

Bemessung von See- und Ästuardeichen in Niedersachsen

Von HANZ DIETER NIEMEYER

Zusammenfassung

Nach der Sturmflutkatastrophe von 1953 in den Niederlanden ist in Deutschland die Strategie im Insel- und Küstenschutz vom Reagieren auf Vorsorge umorientiert worden. Dazu wurde im Land Niedersachsen mit dem Niedersächsischen Deichgesetz eine verlässliche planrechtliche Grundlage für Behörden und Deichverbände geschaffen. Für die adäquate Anwendung wurde ein ausführlicher Kommentar erstellt. Im Deichgesetz ist unter anderem auch die Bemessung der Deiche in einer Form geregelt, die mittelbar bei der Auswahl der Bemessungsverfahren verbindliche Vorgaben beinhaltet.

Es wird der Stand der Technik bei der Bemessung von See- und Ästuardeichen in Niedersachsen dargestellt. Auf der Basis bewährter Grundlagen wird die Bemessung methodisch weiterentwickelt. Dabei wird einerseits strikte Rechtskonformität gewahrt; andererseits werden neueste Erkenntnisse genutzt, um damit auch durch Erweiterung und Verbesserungen des anzuwendenden Instrumentariums die Bemessung hinsichtlich Sicherheit und Wirtschaftlichkeit zu optimieren.

Summary

The experience derived from the catastrophic storm surge in the Netherlands in 1953 led to initiatives in neighboring Germany to reconsider coastal protection strategies. The major result of that process was the basic change to anticipating design procedures instead of the traditional method to respond to extreme storm surges which had occurred. In order to provide state agencies for coastal protection and the civic dyke associations with a suitable legal basis for their necessary activities the Lower Saxony Dyke Act was established which also determines dyke design procedures.

The state of the art in the evaluation of design water levels, waves and wave run-up for dykes is described. Based on approved techniques, progress in design procedures is gained by methodical developments which are governed by the existing legal boundary conditions and by expansion and improvement of available tools. This process permits an optimization of dyke design with respect to both safety and costs.

Inhalt

1. Grundsätze	2
2. Bemessungswasserstände	2
2.1 Bemessungswasserstände für Seedeiche	2
2.2 Bemessungswasserstände für Ästuardeiche	3
3. Bemessungswellenauflauf	5
3.1 Bemessungsseegang	5
3.2 Extrapolationsverfahren	7
3.3 Rechnerische Ermittlung	7
3.4 Zulässiger Wellenüberlauf	9
3.5 Profilwirkung	10
4. Zusammenfassung und Ausblick	11
5. Danksagung	12
6. Schriftenverzeichnis	12
7. Symbole und Zeichen	14

1. Grundsätze

Die Bemessung von See- und Ästuardeichen orientiert sich am Niedersächsischen Deichgesetz (NDG), in dem sie als Hauptdeiche angesprochen werden. Dazu werden im § 4 folgende Maßgaben benannt:

- zu erwartendes höchstes Tidehochwasser (maßgebender Sturmflutwasserstand),
- örtlicher Wellenauflauf.

Eine konkrete Umsetzung für die Ermittlung des „zu erwartenden höchsten Tidehochwassers“ ist im Kommentar zum NDG (LÜDERS u. LEIS, 1964) angegeben. Für den Wellenauflauf wird dort empfohlen, den „beobachteten größten Wellenauflauf“ heranzuziehen. Hierunter sollte aber keinesfalls die unveränderte Übernahme eines für bekannte Sturmfluten beobachteten Wellenauflaufs verstanden werden, da damit für den Bemessungswasserstand eine Unterbemessung vorliegen würde.

Darüber hinaus sind für die Bemessungspraxis und funktionale Gestaltung von See- und Ästuardeichen insbesondere von den Arbeitsgruppen *Küstenschutzwerke* (1962, LÜDERS, 1966) und *Sturmfluten* (1962, HENSEN, 1964) sowie dem *Technisch-Wissenschaftlichen Beirat* (TWB, 1967) des seinerzeitigen *Küstenausschusses Nord- und Ostsee* Empfehlungen formuliert worden, die damals auf dem Erlasswege den Charakter verbindlicher Richtlinien erhielten. Sie wurden später stets anhand der Erkenntnisse aus nachfolgenden schweren Sturmfluten in Niedersachsen durch Ingenieurkommissionen überprüft, zuletzt 1976 nach den Sturmfluten vom Januar (INGENIEURKOMMISSION, 1979).

2. Bemessungswasserstände

2.1 Bemessungswasserstände für Seedeiche

Im Kommentar zum NDG wird das Einzelwertverfahren (HUNDT, 1953; LÜDERS, 1957) sowie das auf Überlegungen von LIESE zurückgehende Vergleichsverfahren zur Ermittlung von Bemessungswasserständen angegeben (Abb. 1). Beiden Verfahren ist der deterministische Ansatz gemein; er entspricht der stringenten formalen Vorgabe des § 4 NDG, die einerseits eine wahrscheinlichkeitstheoretische Ermittlung der Bemessungswasserstände für Deiche ausschließt und andererseits ein deterministisch begründetes Maximum verlangt.

Grundsätzlich sollte die Ermittlung von Bemessungswasserständen nach dem Einzelwertverfahren erfolgen, da es den formalen Kriterien des § 4 offensichtlich entspricht. Das Vergleichsverfahren dient zur Überprüfung der bleibenden Gültigkeit des Bemessungswasserstands bei späteren Sturmfluten; bei gleichen Ausgangsdaten und dem üblichen Sicherheitszuschlag von 5 dm muss der danach ermittelte Wert bei den Gegebenheiten an der niedersächsischen Küste immer unterhalb dem nach dem Einzelwertverfahren ermittelten liegen. Das Vergleichsverfahren ist dennoch auch zur Ermittlung von Bemessungswasserständen für Deiche verwendet worden, wenn den Entwurfsaufstellern keine hinreichende Datengrundlagen für die Anwendung des Einzelwertverfahrens zugänglich waren.

In jüngerer Zeit sind Modifikationen des Einzelwertverfahrens vorgenommen worden, bei denen der Einzelwert $a = MThw$ (Abb. 1) durch das aktuelle astronomische Thw der jeweiligen Sturmflut ersetzt wurde. Dazu hat es 1998 durch das Niedersächsische Umweltministerium als oberste Deichbehörde eine grundsätzliche Festlegung gegeben: Bei zwingend erforderlicher Orientierung am § 4 des NDG ist weiterhin das Einzelwertverfahren in der Version anzuwenden, die im Kommentar zum NDG (LÜDERS u. LEIS, 1964) und im Gene-

