 3). Dies geschieht jedoch nicht geradlinig, sondern in einer Zick-Zack-Linie. Die Wellen laufen primär aus nordwestlicher Richtung und somit schräg auf den Strand auf; dabei bringen sie Sedimente in Bewegung und spülen diese schräg auf die Insel auf. Der größte Sandtransport und damit die stärksten morphologischen Veränderungen sind im Tidebereich

und der anschließenden Zone bis zu 4 m unter SKN zu finden (WSA 1995, 1). Dies ist der Bereich der sogenannten „oberen“ Sandwanderung. Im Westen ist der Vorstrand von starken Brandungskräften und der hohen Tidestromgeschwindigkeit des Seegatts zwischen Spiekeroog und Wangerooge beeinflusst. Das führt zu unregelmäßig zerrissenen Strukturen, die auf der Abb. 13 erkennbar sind. Die Inselmitte und der Osten weisen die beschriebenen Strandwälle auf, wobei der Sand die Inselmitte relativ schnell passiert und im Osten zu einem Teil sedimentiert, zum anderen über die Insel hinaus weiter Richtung Osten geführt wird (WSA 1995, 1).

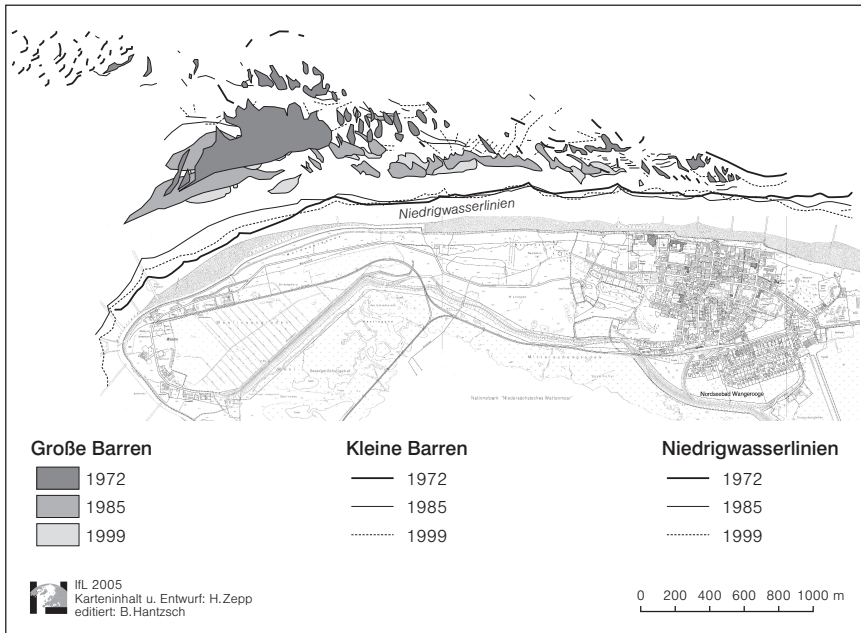


Abb. 13: Riffanlandung in den Jahren 1972, 1985 und 1999 erstellt nach Luftbildern (eigene Darstellung auf Basis der DGK 5)

### Schlussfolgerungen und Prognose

Unter den derzeitigen Bedingungen landen Riffe westlich des Hauptbade-strandes an. Diese These ist eindeutig durch die Messungen an der Pfahlreihe L belegt; sie wird durch die Beobachtung eines Inselbewohners (mündl. Aussage H. STRATMANN 2002) bestätigt, wonach 2002 die Anlandung einer größeren Barre in Höhe der Saline (R 3.425.998.57 H 5.963.021.37), 1 km westlich der Pfahlreihe L zur deutlichen Erhöhung des Strandes in diesem Bereich geführt hat. Damit trifft die Aussage HEMPELS (1983, 82) nicht zu, dass die Barren eines Riffs nach dem Bau der Bühne H den Westen der Insel

