

# **Ermittlung von Bemessungsseegang für Küstenschutzwerke im Wattenmeer**

Hanz D. Niemeyer & Ralf Kaiser

Niedersächsisches Landesamt für Ökologie -Forschungsstelle Küste-

An der Mühle 5, D 26548 Norderney/Ostfriesland, e-mail: [niemeyer.crs@t-online.de](mailto:niemeyer.crs@t-online.de)

## **Einleitung**

Die in den letzten Jahrzehnten erreichten Fortschritte auf den Feldern Seegangphysik, numerische Berechnungsmethoden sowie deren Optimierung für den Einsatz auf Rechnern mit steigenden Kapazitäten hat den Küsteningenieur mittlerweile in den Stand versetzt, Bemessungsseegang mit mathematischen Modellen zu ermitteln. Sie ersetzen zunehmend bisher gebräuchliche empirische und statistische Verfahren. Damit wird eine flächenhafte Bestimmung des Bemessungsseegangs möglich, die wiederum eine wesentlich verfeinerte räumliche Differenzierung der Bauwerksbelastungen gestattet, was sowohl hinsichtlich der Sicherheit als auch der Wirtschaftlichkeit bedeutsame Fortschritte beinhaltet. Ziel des KFKI-Forschungsvorhabens „Bemessungsseegang von Küstenschutzwerken und Randdünen“ war es zum einen, Möglichkeiten und Grenzen dieser verfügbar gewordenen Werkzeuge für Wattengebiete an der deutschen Nordseeküste mit ihren ausgesprochen vielfältigen morphologischen Formationen zu ergründen und zum anderen Techniken zu entwickeln, die sowohl zu verbesserten Ergebnissen führen als auch deren operationelle Anwendung erleichtern. In diesem Beitrag wird ein besonderer Schwerpunkt auf die mit der Wahl seeseitiger Randbedingungen verbundene Problematik und deren Bedeutung für die Qualität der Ergebnisse gelegt.

## **Auswahl seeseitiger Randbedingungen**

Für die Bestimmung von Randbedingungen für die mathematische Modellierung des Bemessungsseegangs in Küstengebieten bestehen folgende Verfahrensweisen:

- Anwendung von mathematischen Seegangmodellen für die vorgelagerten Tiefwassergebiete falls geeignete Windfelder zur Verfügung stehen;
- Empirische Seegangsvorhersage für angenommene stationäre Windgeschwindigkeiten, -richtungen und -wirkwege;
- Statistische Extrapolationsmethoden wie Extremwert- oder Regressionsanalysen von Seegangsmessungen im vorgelagerten Seegebiet.

Für die südliche Nordsee stehen verlässliche Windfelder für Bemessungsbedingungen bisher noch nicht zur Verfügung, daher ist der Einsatz von Modellen für Tiefwasserseegang kein geeigneter Weg zur Ermittlung der Randbedingungen für Küstenmodelle. Die klassischen empirischen Seegangsvorhersageverfahren sind für das Küstenvorfeld der südlichen Nordsee mit erheblichen Streuungen behaftet; die Ermittlung des Bemessungsseegangs wurde deshalb mit Regressionsanalysen für Wind- und Seegangsmessungen vorgenommen [Niemeyer 1983]: Wellenhöhen und -perioden wurden in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeiten und -wirkwegen sowie der Wassertiefe ermittelt. Für den Bemessungsfall wurde die Windgeschwindigkeit zu Grunde gelegt, die erforderlich ist, um den Stau des Bemessungswasserstandes zu erzeugen.

So ermittelte Bemessungsparameter sind völlig hinreichend, um die parametrischen mathematischen Seegangmodelle der ersten und zweiten Generation mit hinreichenden Randbedingungen zu steuern, für vollspektrale Modellen der dritten Generation wie SWAN [BOOIJ et al. 2000] gilt dies nicht mehr. Von daher stellt sich die Frage nach der Auswahl für den Bemessungsfall geeigneter Richtungsspektren, mit denen vollspektrale mathematische Seegangmodelle betrieben werden können.