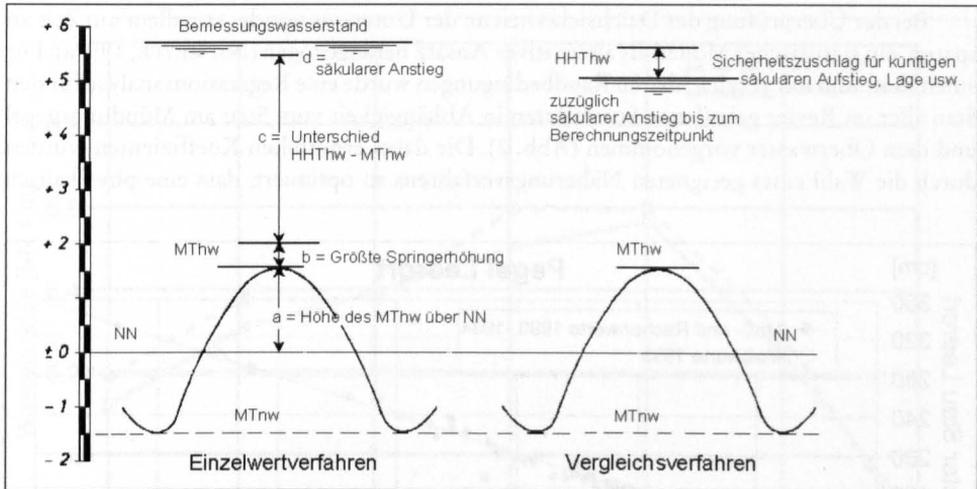


Abb. 1: Ermittlung der Bemessungswasserstände nach dem Einzelwertverfahren und Prüfung durch das Vergleichsverfahren (LÜDERS u. LEIS, 1964; ML, 1973)

ralplan Küstenschutz Niedersachsen (ML, 1973) beschrieben wird (Abb. 1). Diese Vorgehensweise wird neben den verbindlichen planrechtlichen Gegebenheiten durch folgende fachlichen Gesichtspunkte gestützt:

- Die Ermittlung des Staumaximums als Differenz von Sturmflut- und berechnetem Tidescheitel ist ohnehin nur eine Näherung, da beide fast nie zeitlich zusammenfallen, sondern mit bei jeder Sturmflut variierenden Phasenverschiebungen auftreten.
- Die Bedeutung örtlicher Spring- und Nippvariationen an der Küste ist für den sich großräumig aufbauenden Stau vernachlässigbar. Sie verringern sich im vorgelagerten Seegebiet mit wachsendem Abstand zur Küste innerhalb des Bereichs der Staubildung bei sehr schweren Sturmfluten bis auf Null im Bereich der Amphidromie. Darüber hinaus sind sie küstenfern ohne Bedeutung.
- die Addition der maximalen Springtideerhöhung (b) zum MThw und gemessenem maximalem Stau (c) stellt eine Sicherheitsmarge hinsichtlich eines möglichen größeren Staus als dem bisher erfassten dar.

Die Berechtigung des im letzten Punkt genannten Vorgehens wird bereits dadurch verdeutlicht, dass die Marken historischer Sturmfluten für Gebiete wie Ems (NIEMEYER, 1997a) oder Jade (NIEMEYER, 1997b) höhere Stauwerte beinhalten als die in den Bemessungswasserständen berücksichtigten gemessenen Werte.

2.2 Bemessungswasserstände für Ästuardeiche

Mit dem Einzelwertverfahren ist die unmittelbare Ermittlung von Bemessungswasserständen für Ästuardeiche nicht möglich, da es die Wirkung des Oberwassers auf die Sturmflutwasserstände nicht miterfasst. In der Vergangenheit sind daher für die Tideströme Ems, Weser und Elbe die Bemessungswasserstände mit hydraulischen Modellversuchen ermittelt worden, zuletzt für die Tideelbe mit einem deterministischen mathematischen Modell (LAG, 1988). Allerdings ist diese Vorgehensweise mit großem Aufwand und entsprechenden Kosten verbunden.

Bei der Überprüfung der Deichsicherheit an der Unterems wurde, vor allem um Zeit zu sparen, ein statistisches Modell als alternativer Ansatz herangezogen (NIEMEYER, 1997a): Für einen Zeitraum mit vergleichbaren Randbedingungen wurde eine Regressionsanalyse für den Stau aller im Revier gelaufenen Sturmfluten in Abhängigkeit vom Stau am Mündungspegel und dem Oberwasser vorgenommen (Abb. 2). Die dabei ermittelten Koeffizienten wurden durch die Wahl eines geeigneten Näherungsverfahrens so optimiert, dass eine physikalisch

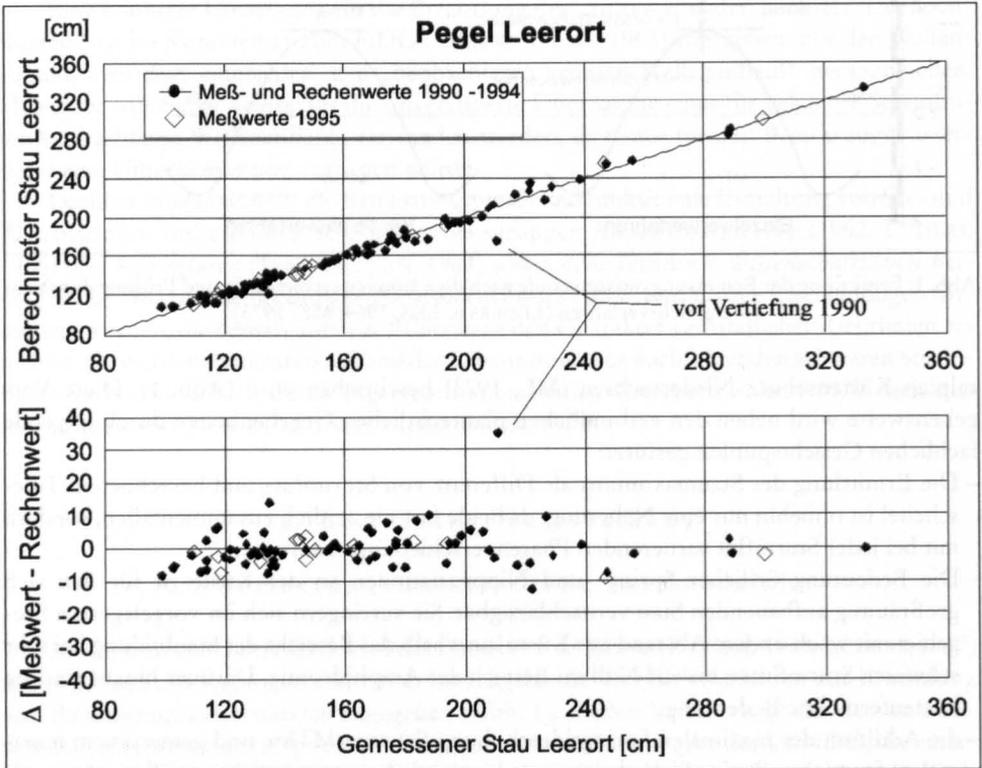


Abb. 2: Ergebnisse des statistischen Modells zur Ermittlung des Staus im Ästuar (NIEMEYER, 1997); oben: Streudiagramm, unten: absoluter Fehler des Modells

plausible Extrapolation möglich war. Auf dieser Grundlage konnte für den nach dem Einzelwertverfahren im Mündungsgebiet ermittelten Stau des Bemessungswasserstandes und dem als maßgeblich definierten Oberwasser der Stau des Bemessungswasserstandes im Revier ermittelt werden. Über dessen Addition mit MThw und dem vorgegebenen Maß für den säkularen Anstieg des MThw im Bemessungszeitraum wurde darauf aufbauend der Bemessungswasserstand festgelegt. Die nachträgliche Anwendung eines räumlich hochauflösenden deterministischen hydrodynamisch-numerischen Modells (BAW, 1997) wies eine hohe Übereinstimmung auf (Abb. 3); teilweise sind die geringen Unterschiede auf unterschiedliche Ausgangswerte für den Mündungspegel Emden zurückzuführen. Damit wurde ebenfalls die Eignung des statistischen Modells für die Ermittlung von Bemessungswasserständen in Ästuaren eindeutig bestätigt.