nicht mehr erreichen und meist erst östlich des Dorfes auf den Strand gesetzt würden. In welchem zeitlichen Abstand die Riffe nach dem Bau der Buhne H das Harlegatt queren und sich auf den Strand setzen, ist unklar. Zwischen den drei, in Abb. 13 dargestellten Jahren liegen 13 bzw. 14 Jahre. Es kann davon ausgegangen werden, dass zwischen den durch Luftbilder dokumentierten Jahren jeweils Riffanlandungen in ähnlichem Umfang stattgefunden haben. Vergleicht man die nach Luftbildern kartierten Riffanlandungen mit der Darstellung des Riffbogens in HEMPEL (1983, 92) ist augenscheinlich, dass der Riffbogen nicht soweit nach Norden verschoben ist, wie Hempel ihn darstellt und die Barren sich entsprechend auf Höhe des Nordweststrandes der Insel nähern. Ein Großteil des anlandenden Materials wird demnach westlich des Dorfes auf den Strand gesetzt und kann von hier aus über litorale und äolische Prozesse in die östlich angrenzenden Gebiete transportiert werden.

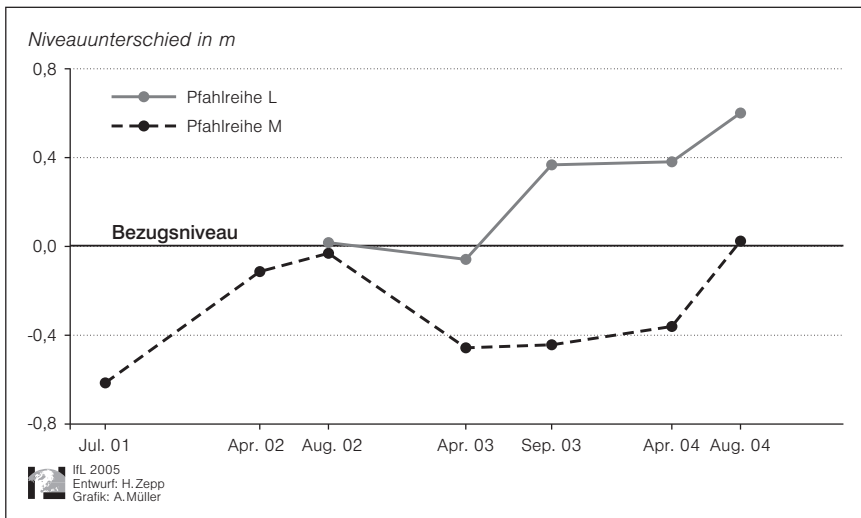


Abb. 14: Niveaunterschied der mittleren Oberfläche des Nassstrandes bezogen auf die Situation im August 2002

Ein eindeutiger Trend zu verstärkter oder verringerter Abtragung am Hauptbadestrand lässt sich anhand der durchgeführten Messungen nicht erkennen. Einer natürlichen Strandentwicklung ist durch das Deckwerk eine Grenze gesetzt, am Hauptbadestrand treten Sandauffahrten hinzu. An der Buhne L, an der die Entwicklung allein durch quasinatürliche Prozesse bestimmt ist, ist im Beobachtungszeitraum eine positive Sandbilanz des Nassstrandes feststellbar (Abb. 14). Diese positive Bilanz des Nassstrandes dürfte seit dem Jahr 2001 bestehen, denn in diesem Jahr konnten wegen zu großer

Wassertiefen in einigen Abschnitten des Nassstrandes keine Messungen durchgeführt werden. Interessanterweise stimmen die Niveauänderungen des Nassstrandes im Bereich der Bühnen L und M tendenziell überein. Daraus darf die Schlussfolgerung gezogen werden, dass die morphologische Entwicklung durch übereinstimmende Faktoren und Prozesse gesteuert werden, nämlich die zuvor erläuterte Riffanlandung und die anschließende ostwärts gerichtete Sandwanderung.