Testweise werden hierfür verschiedene parametrisierte Spektren wie JONSWAP oder TORSETHAUGEN als erste und zweite Näherung herangezogen, die für die seinerzeit mit der Regressionsanalyse ermittelten Bemessungsparameter repräsentativ sind. Wesentlichstes zu

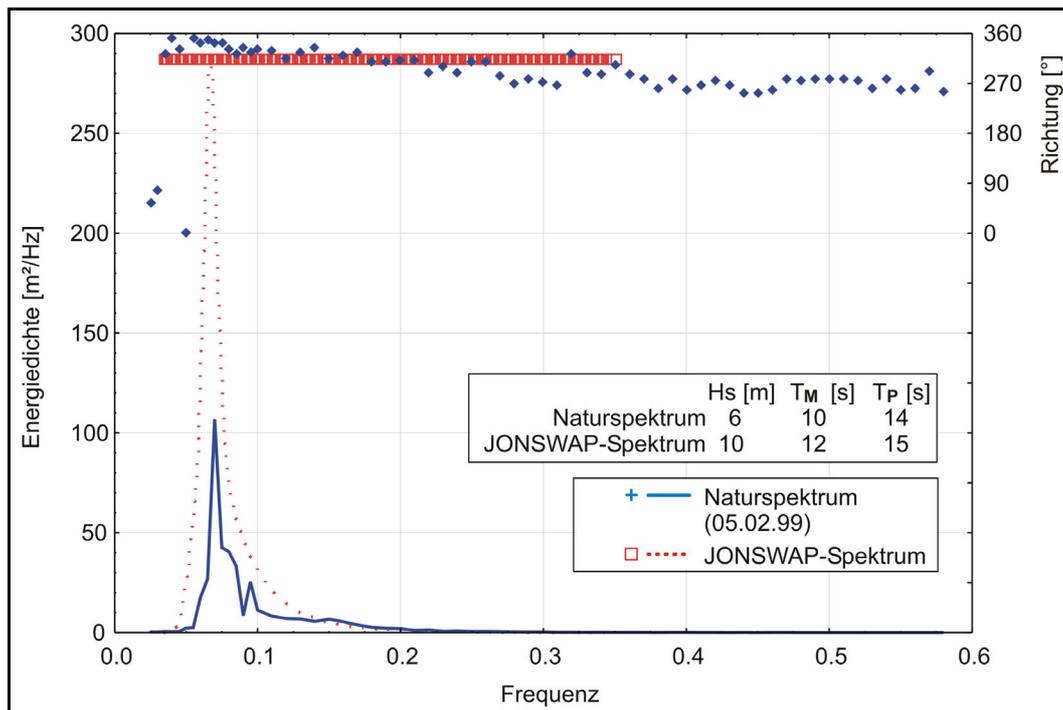


Abb. 1: Gemessenes und parametrisches JONSWAP- Spektrum im Küstenvorfeld

erwartendes Problem ist eine möglicherweise unzureichende Naturähnlichkeit der Spektralform hinsichtlich der für die Nordsee typischen Überlagerungen von Seegangssystemen (Abb. 1), wengleich das TORSETHAUGEN-Spektrum einen Ansatz zur Berücksichtigung dieses Effekts darstellt. Allerdings verbleibt auch dafür die Frage der Übertragbarkeit auf den Bereich des Schelfmeeres der südlichen Nordsee. Hier wird ein Test mit einem JONSWAP-Spektrum im Vergleich mit einem gemessenen Naturespektrum dargestellt (Abb. 1).