Nachteil des statistischen Modells ist allerdings, dass es lediglich Ergebnisse zu den Scheitelwerten liefert, nicht aber zum Tide- oder Stauverlauf. Hinsichtlich der Ermittlung

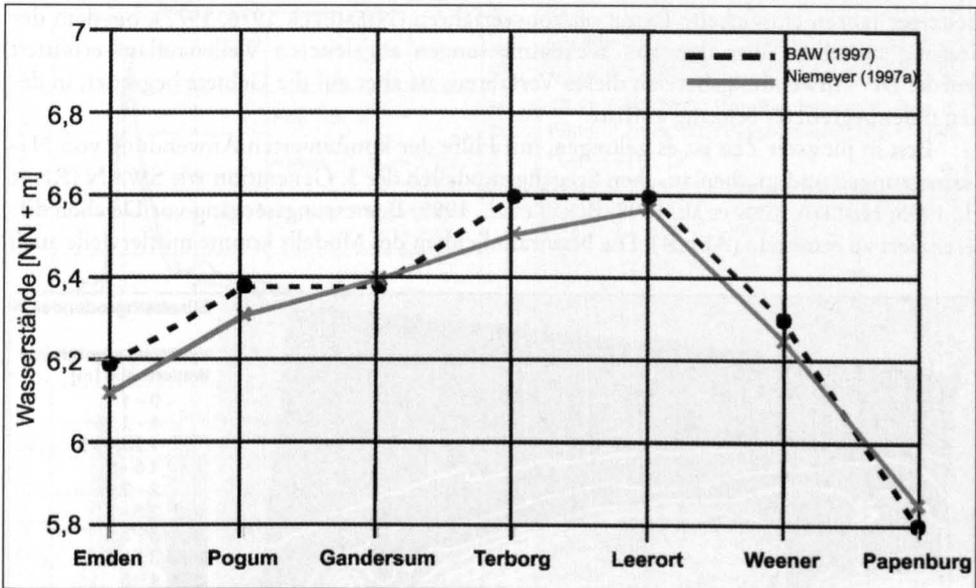


Abb. 3: Vergleich der Ergebnisse für die Bemessung auf Grundlage des statistischen Modells (NIEMEYER, 1997a) und des deterministischen Modells (BAW, 1997)

des Bemessungswasserstandes ist dieser Nachteil aber bedeutungslos. Insofern ist dessen Bestimmung mit einem geeigneten statistischen Modell sinnvoll, da hiermit – bei geringerem Aufwand – ein größeres Kollektiv von Ereignissen berücksichtigt werden kann als bei der Anwendung eines deterministischen hydrodynamisch-numerischen Modells. Damit sind außerdem Trendänderungen im Sturmflutverlauf eher zu erfassen als bei der Beschränkung auf einige wenige Sturmfluten. Da weiterhin keine Genauigkeitseinbußen mit der Anwendung des statistischen Modells verbunden sind und gegenüber numerischen Modellläufen eine erhebliche Ersparnis an Kosten und Zeit zu verzeichnen ist, kann es als geeignete Alternative zu bisher verwendeten Werkzeugen eingestuft werden.

3. Bemessungswellenauflauf

3.1 Bemessungsseegang

Bereits ALBERT BRAHMS (1754, 1757) hat dargelegt, wie der Bemessungswellenauflauf in Abhängigkeit vom verursachenden Seegang zu ermitteln ist (LUCK u. NIEMEYER, 1980; NIEMEYER et al., 1996). Seit den fünfziger Jahren dieses Jahrhunderts sind eine Reihe von Wellenauflaufformeln entwickelt worden (TAW, 1972), die unter Verwendung von Seegangsparametern und der Neigung der Deichaußenböschung die Berechnung des Bemessungswellenauflaufs ermöglichen.

An den Küsten und in den Ästuaren Niedersachsens war jedoch die Ermittlung des dazu benötigten Bemessungsseegangs mit erheblichen Schwierigkeiten verbunden. Es sind zwar Versuche unternommen worden, den Bemessungsseegang mit Hilfe konventioneller Vorhersageverfahren zu ermitteln, aber Naturmessungen haben später gezeigt (NIEMEYER, 1983), dass damit erzielte Ergebnisse nicht vertrauenswürdig sind. Einen Ausweg bot das in den

siebziger Jahren entwickelte Extrapolationsverfahren (NIEMEYER 1976, 1977), bei dem der Seegang mittelbar über den aus Teekeinnmessungen abgeleiteten Wellenauflauf ermittelt wurde. Der Anwendungsbereich dieses Verfahrens ist aber auf die Gebiete begrenzt, in denen tiefenbegrenzter Seegang auftritt.

Erst in jüngster Zeit ist es gelungen, mit Hilfe der kombinierten Anwendung von Naturmessungen und mathematischen Seegangsmoellen der 3. Generation wie SWAN (RIS et al., 1995; HOLTHUIJSEN et al., 1998; BOOIJ et al., 1999) Bemessungsseegang vor Deichen differenziert zu ermitteln (Abb. 4). Die Naturähnlichkeit des Modells konnte mittlerweile auch

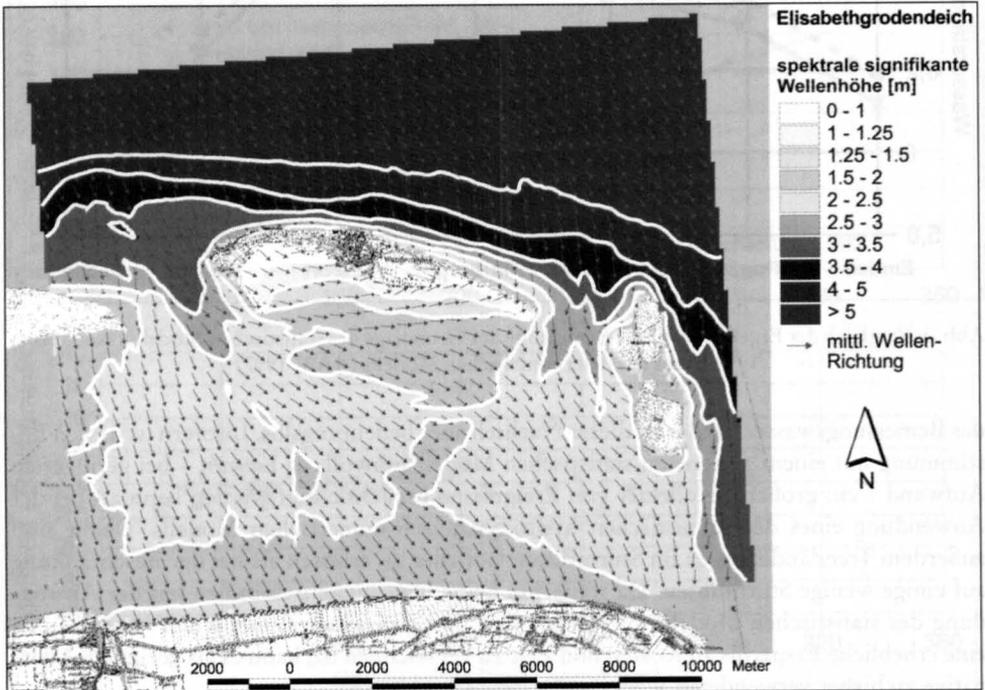


Abb. 4: Ermittlung des Bemessungsseegangs für eine Deichstrecke am Festland; Projekt Elisabethgrödenwehr, Wangerland: spektrale signifikante Wellenhöhen und mittlere Wellenrichtungen (NIEMEYER u. KAISER, 1998b)

