

Sicherheitsüberprüfung der Schleswig - Holsteinischen Landesschutzdeiche an der Westküste hinsichtlich des Wellenaufbaus bzw. des Wellenüberlaufs für den Generalplan 2001

Joachim Grüne¹ und Joachim Gärtner²

¹Forschungszentrum Küste, ²Amt für ländliche Räume Husum

Summary

For the performance of a safety analysis models and procedures were developed for the evaluation of the decisive sea state (evaluation of a wave parameter register) and for the calculation of the decisive wave run-up and overtopping. These models consider the natural sea state characteristic as well as the complexity of the dike cross-sections in nature and are based on results from long-time flotsam level surveys, on results from extensive wave measurements on foreshore of dykes at different places at the German North Sea coast and on results from wave run-up measurements in field at dykes with different cross-sections and sea state conditions as well as from large-scale laboratory tests. Since an economically optimized safety analysis cannot be performed with generalised dike profiles for coastline sections due to the local variation of its profile forms and crown heights, the safety analysis has been performed for the locally surveyed dike profiles.

Zusammenfassung

Für die Sicherheitsüberprüfungen wurden Berechnungsmodelle und –verfahren für die Ermittlung des maßgebenden Seegangs (Erstellung eines Seegangskatasters) und des maßgebenden Wellenaufbaus bzw. Wellenüberlaufs entwickelt, die insbesondere die natürliche Seegangsscharakteristik und die Komplexität der Deichquerschnitte in der Natur berücksichtigen. Diese Modelle und Verfahren basieren auf langjährigen Einmessungen der Treibselgrenzen, auf Erkenntnissen aus umfangreichen Wellenmessungen in Deichnähe an verschiedenen Orten der deutschen Nordseeküste und auf Erkenntnissen aus Wellenaufbaumessungen in der Natur an Deichen mit verschiedenartigen Querschnitten und Seegangsverhältnissen sowie aus großmaßstäblichen Laborversuchen. Da eine wirtschaftlich optimierte Sicherheitsüberprüfung der Landesschutzdeiche wegen ihrer Vielfalt an Außenprofilformen und Kronenhöhen nicht mit Regelprofilen erfolgen kann, wurde auf die bisher üblichen abschnittsweise einheitlichen Wellenaufläufe und Sollhöhen verzichtet und eine individuelle Überprüfung aufgemessener Deichprofile vorgenommen.

1 Einleitung

Die Sicherheitsüberprüfungen für die Landesschutzdeiche der Westküste Schleswig-Holsteins wurden vom Forschungszentrum Küste (FZK) in Kooperation mit dem Amt für ländliche Räume Husum durchgeführt und knüpften an die gemeinsame Durchführung des Forschungsvorhabens „Seegangs- und Wellenaufbaumessprogramm Dithmarscher Küste und Elbe“ an (Gärtner et. al., 1995). Zu Beginn der Arbeiten war die Untersuchung von etwa 60 Deichabschnitten entsprechend der Aufteilung des Generalplans 1986 vorgesehen. Das vorgesehene Konzept wurde nach ersten Teilergebnissen für das Testgebiet Dithmarschen wie folgt wesentlich verändert und vor allem stark ausgeweitet:

Mit dem neu erstellten Berechnungsmodell (Kapitel 2) zur Ermittlung des Wellenaufbaus wurde im Umkehrverfahren eine Methode zur Bestimmung der Seegangsparameter aus den zahlreich vorliegenden Treibseleinmessungen (Kapitel 5) entwickelt. Als Ergebnis konnte für die Deichlinien der gesam-

ten Westküste ein Verzeichnis der für die Sicherheitsüberprüfungen maßgebenden Seegangparameter (Seegangskataster) erstellt werden (Kapitel 6). Für Detailuntersuchungen zum Seegang (Brunsbüttel-Alter Hafen) wurde das numerische Modell SWAN eingesetzt. Das zusätzlich zur Ermittlung des Wellenaufaufs- bzw. -überlaufs vorgesehene Modell ODIFLOCS wurde nicht verwendet, da es bei stark ungleichförmigen Außenprofilformen versagt und nicht geeicht werden kann (Grüne/Wang, 1998).