### Effekte seeseitiger Randbedingungen auf den küstennahen Bemessungsseegang

#### – Spektralform

Der von See auf die Küste einschwingende Seegang erfährt durch die Brandung auf den Riffbögen erhebliche Änderungen, die im wesentlichen durch eine sehr hohe Energieumwandlung und eine sehr weitgehende Änderung seiner spektralen Struktur zu einer Ausbildung mehrerer Peaks gekennzeichnet ist [Niemeyer 1987]. Bei der Verwendung parametrisierter Spektren als seeseitiger Eingangsgröße bei der mathematischen Modellierung ist daher zu prüfen, ob dabei analoge charakteristische spektrale Formen reproduziert werden wie bei gemessenen Spektren, in denen zusätzlich zur prägenden Windsee auch Dünungsanteile enthalten sind. Hierzu wurden Untersuchungen mit entsprechenden Spektren (Abb. 1) vorgenommen. Es zeigt sich, dass auf dem Inselvorstrand die dominanten spektralen Strukturen unabhängig von der Charakteristik des als seeseitiger Randbedingung verwendeten Spektrums ausbilden (Abb. 2): die Energiedichteverteilung ist durch Maxima in zwei Frequenzbereichen gekennzeichnet, wobei eine höhere Konzentration in dem Peak vorliegt, welcher der im Seegebiet auftretenden Peakfrequenz zuzuordnen ist. Die Ausbildung des zweiten Peakbereichs ist offensichtlich nichtlinearen Wellen-Wellen-Wechselwirkungen zuzuordnen und wird durch eine hinreichend naturähnliche Reproduktion der hydrodynamisch-morphologischen Wechselwirkungen im Modell unabhängig von der vereinfachten Struktur parametrischer Spektren als seeseitige Randbedingung naturähnlich reproduziert. Zwar weist das modellierte Spektrum bei Nutzung eines gemessenen Spektrums als seeseitiger Randbedingung eine stärkere Feinstrukturierung aus, die aber als nachrangig in Bezug auf die dominanten Hauptelemente anzusehen sind.

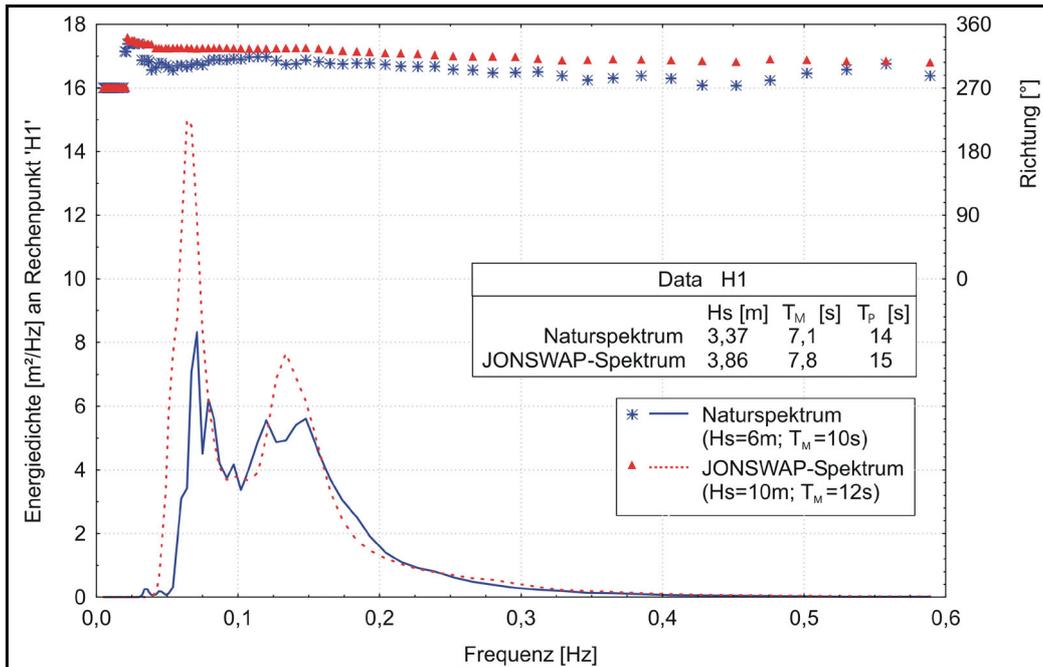


Abb. 2: Vergleich für den Inselvorstrand modellierter Spektren für unterschiedliche seeseitige Randbedingungen