für Gebiete an der deutschen Nordseeküste mit komplexer Topographie und starken hydrodynamisch-morphologischen Wechselwirkungen für Normaltiden (KAISER u. NIEMEYER, 1999) und Sturmfluten (NIEMEYER et al., 2000) nachgewiesen werden (Abb. 5). Durch Nutzung des bekannten Zusammenhangs von Seegang und Wassertiefen auf Watten (NIEMEYER, 1983) konnte dabei auch eine geeignete Verfahrensweise gefunden werden, um die spektrale Struktur natürlichen Seegangs bei der Ermittlung des Bemessungsseegangs vor Deichen einzubeziehen (NIEMEYER u. KAISER, 1998b; NIEMEYER et al., 2000). Allerdings ist diese Verfahrensweise noch nicht uneingeschränkt in allen Küstengebieten anwendbar. Daher wird derzeit in einem vom Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) über das Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (KFKI) geförderten Forschungsvorhaben an einer weiteren Entwicklung von Verfahren zur Ermittlung des Bemessungsseegangs gearbeitet. Das Vorhaben wird von der Forschungsstelle Küste des Niedersächsischen Landesamtes für Ökologie in Zusammenarbeit mit dem Geschäftsfeld

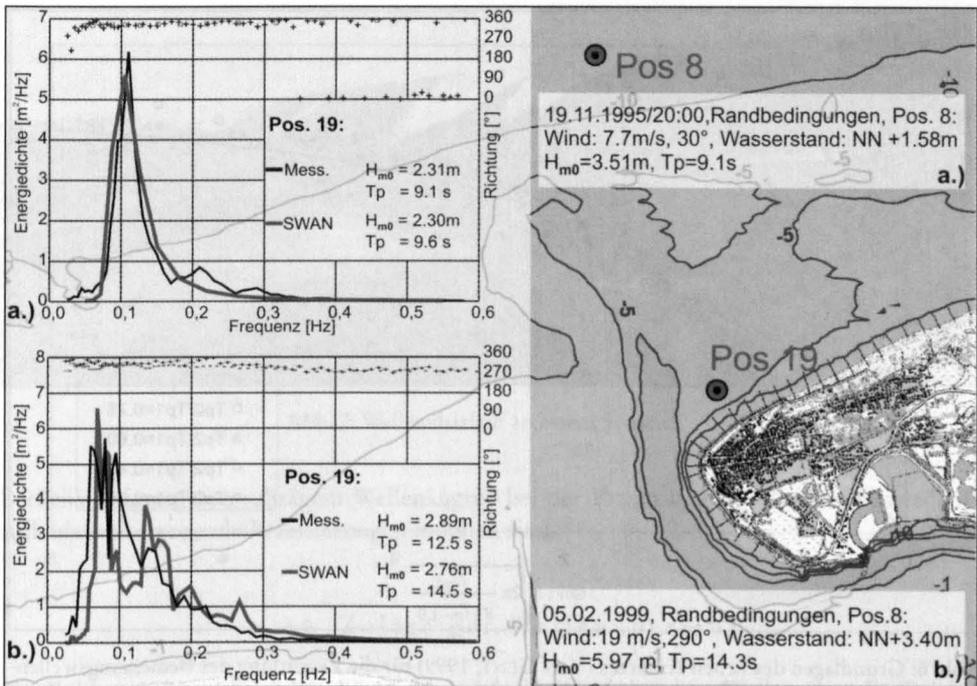


Abb. 5: Verifikation des mathematischen Seegangmodells SWAN für den Inselvorstrand von Norderney (Pos. 19): a.) Normaltide (KAISER u. NIEMEYER, 1999); b.) Sturmflut (NIEMEYER et al., 2000)

Seeschiffahrt des Deutschen Wetterdienstes und dem Amt für ländliche Räume Husum durchgeführt.

3.2 Extrapolationsverfahren

Das Extrapolationsverfahren (NIEMEYER, 1976, 1977) ist in Bereichen anwendbar, in denen tiefenbegrenzter Seegang auftritt; es beruht auf der Erkenntnis, dass die Wassertiefen deichnaher Watten und Heller in einem dynamischen Gleichgewicht mit dem Seegang stehen. Es werden aus dem – über die nach Sturmfluten eingemessenen Teekgrenzen ermittelten – Wellenaufbau kennzeichnende Seegangparameter abgeleitet. Über die konstante Relation zu den örtlichen Wassertiefen erfolgt dann die Extrapolation für den Bemessungsfall (Abb. 8, NIEMEYER et al., 2001).

Das Verfahren ist mittlerweile durch Naturdaten als hinreichend sicher verifiziert worden (NIEMEYER et al., 1995, 2001). Es wird dort verwandt, wo derzeit – auch mit mathematischen Modellen der 3. Generation – noch keine hinreichend genaue Ermittlung des Bemessungsseegangs möglich ist, wie beispielsweise im Lee der Ostfriesischen Inseln (NIEMEYER u. KAISER, 1999a).

3.3 Rechnerische Ermittlung

In jüngerer Zeit sind – insbesondere in großmaßstäblichen Modellen – neue Formelansätze zur Bestimmung des Bemessungswellenaufbaus entwickelt worden. Als ein besonders gut abgesichertes Verfahren gilt der Ansatz von VAN DER MEER u. DE WAAL (1993), bei

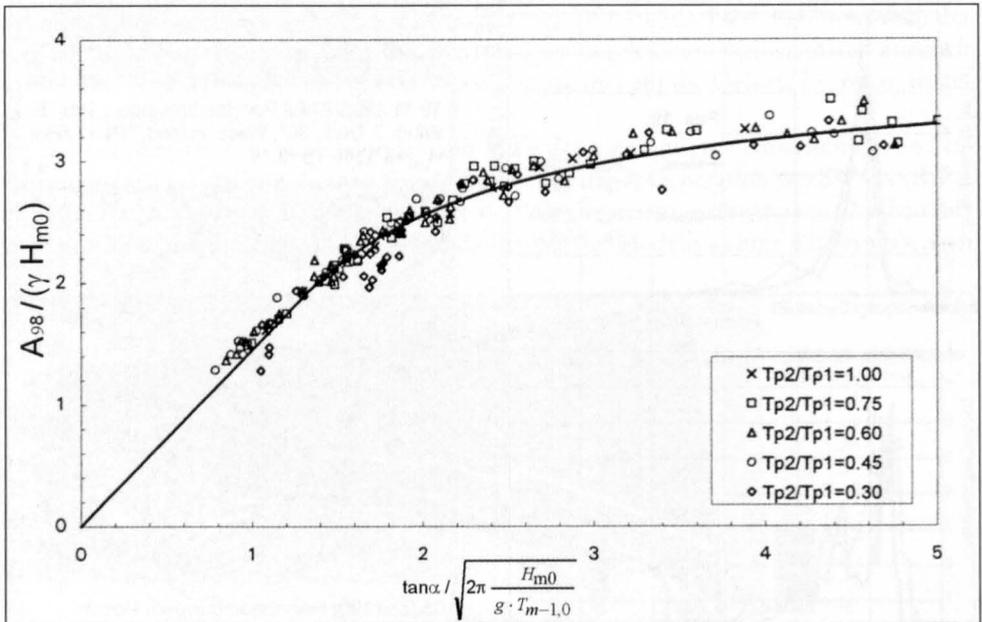


Abb. 6: Grundlagen des neuen Ansatzes (VAN GENT, 1999) für die Ermittlung des Bemessungswellenaufbaus A_{97} bei Bemessung von See- und Ästuardeichen in Niedersachsen (Gl. 1)