Weiterhin zeigten die Vorarbeiten, daß sich die bestehenden Landesschutzdeiche mit repräsentativen Deichprofilen (Regelprofilen) nur unzulänglich beschreiben lassen, da sich die Außenprofile und Kronhöhen meist ständig ändernd. Daher wurde das Konzept der Sicherheitsüberprüfung dahingehend geändert, dass im Generalplan 2001 keine Sollhöhen mehr festgelegt wurden, sondern ein individueller Nachweis für aufgemessene Profile der Landesschutzdeiche geführt wird. Regelprofile werden damit lediglich zu ersten Entwurfsprofilen (Kapitel 7). Statt repräsentativer Deichquerschnitte für 60 Abschnitte wurden insgesamt 468 Deichprofile untersucht, davon 313 Deichprofile der Landesschutzdeiche und 154 Entwurfsprofile (Grüne/Wang, 2002).

Die Bemessungswasserstände (Referenzwasserstände) für die einzelnen Küstenabschnitte wurden vom Amt für ländliche Räume vorgegeben und waren nicht Bestandteil der Untersuchungen.

2 Berechnung des Wellenaufaufs und des Wellenüberlaufs

Für die Berechnung des Wellenaufaufs und Wellenüberlaufs wurde ein Berechnungsmodell auf der Grundlage von Math-CAD erstellt. Dieses Modell verknüpft analytisch-empirische Ansätze mit den neuesten Erkenntnissen aus Messungen in der Natur, aus groß- und kleinmaßstäblichen physikalischen Laboruntersuchungen (Composite model – Wissenstandsmodell) und berücksichtigt insbesondere die natürlichen Seegangsverhältnisse und die unregelmäßigen Deichprofilformen (Grüne / Wang, 2002).

Für die Berechnung des Wellenaufaufs wurde der international übliche HUNT-Ansatz erweitert, wobei der bisherige empirische Koeffizient durch das Produkt aus den Einzelbeiwerten K_i ersetzt wird:

$$R = \Pi K_i \cdot \sqrt{H} \cdot T$$

$$K_i = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \cdot K_7 \cdot K_8 \cdot K_9$$

Mit diesen Einzelbeiwerten K_i (Tabelle 1) werden die unterschiedlichen Einflüsse für Seegangs- und Auflaufparameter, Seegangscharakteristik, Wellenanlaufrichtung, relative Wassertiefenverhältnisse, Deichgeometrie und Oberflächenbeschaffenheit beschrieben (Grüne / Wang, 2000). Für einige Beiwerte wurden Ansätze aus der Literatur verwendet, andere Beiwerte wurden durch schrittweise Verifikation unter Verwendung von Ergebnissen aus Messungen des Seegangs und des Wellenaufaufs in der Natur (Grüne, 1996, 1997a) und im großmaßstäblichen Labor (Grüne / Wang, 1998) ermittelt. Die einzelnen Beiwerte sind teilweise Konstante, teilweise enthalten sie Funktionen mit Variablen.

Einfluss aus	Beiwert	Beiwert für
Wellenauflauf	K_0	die dimensionsfreie Darstellung der Formel
	K_1	den statistischen Auflaufparameter (z.B. R_{98})
Seegangscharakteristik	K_2	die Charakteristik des Seegangs
	K_3	den statistischen Wellenhöhenparameter (z.B. $H_{1/3}$)
	K_4	den statistischen Wellenperiodenparameter (z.B. T_m)
	K_5	die relativen Wassertiefenverhältnisse vor dem Deich
Deichgeometrie	K_6	schräge Wellenanlaufrichtungen
	K_7	die Bauwerksgeometrie (Neigung der Außenböschung)
	K_8	die Bauwerksgeometrie (zusätzliche Bermen)
	K_9	die Deichoberflächenrauigkeit

Tabelle 1: Beiwerte für die Erweiterung des HUNT-Ansatzes zur Berechnung des Wellenaufaufs