– Morphologische Filterwirkungen

Das Seegangsklima auf Watten wird in hohem Maß durch ein morphodynamisches Gleichgewicht bestimmt, das vor allem durch eine konstante relative Wellenhöhe gekennzeichnet ist [Niemeyer 1983; Niemeyer et al. 1996]. Es ist von hoher Bedeutung für die Bemessung von Deichen an Wattenküsten, ob und inwieweit dieses Gleichgewicht auch für den Bemessungsfall Bestand haben wird. Daher sind für ein solches Gebiet Vergleiche für unterschiedliche seeseitige Randbedingungen vorgenommen worden. Es zeigt sich, dass bei den kennzeichnenden Seegangparametern auf den Watten und Hellern vor der Festlandsküste nur sehr geringe Unterschiede auftreten, die zudem durch Streuung und nicht durch einseitige Abweichungen gekennzeichnet sind

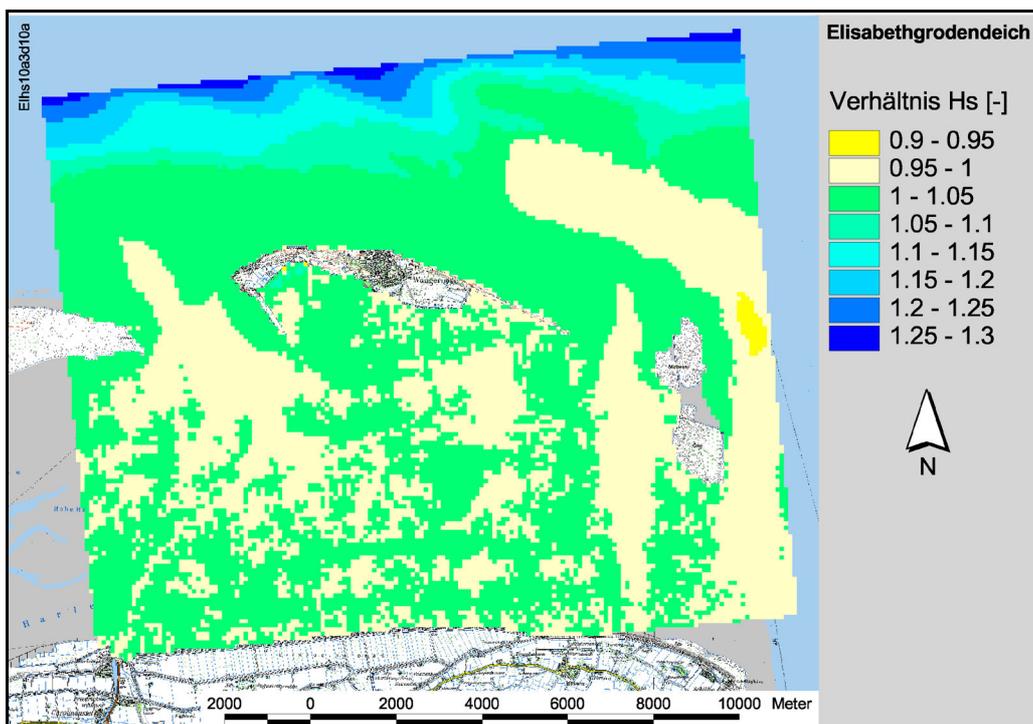


Abb. 3: Vergleich der Ergebnisse der Modellierungen mit einem gemessenen und einem JONSWAP-Spektrum für die signifikanten Wellenhöhen

(Abb. 3 - 5). In jedem Fall wird im engeren Vorfeld der Seedeiche die Größenordnung von  $\pm 5\%$  nicht überschritten, was in der Größenordnung einer zu erwartenden Modellgenauigkeit liegt. Insgesamt ist als Tendenz festzuhalten, dass die Unterschiede umso geringer sind, je näher der betrachtete Bereich zur Festlandsküste liegt. Die Ergebnisse verdeutlichen eindrucksvoll die morphologische Filterwirkung, die von den morphologischen Formation und insbesondere den