dem der spektrale Charakter des Seegangs ansatzweise berücksichtigt wird. Es hat sich aber gezeigt, dass dieses Verfahren beim Auftreten von Spektren mit Mehrfachpeaks, die an der deutschen Nordseeküste häufig in typischer Ausprägung auftreten (NIEMEYER, 1983; NIEMEYER et al., 1995), unzureichend ist. Neuere Untersuchungen in den Niederlanden haben hinsichtlich dieser Problematik einen erfolversprechenderen Ansatz aufgezeigt (VAN GENT, 1999): Die Verwendung der Energieperiode $T_{m-1,0}$ (BATTJES, 1969) führt bei Doppelpespektren zu deutlich verbesserten Ergebnissen gegenüber dem Ansatz von VAN DER MEER u. DE WAAL (1993). In einem vom BMBF geförderten KFKI-Projekt des Leichtweiß-Instituts für Wasserbau der TU Braunschweig und des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik der Universität Essen konnten diese Ergebnisse auch für stärker strukturierte Spektren bestätigt werden (OUMERACI et al., 2000). Im Gegensatz zum bisher verwandten modifizierten Ansatz von VAN DER MEER u. DE WAAL (1993) wird daher seit 2001 ein modifizierter Ansatz nach VAN GENT (1999) (Abb. 6) für die Ermittlung des Bemessungswellenaufbaus verwandt:

$$A_{97} = 1,62 \cdot \sqrt{\frac{g}{2 \cdot \pi}} \cdot H_{m0} \cdot T_{m-1,0} \cdot \tan \alpha \cdot \gamma_R \quad (1)$$

Bei schrägem Wellenangriff wird entsprechend der Untersuchungsergebnisse niederländischer Modellversuche für naturähnlichen, kurzkämmigen Seegang (VAN DER MEER u. DE WAAL, 1990) eine Abminderung des Bemessungswellenaufbaus um den Faktor γ_R vorgenommen:

$$\gamma_R = 1 - 0,0022 \cdot \beta \quad (2)$$

Zudem wird zur Zeit in einem vom BMBF geförderten KFKI-Forschungsvorhaben, das gemeinsam vom Franzius- und Leichtweiß-Institut betrieben wird, untersucht, ob bei der

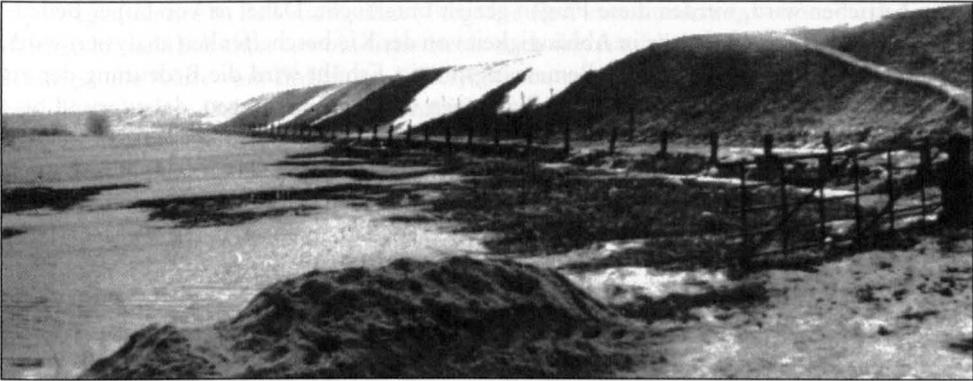


Abb. 7: Wellenüberlauf an einem Seedeich

Berücksichtigung von schrägem Wellenangriff bei der Ermittlung des Bemessungswellenaufbaus weitergehende Präzisierungen möglich sind.

3.4 Zulässiger Wellenüberlauf

Bei hohen Sturmflutwasserständen kann der Auflauf einzelner Wellen über die Deichkrone hinaus gelangen; die überlaufende Wassermenge läuft dann auf der Binnenböschung ganz oder teilweise ab (Abb. 7). Hierdurch sind bei früheren Sturmfluten vielfach Deichbrüche eingeleitet worden. Von daher ist der Wellenüberlauf bei der Bemessung zu begrenzen, um ein Versagen des Deiches zu vermeiden.

Der vielfach als Bemessungswellenaufbau apostrophierte Auflauf mit 2 % Überlauf besitzt keine physikalische Begründung; er ist eingeführt worden, um die beim maximalen Wellenaufbau eintretende statistische Streuung zu mindern (TAW, 1972). Derzeit bestehen lediglich in Dänemark an Naturexperimenten orientierte Werte für einen hinnehmbaren Wellenüberlauf, die bei Klei mit Sandanteilen bis 60 % Überlaufwerten von über 50 % als möglich benennen (LAUSTRUP et al., 1991). Sowohl in den Niederlanden als auch in Deutschland bestehen hierzu keine verbindlichen Vorgaben. In Niedersachsen wird – im Wesentlichen aus Gründen planrechtlicher Belastbarkeit – nach den Vorgaben des TWB (1967) ein zulässiger Wellenaufbau von 3 % bei der Ermittlung des Bemessungswellenaufbaus A_{97} einbezogen: „So muss – bei bekanntem Spektrum des Wellenaufbaues – wiederum eine ‚Bemessungsaufbauhöhe‘ gewählt werden, etwa die Höhe, die von hundert Wellen nur dreimal überschritten wird.“

Er ist – trotz mittlerweile erkannter Mängel – derzeit das einzige zur Verfügung stehende, formal planrechtlich belastbare Kriterium. Es hat sich gezeigt, dass die Ermittlung des zulässigen Wellenüberlaufs über einen prozentualen Anteil der Wellen oder Überlaufungen physikalisch nicht sinnvoll ist. Zum einen können in Abhängigkeit von der Struktur des Seegangs bei gleichem prozentualen Anteil die Überlaufmengen und damit die wirklichen hydrodynamischen Belastungen erhebliche Unterschiede aufweisen. Zum anderen lässt diese Betrachtungsweise die bodenmechanische Beschaffenheit des Deichbaumaterials und damit seine Belastbarkeit völlig außer Acht.

In dem zu diesem Thema angelegten KFKI-Projekt, das vom Leichtweiß-Institut der TU Braunschweig und vom Institut für Grundbau und Bodenmechanik der Universität

Essen betrieben wird, werden diese Fragen gezielt untersucht. Dabei ist von hoher Bedeutung, dass die Überlauftoleranz in Abhängigkeit von der Kleibeschaffenheit analysiert wird. Hierin liegt der hohe Wert für die Bemessungspraxis. Erhöht wird die Bedeutung der zu erwartenden Ergebnisse für zukünftige Planungen und Entwicklungen, da aufgrund bisheriger Erkenntnisse zu erwarten ist (DE WAAL, 1996), dass bei begründetem Zulassen erweiterter Überlaufkriterien vielfach die bereits nach Generalplan (ML, 1973) ausgebauten Deiche noch Belastungsreserven aufweisen, die bei Einsetzen eines beschleunigten Meeresspiegelanstiegs längere Reaktionszeiten als bisher angenommen erlauben werden (NIEMEYER, 1999).