Es ist denkbar, dass zur positiven Sandbilanz des Nassstrandes an der Bühne M auch die Verfrachtung des Sandes vom aufgeschütteten Strand beigetragen hat. Die übergeordneten Prozesse dürften jedoch die Riffanlandung und der Sandtransport vom Strand der Bühne L zum Strand der Bühne M und weiter entlang des Badestrandes sein. Eine saubere Trennung beider Einflüsse ist nicht möglich. Auch am Badestrand wäre ohne die künstliche Sandzufuhr eine Situation wie vor Bühne L zu erwarten. Eindeutig übertrifft die Abtragung die Akkumulation einschließlich der Sandauffahrten. Ein natürliches Strandniveau, dem die jährlichen Sturmfluten zustreben, wäre im Bereich des Trockenstrandes sehr viel tiefer; es würde bis an die untere Strandpromenade heranreichen. Damit würde auch bei sommerlichen Hochwasserständen über dem MTHW der Strandabschnitt, der die Strandkörbe trägt, überflutet. Durch die Aufhöhungen wird der Trockenstrand auf das Niveau der unteren Strandpromenade angehoben. Wenn es keine Strandmauer bzw. Promenade und keine künstlichen Stranderhöhungen gäbe, wäre der Trockenstrand sogar weiter landwärts verschoben. Die Situation des Badestrandes vor Beginn der Aufschüttungen (Abb. 15) belegt diese Einschätzung. Um 1900 war das Strandniveau so niedrig, dass selbst im Sommer bei alltäglichen Tiden die Wellen nah an die Strandmauer gelangten und fast kein Trockenstrand vorhanden waren; insofern ähnelten die Verhältnisse am Badestrand dem heutigen Zustand im Bereich der Bühne L. Im Jahr 1870, in dem die Strandkörbe zum ersten Mal die bis dahin verwendeten Badeskarren ersetzten (WRAZIDLO 1997, 150), war der Badestrand noch nicht durch eine Strandmauer gesichert (JÜRGENS 1982, 17). Diese wurde 1899 fertiggestellt und dient heute als untere Strandpromenade (JÜRGENS 1982, 41). In den folgenden Jahrzehnten dominierte eine positive Sandbilanz (HEMPEL 1983), und die Schutzwerke am Nordstrand werden von hohen Dünen bedeckt (STREIF 1990, 238). Auch die Sandversorgung des Badestrandes war gewährleistet, obgleich dieser bei Sturmfluten tief abgetragen und zumindest in den Herbst- und Wintermonaten weiterhin bis zur Strandmauer überflutet wird. In den Sommermonaten ist der Strand in der Regel flutfrei und erreicht fast die Oberkante der Strandmauer (HOMANN 1989, 92).



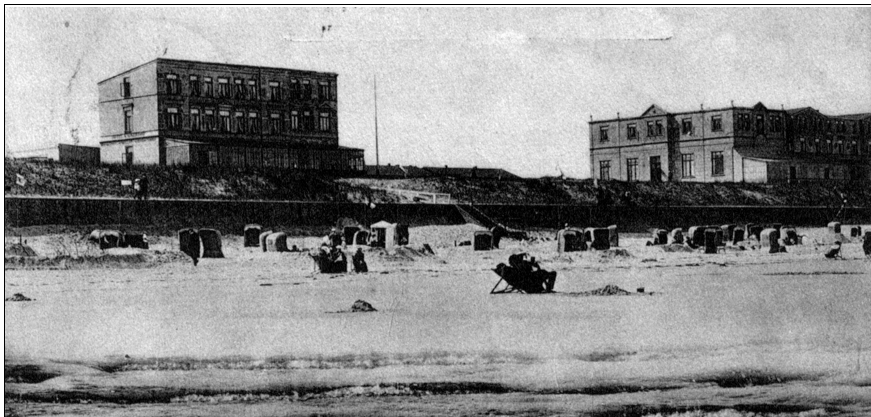


Abb. 15: Der Badestrand im Jahr 1904 (Sammlung Jürgens)