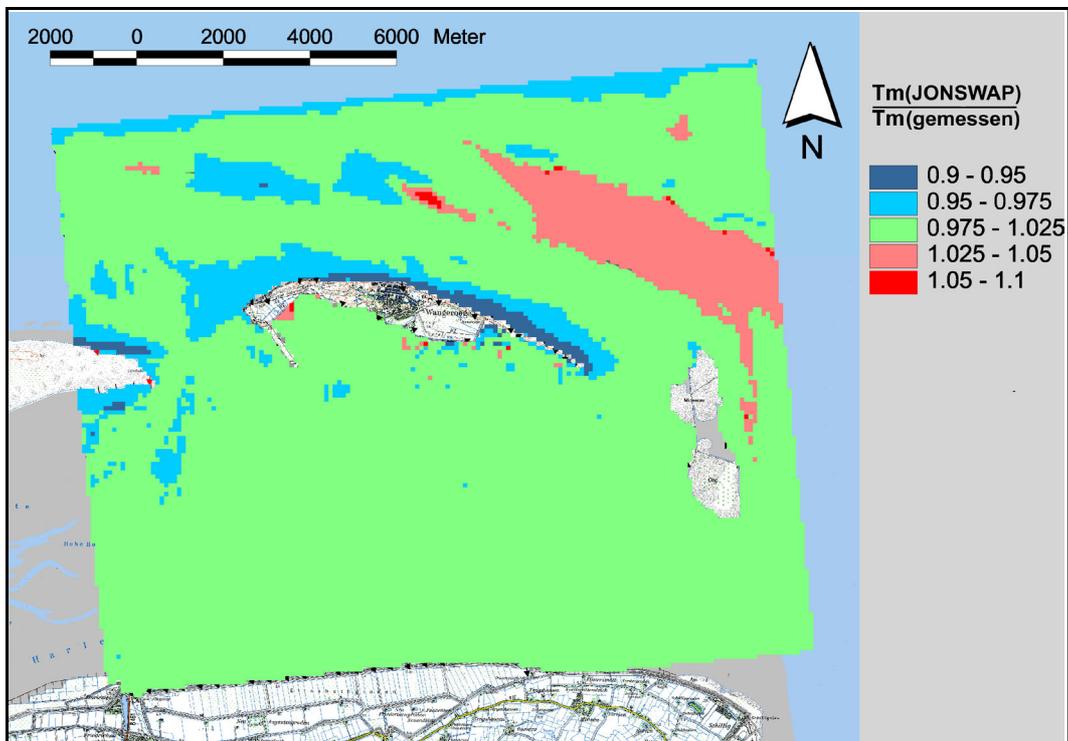


Abb.4: Vergleich der Ergebnisse der Modellierungen mit einem gemessenen und einem JONSWAP-Spektrum für die mittleren Wellenperioden