3.5 Profilwirkung

Die Formeln zur Berechnung des Wellenaufbaus berücksichtigen eine einheitliche Neigung der Deichaußenböschung. In jüngster Zeit ist dieser Diskrepanz zur Realität vermehrt Aufmerksamkeit gewidmet worden. So sind in den Niederlanden Empfehlungen sowohl für die Berücksichtigung der Gesamtwirkung von Profilen mit unterschiedlichen Neigungen als auch für die Wirkung von Außenbermen entwickelt worden (VAN DER MEER, 1997). Allerdings ist insbesondere die Empfehlung zur Berücksichtigung der Bermenwirkung hinsichtlich der physikalischen Plausibilität nicht nachvollziehbar. In der Forschungsstelle Küste werden daher Untersuchungen zur Wirkung der Profilgeometrie mit dem mathematischen Wellenaufbauprofilmodell ODIFLOCS (VAN GENT, 1994) bestimmt, wobei die relative Wirkung der Geometrie ermittelt wird. Bei bisherigen Anwendungen hat sich gezeigt, dass die Wirkung einer aufwändigen Profilgeometrie zur Dämpfung des Wellenaufbaus eher gering ist (Abb. 8) (NIEMEYER, 1997b, 1999; NIEMEYER u. KAISER, 1998b).

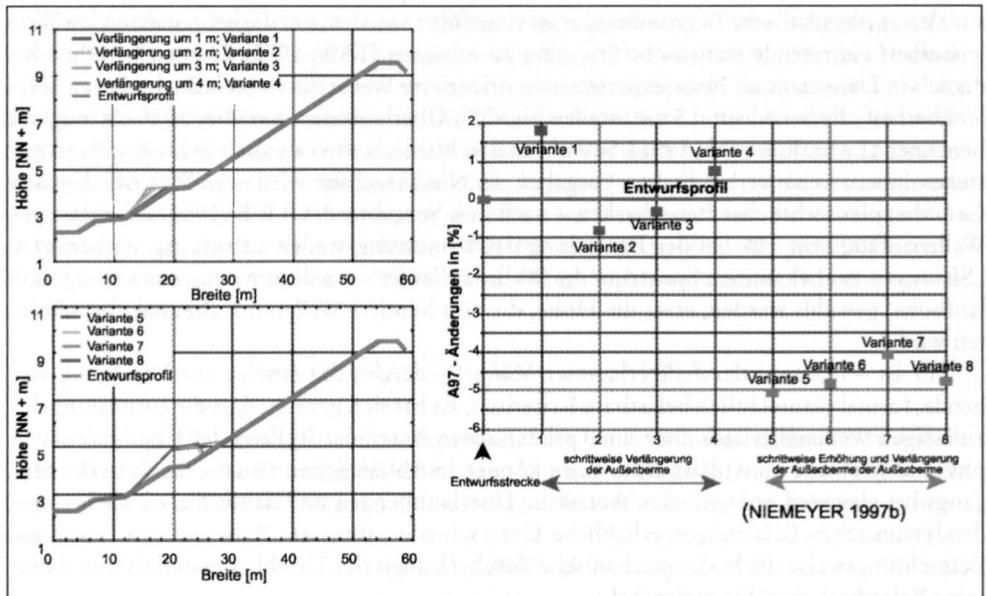


Abb. 8: Optimierung des Profils der Deichaußenböschung über relative Vergleiche mit dem mathematischen Wellenaufbauprofilmodell ODIFLOCS; Projekt Augustrodendeich, Butjadingen (NIEMEYER, 1997b)

Wegen der hohen Bedeutung dieser Frage für die Dimensionierung von See- und Ästuardeichen hinsichtlich einer sowohl sicheren als auch wirtschaftlichen Bemessung ist der Forschungsstelle Küste vom BMBF ein KFKI-Forschungsvorhaben zu diesen Fragestellungen bewilligt worden. Dabei werden gleichzeitig die Möglichkeiten mathematischer Modellierung des Wellenauf- und -überlaufs untersucht, wobei neben dem genannten Modell ODI-FLOCS weitere Modelle hinsichtlich ihrer Eignung untersucht werden.

4. Zusammenfassung und Ausblick

Der gesetzliche Rahmen für die Bemessung von See- und Ästuardeichen in Niedersachsen ist hinsichtlich der Ermittlung des Bemessungswasserstandes so stringent, dass er nur deren deterministische, nicht aber eine wahrscheinlichkeitstheoretische Ermittlung ermöglicht. Die in Niedersachsen darauf abgestimmte Bestimmung der Bemessungswasserstände mit dem Einzelwertverfahren hat sich bewährt; dieses ist durch die seit seiner Einführung eingetretenen Orkanfluten ebenso wenig grundsätzlich in Frage gestellt worden wie durch neuere fachliche Erkenntnisse. Es wird auch der mittelbaren gesetzlichen Vorgabe gerecht, gleiche Sicherheit für alle Betroffenen herzustellen.

Die entsprechenden Vorgaben zur Ermittlung des Bemessungswellenaufbaus sind dagegen so formuliert, dass Anpassungen an den in diesem fachlichen Feld erheblichen Erkenntnisfortschritt der letzten Jahre problemlos möglich waren. Die wesentlichen Erkenntnisgewinne bei der Ermittlung des Bemessungsseegangs und seiner Umsetzung in den Bemessungswellenaufbau haben es erlaubt, von einer eher empirischen zu einer verfahrensmäßigen,

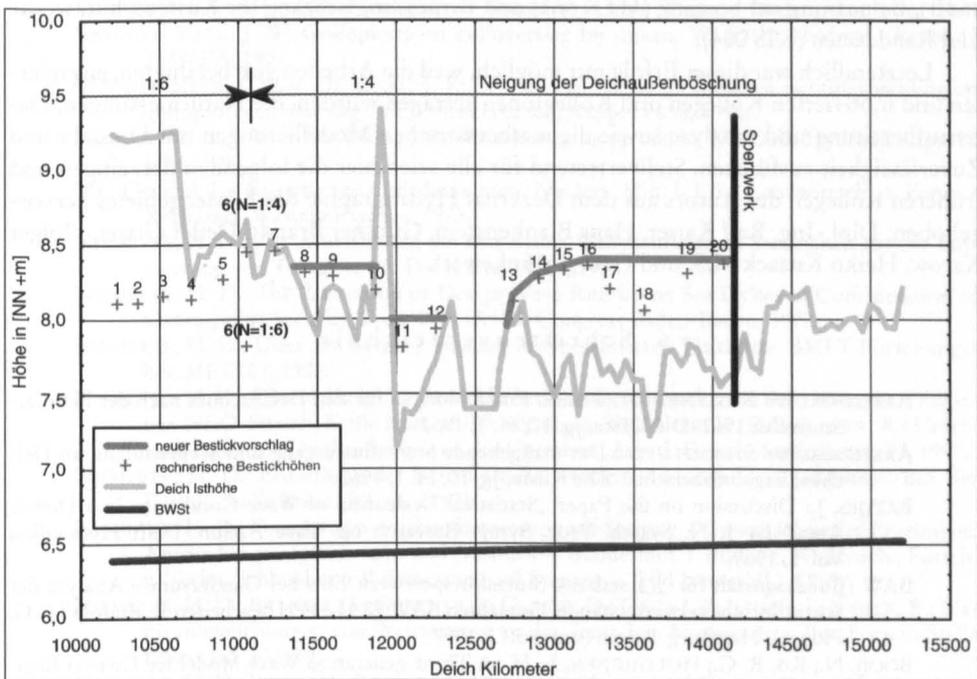


Abb. 9: Beispiel einer verfahrensmäßigen Neubemessung existierender Deiche (Rheider Deichacht, Ems-Dollart-Ästuar) (NIEMEYER u. KAISER, 1998c)

quantitativ nachvollziehbaren Bemessung von See- und Ästuardeichen zu gelangen (Abb. 9). Dadurch hat sich wiederum auch die planrechtliche Belastbarkeit der Bemessung wesentlich erhöht, wie jüngste Verfahren vor Verwaltungsgerichten gezeigt haben.