In Abb. 1 wird der berechnete Wellenauflauf R_{98} bzw. R_{max} in Abhängigkeit des Ruhewasserstandes SWL (entspricht dem örtlichen Verlauf auf der Außenböschung) mit gemessenen Wellenauflaufwerten R_{98} und Treibselmessungen verglichen. Für diese Berechnungen wurde das aus den Naturmessungen ermittelte Verhältnis $R_{max} / R_{98} = 1,1$ verwendet, das von der Neigung der Außenböschung abhängt. Die Berechnung der maßgebenden Neigung (Ersatzneigung) erfolgt durch das Modell mit den eingegebenen aufgemessenen Deichprofilkoordinaten. Als Eingangsparameter für den Seegang dienen die Bestimmungsparameter für die maßgebenden Seegangparameter (hier $H_{1/3}$ und T_m), die im nächsten Kapitel beschrieben werden.

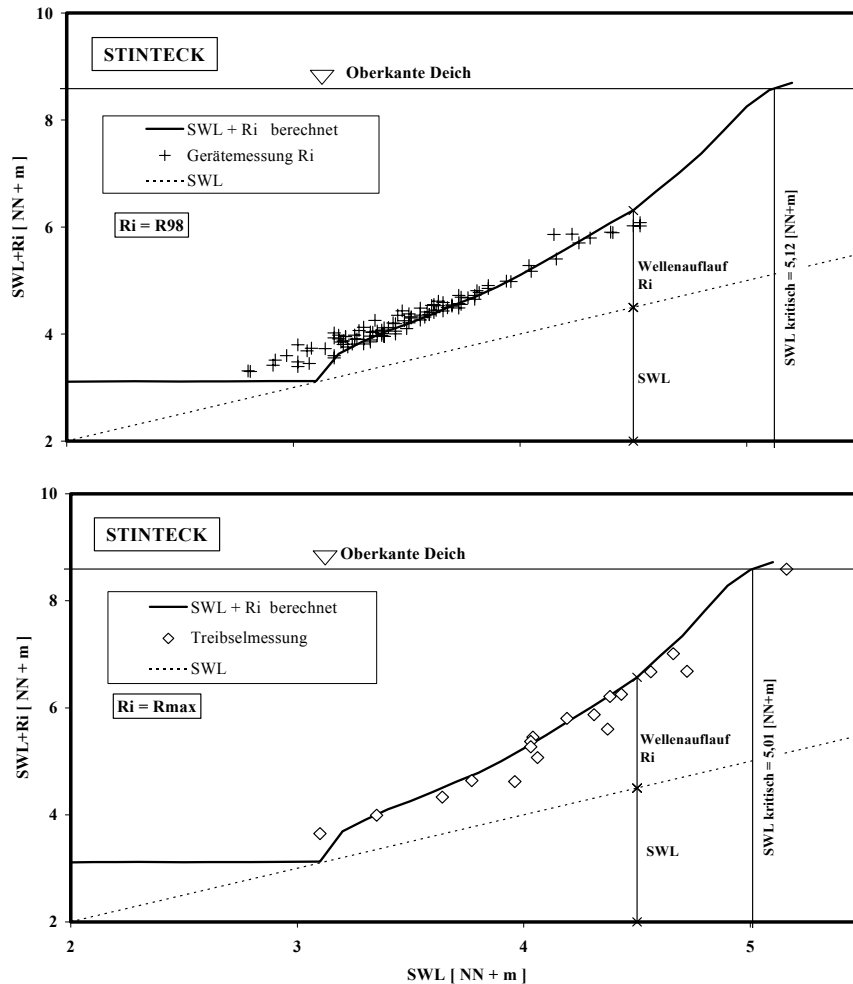


Abb. 1: Vergleich der berechneten Verläufe des Wellenaufbaus mit gemessenen Wellenaufbauparametern (oberer Teil) und Treibselmessungen (unterer Teil)