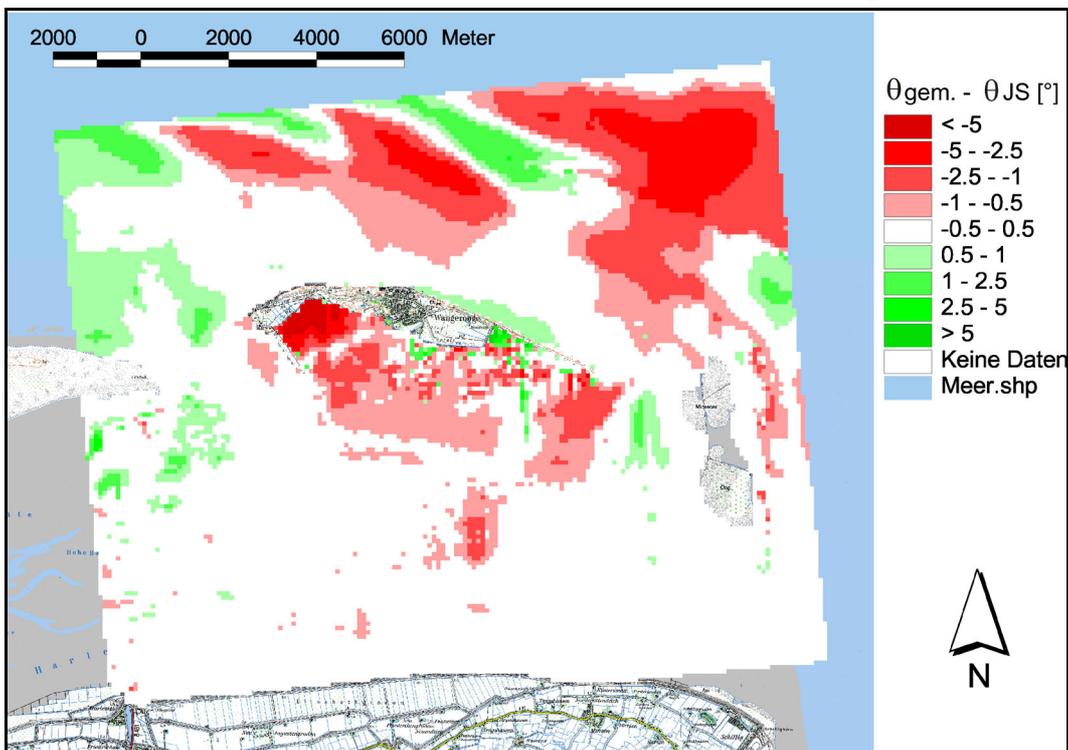


Abb. 5: Vergleich der Ergebnisse der Modellierungen mit einem gemessenen und einem JONSWAP-Spektrum für die mittleren Wellenrichtungen

Watten oberhalb des Tidemittelwasser über ihre flächenhafte Wirkung auf den von See her einschwingenden Seegang ausüben. Für die Bemessung von Seedeichen an der Festlandsküste sind somit die mittelfristig durch das dynamische Gleichgewicht von Morphologie und Starkseegang bestimmten Wattwassertiefen die maßgebende Randbedingung: sie stellen -unabhängig von der Seegangsintensität oberhalb eines Schwellenwertes- für den Bemessungsseegang einen über seine Großflächigkeit wirkenden Dremmel dar.

#### **Literatur**

- Booij, N.; Ris, R.C.; Holthuijsen, L.H., [1999]: A Third-Generation Wave Model for Coastal Regions, Part I, Model description and validation, J. Geoph. Research, 104, C4
- Kaiser, R.; Niemeyer, H.D. [1999]: Changing of local wave climate due to ebb-delta migration. Proc. 26th Int. Conf. Coast. Engg., Copenhagen/Denmark, ASCE, New York/NY, USA
- Kaiser, R.; Weiler, B.; Niemeyer, H.D. [2001]: Evaluation of coastal design waves for coastal protection structures in the Wadden Sea. Proc. 27th Int. Conf. Coast. Engg., Sydney/Australia, ASCE, Reston/Va., USA
- Niemeyer, H.D. [1983]: Über das Seegangsklima an einer inselgeschützten Wattküste. Bundesmin. Forsch. & Technol., Forschungsber. MF 0203
- Niemeyer, H.D. [1987]: Changing of Wave Climate due to Breaking on a Tidal Inlet Bar. Proc. 20th Intern. Conf. Coastal Engg. Taipei/RoC Taiwan. ASCE, New York
- Niemeyer, H.D. [2001]: Bemessung von See- und Ästuardeichen in Niedersachsen. Die Küste, H.64
- Niemeyer, H.D.; Kaiser, R.; Brandt, G.; Gärtner, J.; Glaser, D.; Grüne, J.; Jensen, F. [1996]: Naturmessungen von Wattseegang an der deutschen Nordseeküste. Ber. Forsch.-Stelle Küste, Bd. 40
- Niemeyer, H.D., Kaiser, R., Weiler, B. [2000]: Design Wave Evaluation for Coastal Protection Structures in Wadden Sea Areas. Proc. 6<sup>th</sup> Int. Worksh. Wave Hindcast. & Forecast., Monterey. Environm. o. Canada
- Niemeyer, H.D., Kaiser, R. [2001]: Design Wave Evaluation for Coastal Protection Structures in the Wadden Sea. Proc. 4<sup>th</sup> Int. Symp. Ocean Wave Meas. & Analysis 2001. San Francisco. ASCE, Reston/Va., USA