Der Erkenntnisfortschritt hat aber nicht nur zu neuen, abgesicherten Vorgehensweisen in der Bemessung von See- und Ästuardeichen geführt, sondern auch weitergehende Wissensdefizite aufgedeckt. Dadurch entsteht erst die Möglichkeit, deren Behebung gezielt anzugehen und damit die Grundlagen für eine noch sicherere Bemessung von See- und Ästuardeichen zu legen, die dabei gleichzeitig wirtschaftlicher wird.

5. Danksagung

Der hier dargestellte erreichte Standard in der Bemessungspraxis für niedersächsische See- und Ästuardeiche repräsentiert einen erheblichen, in den letzten fünfundzwanzig Jahren geleisteten Entwicklungsaufwand in der Forschungsstelle Küste des Niedersächsischen Landesamtes für Ökologie. Er war vor allem dank der Personal- und Mittelausstattung möglich, die durch das NIEDERSÄCHSISCHE UMWELTMINISTERIUM gewährleistet wurde und die in Verbindung mit zielführenden Rahmenanforderungen ohne fachlich einschränkende Vorgaben erfolgte.

Wesentlich für das Erreichen der Ziele war und ist in hohem Maß die Förderung, die für eine Reihe von Forschungsvorhaben vom BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG, WISSENSCHAFT, FORSCHUNG UND TECHNOLOGIE über das KURATORIUM FÜR FORSCHUNG IM KÜSTENINGENIEURWESEN gewährt wurde. Hervorzuheben sind insbesondere die Projekte Seegangsmessprogramm Ostfriesische Inseln und Küste (MF 203), Wattseegang (MTK 464B), Bemessung auf Seegang (MTK 561) und Bemessungsseegang für Küstenschutzwerke und Randdünen (KIS 004).

Letztendlich war dieser Erfolg nur möglich, weil die Arbeiten von befähigten, engagierten und motivierten Kollegen und Kolleginnen getragen wurden, die Naturmessungen, Datenaufbereitung und -analyse sowie die mathematischen Modellierungen mit Umsicht und Zuverlässigkeit ausführten. Stellvertretend für alle seien hier die folgenden derzeitigen und früheren Kollegen des Autors aus dem Dezernat Hydrographie des Küstengebietes hervorgehoben: Dipl.-Ing. Ralf Kaiser, Hans Blankenstein, Günther Brandt, Detlef Glaser, Holger Karow, Heiko Knaack M.S. und Georg Münkewarf.

6. Schriftenverzeichnis

- ARBEITSGRUPPE KÜSTENSCHUTZWERKE: Empfehlungen für den Deichschutz nach der Februar-Sturmflut 1962. Die Küste, Jg. 10, H. 1, 1962.
- ARBEITSGRUPPE STURMFLUTEN: Der maßgebende Sturmflutseegang und Wellenauflauf an Deichen. Ergebnisbericht 1. Die Küste, Jg. 10, H. 1, 1962.
- BATTJES, J.: Discussion on the Paper „Statistical Evaluation of Wave Conditions in a Deltaic Area.“ by J. N. Svasek. Proc. Symp. Research on Wave Action. Delft Hydraulics, Vol. 1, 1969.
- BAW (Bundesanstalt für Wasserbau): Sturmflutsperrwerk Ems bei Gandersum – Analyse der Sturmflutscheitelwasserstände. Gutachten BAW 97 53 3449 (Bearbeiter: E. Rudolph u. G. Flüge). Hamburg-Rissen (unveröff.), 1997.
- BOOIJ, N.; RIS, R. C.; HOLTHUIJSEN, L. H.: A Third-generation Wave Model for Coastal Regions. Part I, model description and validation. J. Geophys. Res. 104, C4, 1999.
- BRAHMS, A.: Anfangs-Gründe der Deich- und Wasserbaukunst, Erster Theil. Verl. H. Tapper, Aurich, 1754.

- BRAHMS, A.: Anfangs-Gründe der Deich- und Wasserbaukunst, Anderer Theil. Verl. H. Tapper, Aurich, 1757.
- VAN GENT, M. R. A.: Modeling of Wave Action on and in Coastal Structures. *Coast. Eng.*, 22, Nos. 3/4. Elsevier, Amsterdam, 1994.
- VAN GENT, M. R. A.: Wave Run-up and Wave Overtopping for Double Peaked Wave Energy Spectra. WL|Delft Hydraul., Rapp. H 3551, 1999.
- HENSEN, W.: Bericht der Arbeitsgruppe „Sturmfluten“ im Küstenausschuss Nord- und Ostsee. *Die Küste*, Jg. 14, H. 1, 1964.
- Holthuijsen, L. H.; RIS, R. C. u. BOOIJ, N.: A Verification of the Third-generation Model „SWAN“. *Proc. 5th Int. Worksh. Wave Hindcast. u. Forecast*, Melbourne/FI. USA, 1998.
- HUNDT, C.: Maßgebende Sturmfluthöhen für das Deichbestick an der schleswig-holsteinischen Nordseeküste. *Die Küste*, Jg. 3, 1954.
- INGENIEURKOMMISSION: Erfahrungen und Folgerungen aus den Januar-Sturmfluten 1976 für den Küstenschutz in Niedersachsen, (Autoren: HEINSOHN, KRAMER, KRAUSE, LUCK, MEYER-TOELLE, MÜLLER). *Die Küste*, H. 33, 1979.
- KAISER, R. u. NIEMEYER, H. D.: Changing of Local Wave Climate Due to Ebb Delta Migration. *Proc. 26th Int. Conf. Coast. Engg. Copenhagen/Denmark, ASCE, New York, 1999.*
- LAG (Länderarbeitsgruppe): Bemessungswasserstände entlang der Elbe, (Autoren: KRAUSE, KROKER, PROBST, SCHERENBERG, SIEFERT). *Die Küste*, H. 47, 1988.
- LAUSTRUP, C.; TOXVIG MADSEN, H.; JENSEN, J.; POULSEN, L.: Dike Failure Calculation Model Based on in Situ Tests. *Proc. 22nd Int. Conf. Coast. Engg. Delft/The Netherlands, ASCE, New York, 1991.*
- LUCK, G. u. NIEMEYER, H. D.: Albert Brahms und die Sturmflut von 1717. *Die Küste*, H. 35, 1980.
- LÜDERS, K.: Wiederherstellung der Deichsicherheit an der deutschen Nordseeküste von der holländischen Grenze bis zur Elbe. *Wasser u. Boden*, 9. Jg., H. 2, 1957.
- LÜDERS, K.: Bericht der Arbeitsgruppe „Küstenschutzwerke“ im Küstenausschuss Nord- und Ostsee. *Die Küste*, Jg. 14, H. 1, 1964.
- LÜDERS, K.: Über die Gültigkeitsdauer des Bemessungswasserstandes für Seedeiche. *Jber. 1969 der Forsch.-Stelle f. Insel- u. Küstenschutz*, Bd. 21, 1971.
- LÜDERS, K. u. LEIS, G.: Nds. Deichgesetz – Kommentar. Verl. Wasser u. Boden, Hamburg, 1964.
- VAN DER MEER, J. W.: Golfploop en golfoverslag bij dijken. WL|Delft Hydraul., Rapp. H 2458/305, 1997.
- VAN DER MEER, J. W. u. DE WAAL, J. P.: Invloed van scheve golfval en richtingspreiding op golfploop en overslag. WL|Delft Hydraul., Rapp. H 638, 1990.
- VAN DER MEER, J. W. u. DE WAAL, J. P.: Waterbeweging op taluds. WL|Delft Hydraul. Rapp. H 1256, 1993.
- ML: Generalplan Küstenschutz Niedersachsen. Nieders. Min. f. Ern., Landwirtsch. u. Forst. – Referatsgr. Wasserwirtsch. –, 1973.
- NIEMEYER, H. D.: Zur Abschätzung des maximalen Wellenaufbaus an Seedeichen aus der Einmessung von Teekgrenzen. *Die Küste*, H. 29, 1976.
- NIEMEYER, H. D.: The Estimation of Design Wave Run-up on Sea Dykes in Consideration of Overtopping Security. *Proc. 17th IAHR-Congress Baden-Baden, 1977.*
- NIEMEYER, H. D.: Über den Seegang an einer inselgeschützten Wattküste. *BMFT-Forschungsber. MF 0203*, 1983.
- NIEMEYER, H. D.: Überprüfung der Bestickhöhen von Deichstrecken an der Unterems. *Dienstber. NLO-Forsch.-Stelle Küste*, 5/97; veröff. in: NIEMEYER, H. D. u. KAISER, R.: Untersuchungen zur Deichsicherheit an der Unterems. *Arb. d. Forsch.-Stelle Küste*, 13, 1997a.
- NIEMEYER, H. D.: Ermittlung des Deichbesticks vor dem Augustgroden, Jadebusen. *Ber. der Forsch.-Stelle Küste*, Bd. 41, 1997b.
- NIEMEYER, H. D.: Forschungsvorhaben Bemessung auf Seegang – Gesamtschau der Ergebnisse, Anwendungsempfehlungen und Ausblick – Bundesmin. f. Bildung, Wissensch., Forsch. u. Techn. Schlussber. FV Bemessung auf Seegang – Teil I (unveröff.), 1999.
- NIEMEYER, H. D.; BRANDT, G.; GÄRTNER, J.; GLASER, D.; GRÜNE, J.; JENSEN, J.; KAISER, R.: Naturuntersuchungen von Wattseegang an der deutschen Norseeküste. *Ber. Forsch.-Stelle Küste*, Bd. 40, 1995.
- NIEMEYER, H. D.; EIBEN, H.; ROHDE, H.: History and heritage of German Coastal Engineering. In: N. Kraus (ed.): *History and Heritage of Coastal Engineering*. ASCE, New York, 1996.