Die Berechnung des Wellenüberlaufs erfolgt mit dem international üblichen Ansatz von v.d.MEER für mittlere Überlaufmengen. Das Berechnungsmodell ermöglicht eine Gesamtanalyse des Deichaußenprofils hinsichtlich Wellenaufbau und Wellenüberlauf ohne Vorgabe eines bestimmten Bemessungswasserstandes (siehe Kapitel 7). Diese Eigenschaft bietet insbesondere bei der Planung künftiger Deichbaumaßnahmen die Möglichkeit, die Wirkung unterschiedlicher Deichgeometrien hinsichtlich der Höhe des Wellenaufbaus zu untersuchen und damit die Deichgeometrie zu optimieren. Abb. 2 zeigt beispielhaft im rechten Teil eine vergleichende Berechnung der örtlichen Verläufe des Wellenaufbaus R_{98} auf der Außenböschung bis zum Wert SWL_{krit} (R_{98} erreicht die Deichkronenhöhe) für die unterschiedlichen Deichprofilformen im linken Teil. Das Berechnungsmodell ermöglicht ferner im Umkehrverfahren die Ermittlung von Seegangparametern aus Treibselmessungen (siehe Kapitel 6).

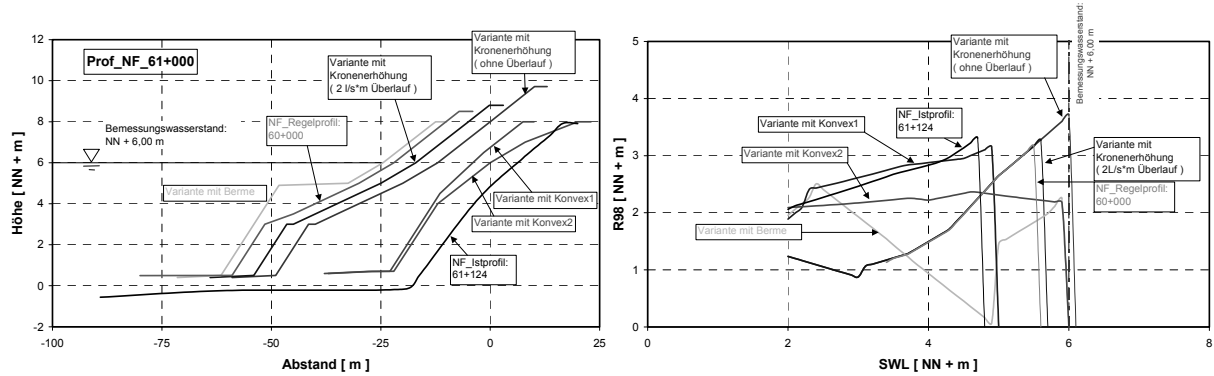


Abb. 2: Örtliche Verläufe des Wellenaufbaus R_{98} auf den Außenböschungen bis zum Wert SWL_{krit} (im rechten Teil) für unterschiedliche Deichprofilformen (im linken Teil).

3 Beschreibung der Seegangparameter durch das Gradientenverfahren

Die Seegangsverhältnisse an Deichen mit davor liegenden ausgedehnten Wattflächen sind nur in geringem Maße von der Energie der aus den tieferen Bereichen der Nordsee anlaufenden Wellen beeinflusst. Durch die abnehmenden Wassertiefen am seeseitigen Rand der Wattgebiete wird die Seegangenergie so stark gedämpft, daß ein nennenswerter Seegang im Bereich der Deichlinie nur bei stark erhöhten Sturmflutwasserständen auftreten kann.