Zwischen Jahren mit positiver und Jahren mit negativer Sandbilanz am Badestrand besteht ein natürlicher Wechsel. Dieser ist vor dem Hintergrund einer langfristigen, Jahrhunderte umfassenden Entwicklung der Inselverlagerung und damit der Wanderung aller Landschaftseinheiten wie Strand, Dünen und Salzwiesen zu sehen (EHLERS u. MENSCHING 1982). Zwischen 1650 und 1850, also bis zur Lagefixierung durch die Küstenschutzmaßnahmen, sind die Dünen am Nordrand Wangeroooges um 0,6 km und der Strand oberhalb MTNW um 0,8 km nach Süden gewandert (SINDOWSKI 1973, 92). Dies bedeutet, dass kurzfristige, finanziell zweifellos willkommene Erholungsphasen die übergeordnete Tendenz zum fortgesetzten Abtrag des Strandes nicht vergessen machen dürfen. Ob es mittelfristig (im Zeitraum von 50–100 Jahren) auch zu einer weiteren Vertiefung des Nassstrandes im Vorfeld des aufgeschütteten Badestrandes kommt, ist nur durch die Auswertung langer Datenreihen und unter Berücksichtigung des mittleren Anstieges des MTNW um ca. 4 cm und des MTHW um ca. 30 cm in den letzten 100 Jahren zu entscheiden. Immerhin erreichen die aufgeschütteten Sandvolumina lokal durchaus die Größenordnungen der Materialverfrachtung durch natürliche Prozesse auf dem Nassstrand. Zu vermuten ist, dass sich mittelfristig das Strandprofil im Bereich des Nassstrandes versteilt.

Der alljährliche künstliche Aufbau des trockenen Badestrandes gleicht einer Sisyphos-Arbeit, die durch den quasinatürlichen Sedimenttransport zunichte gemacht wird. Die großen Sandvolumina während der Badesaison stehen nicht im Gleichgewicht mit den natürlichen Prozessen. Die von Touristen spontan geäußerte Vermutung, dass die Abtragung des Badestrandes auf einen in der Öffentlichkeit diskutierten, anthropogenen Klimawandel zurückzuführen sei, ist abwegig. Sie kann durch das quasinatürliche Prozessgefüge erklärt werden. Ob die künstlichen Strandaufhöhungen

möglicherweise Auswirkungen auf die östlich angrenzenden, weniger anthropogen überformten Strandbereiche haben, ist Gegenstand laufender Untersuchungen.