- NIEMEYER, H. D.; GÄRTNER, J.; KAISER, R.; PETERS, K.-H.; SCHNEIDER, O.: Estimation of Design Wave Run-up on Sea Dykes under Consideration of Overtopping Security by Using Benchmarks of Flotsam. Proc. 4th Conf. Coast. u. Port Engg. i. Develop. Countr., Rio de Janeiro/Brazil, 1995b.
- NIEMEYER, H. D.; GÄRTNER, J.; KAISER, R.; PETERS, K.-H.; SCHNEIDER, O.: Verifikation des Extrapolationsverfahrens zur Ermittlung des Bemessungswellenaufbaus aus der Einmessung von Teekgrenzen. Die Küste, H. 64, 2001.
- NIEMEYER, H. D. u. KAISER, R.: Überprüfung des Besticks der Moormerländer Deiche zwischen Gandersum und Borssum. Dienstber. NLO-Forschungsstelle Küste, 04/98, 1998a; veröff. in: NIEMEYER, H. D. u. KAISER, R.: Untersuchungen zur Deichsicherheit an der Unterems. Arb. Forsch.-Stelle Küste, 13, 1999b.
- NIEMEYER, H. D. u. KAISER, R.: Untersuchungen zum Bestick von Versuchsaußenböschungen am Elisabethgrohden-Deich, Wangerland. Dienstber. NLO-Forschungsstelle Küste, 10/98 (unveröff.), 1998b.
- NIEMEYER, H. D. u. KAISER, R.: Überprüfung der Bestickhöhen für die Rheider Deiche zwischen Nendorp und Dollart. Dienstber. NLO-Forschungsstelle Küste, 03/98; veröff., in: NIEMEYER, H. D. u. KAISER, R.: Untersuchungen zur Deichsicherheit an der Unterems. Arb. Forsch.-Stelle Küste, 13, 1998c.
- NIEMEYER, H. D. u. KAISER, R.: Ermittlung der Bestickhöhen für die Verstärkung des Südstrandpolderdeiches auf Norderney. Dienstber. NLO-Forsch.-Stelle Küste, 01/99 (unveröff.), 1999a.
- NIEMEYER, H. D. u. KAISER, R.: Untersuchungen zur Deichsicherheit an der Unterems. Arb. Forsch.-Stelle Küste, 13, 1999b.
- NIEMEYER, H. D.; KAISER, R.; WEILER, B.: Design Wave Evaluation for Coastal Protection Structures in the Wadden Sea. Proc. 6th Int. Worksh. Wave Hindcast u. Forecast, Monterey/Ca, USA. Met. Serv. Canada, 2000.
- OUMERACI, H.; SCHÜTTRUMPF, H.; SAUER, W.; MÖLLER, J.; DROSTE, T.: Physical Model Tests on Wave Overtopping with Natural Sea States. Leichtweiß-Inst., Rep. 852 (unveröff.), 2000.
- RIS, R. C.; HOLTHUIJSEN, L. H.; BOOIJ, N.: A Spectral Model for Water Waves in the Nearshore Zone. Proc. 24th Intern. Conf. o. Coast. Engg., Kobe/Japan, ASCE, New York, 1995a.
- TAW (Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen): Golfoploop en golfoverslag. Staatsuitgeverij, s'Gravenhage, 1972.
- TWB (Techn.-Wissenschaftl. Beirat): Empfehlungen der ehemaligen Arbeitsgruppe „Sturmfluten“ und ihre Nutzenanwendung für den Seedeichbau. Die Küste, H. 17, 1969.
- DE WAAL, J. P.: Evaluation of Wave Overtopping Characteristics at Six Dikes in Germany. WL|Delft Hydraulics, Rap. H2119. 1996.

7. Symbole und Zeichen

A (m):	Wellenaufbauhöhe
A ₉₇ (m):	Wellenaufbauhöhe bei Überlauf von 3 % aller Wellen
A ₉₈ (m):	Wellenaufbauhöhe bei Überlauf von 2 % aller Wellen
g (m/s ²):	Erdbeschleunigungskonstante
H _{m0} (m):	spektrale signifikante Wellenhöhe
MThw (NN + m):	mittleres Tidehochwasser
T _P (s):	Peakperiode
T _{m-1,0} (s):	Energieperiode
tanα (-):	Neigung der Deichaußenböschung
β (°):	Winkel der Wellenangriffsrichtung zur Deichnormalen
γ _R (°):	Abminderung des Wellenaufbaus infolge schrägen Wellenangriffs