## Literatur

- BRÜCKNER, H., U. RADTKE u. H. STERR 2002: Trifft es nur die Armen? Der Meeresspiegelanstieg und seine Folgen für die Küstentiefländer der Erde. In: EHLERS, E. u. H. LESER (Hrsg.): *Geographie heute – für die Welt von morgen*. Gotha, Stuttgart, S. 90–98.
- EHLERS, J. u. H. MENSCHING 1982: Erläuterungen zur Geomorphologischen Karte 1:25.000 der Bundesrepublik Deutschland GMK 25 Blatt 10 2213 Wangerooge. DFG Schwerpunktprogramm, Berlin.
- EHLERS, J. u. H. MENSCHING 1983: Besonderheiten geomorphologischer Kartierungen im Wattenmeer, dargestellt am Beispiel des Blattes 10 der GMK 25 Wangerooge. In: *Zeitschrift für Geomorphologie*, 27, S. 495–510.
- EITNER, V. 1993: Sedimentdynamik im Strandbereich einer brandungsbeeinflussten, mesotidalen Barriere-Insel unter Berücksichtigung der Auswirkungen künstlicher Strandauffüllung (Norderney, südliche Nordsee). Dissertation Münster, Fachbereich Geowissenschaften.
- GEMEINDE WANGEROOGE 2004: unveröffentlichte Daten zu Sandaufspülungen und Sandauffahrten am Badestrand.
- HEMPEL, L. 1983: Der Sandhaushalt als Hauptglied in der Geoökodynamik einer Ostfriesischen Insel – Abhängigkeit von natürlichen und anthropogenen Kräften. In: *Geoökodynamik*, 4, S. 87–104.
- HEMPEL, L. 1985: Erläuterungen zur Geomorphologischen Karte 1:100.000 der Bundesrepublik Deutschland Blatt 4 C2310/C2314 Esens/Langen. GMK Schwerpunktprogramm, Berlin.
- HEMPEL, L. 1995: Die Nordseeinsel Wangerooge 1994. Ein Geoökologisches Zeitdokument nach einer Sturmflut im Januar 1994. In: *Geoökodynamik*, 16, S. 57–72.
- HOMANN, H. 1989: *Wangerooge – Der große illustrierte Inselführer*. 8. Auflage. Münster.
- JEVERSCHES WOCHENBLATT 10.11.2001: Die Tideströmung formt die Inseln. Jever.
- JÜRGENS, H.-J. 1982: *Gruss aus Wangerooge – Eine Reise in die Vergangenheit anhand alter Postkarten*. Jever.
- KOHL, H. 2004: *200 Jahre Nordseebad Wangerooge 1804–2004*. Gemeinde Nordseeheilbad Wangerooge (Hrsg.). Wangerooge.
- KRÜGER, W. 1911: Meer und Küste bei Wangerooge und die Kräfte, die auf ihre Gestaltung einwirken. In: *Die Küste*, 51 (Sonderheft – Nachdruck historischer Beiträge), 1991, S. 107–144.
- LUCK, G. 1975: *Der Einfluss der Schutzwerke der Ostfriesischen Inseln auf die morphologischen Vorgänge im Bereich der Seegaten und ihrer Einzugsgebiete*. Braunschweig.
- SEEDORF, H. H. u. H.-H. MEYER 1992: *Landeskunde Niedersachsen – Natur- und Kulturgeschichte eines Bundeslandes – Band 1: Historische Grundlagen und naturräumliche Ausstattung*. Neumünster.
- SINDOWSKI, H. 1973: *Das ostfriesische Küstengebiet. Inseln, Watten und Marschen*. Berlin, Stuttgart. (= Sammlung Geologischer Führer, 57).
- STRATMANN, H. 2002: mündliche Aussage.
- STREIF, H. 1990: *Das Ostfriesische Küstengebiet Nordsee, Inseln, Watten und Marschen*. 2. Auflage. Berlin, Stuttgart. (= Sammlung Geologischer Führer, 57).
- THORENZ, F. 2004: *Inselschutz in Niedersachsen*. In: GÖNNERT, G., H. GRAßL, D. KELLETTAT, H. KUNZ, B. PROBST, H. VON STORCH u. J. SÜNDERMANN (Hrsg.): *Proceedings der*

- Tagung ‚Klimaänderung und Küstenschutz‘ 29. und 30. November 2004. Hamburg, S. 213–221.
- WSA 1990 = WASSER- UND SCHIFFFAHRTSAMT WILHELMSHAVEN: Strombautaschenbuch.
- WSA 1992 = WASSER- UND SCHIFFFAHRTSAMT WILHELMSHAVEN: Informationsschreiben an Insulaner und Kurgäste.
- WSA 1995 = WASSER- UND SCHIFFFAHRTSAMT WILHELMSHAVEN: Eine Sammlung gewässerkundlicher Daten aus der Jadebucht und angrenzenden Bereichen – Stand: Februar 1995.
- WSA 1998 = WASSER- UND SCHIFFFAHRTSAMT WILHELMSHAVEN: Informationsschreiben an Kurgäste und Insulaner.
- WSA 2003a = WASSER- UND SCHIFFFAHRTSAMT WILHELMSHAVEN: mündliche Aussage.
- WSA 2003b = WASSER- UND SCHIFFFAHRTSAMT WILHELMSHAVEN: Tidehoch- und Tide-niedrigwasserstände am Pegel Wangerooge Nord 1993–2002, unveröffentlicht.
- WITTE, H.-H. 1970: Die Schutzarbeiten auf den Ostfriesischen Inseln. In: Die Küste, 19, S. 68–124.
- WRAZIDLO, I. 1997: Unterwegs auf Wangerooge. Göttingen.
- ZEPP, H. u. M. PARAKENINGS 2004: Strandentwicklung und Küstenerosion im Osten Wangerooges. In: GÖNNERT, G., H. GRAßL, D. KELLETAT, H. KUNZ, B. PROBST, H. VON STORCH u. J. SÜNDERMANN (Hrsg.): Proceedings der Tagung ‚Klimaänderung und Küstenschutz‘ 29. und 30. November 2004. Hamburg, S. 53–62.