Ergebnisse aus bisher durchgeführten Messungen der Seegangsverhältnisse in der Natur haben bestätigt, daß insbesondere auf Wattgebieten die dominierende Korrelation der gemessenen Wellenhöhen im wesentlichen mit der Wassertiefe bzw. dem Wasserstand gegeben ist (siehe u.a. Grüne, 1991, 1997a, 1997b). Ein Beispiel für eine solche Korrelation der gemessenen Wellenhöhen $H_{1/3}$ mit dem Ruhewasserstand SWL zeigt Abb. 3, während die entsprechende Korrelation zwischen Wellenhöhen und Windgeschwindigkeit wesentlich geringer ausgeprägt ist. Für die Wellenperioden T_m in Abb. 4 besteht eine ausgeprägte Korrelation mit den Wellenhöhen $H_{1/3}$. Ähnliche, jedoch weniger stark ausgeprägte Verhältnisse treten auch an Deichen mit Vorstrandbereich in Ästuarien auf.

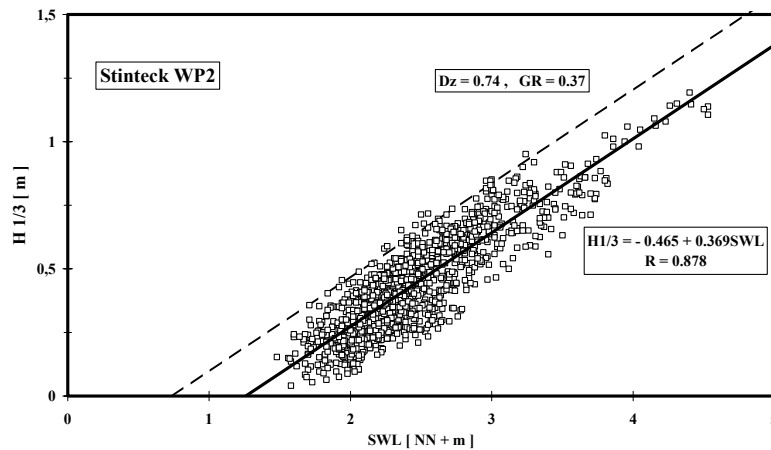


Abb. 3: Gemessene Wellenhöhen $H_{1/3}$ in Abhängigkeit vom Ruhewasserstand SWL

Die örtliche Wassertiefe bzw. der örtliche Wasserstand SWL bildet somit den maßgebenden Indikator für das örtliche Seegangsklima. Damit sind örtlicher Windstau und örtlicher Seegang unentkoppelbar verbunden. Die Korrelationsparameter sind Ortsgrößen und enthalten alle Informationen (als Black-box) über die Morphologie des Küstenvorfeldes und der Wattgebiete (Gebietscharakteristiken). Sie beschreiben damit in komplexer Form die Seegangsgenerierung und ihre Fortpflanzung im Bereich der offenen See, beim Übergang in flachere Bereiche, auf den Wattgebieten und dem Deichvorland.

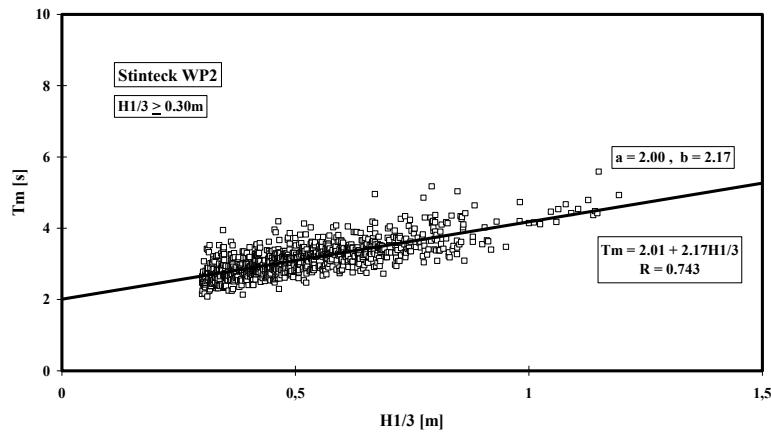


Abb. 4: Gemessene Wellenperioden T_m in Abhängigkeit von den Wellenhöhen $H_{1/3}$

Die ortsfesten Korrelationsparameter der linearen Regressionen aus Abb. 3 und 4 werden für die Beschreibung der Seegangparameter $H_{1/3}$ und T_m mit dem Gradientenverfahren (Grüne, 1991) verwendet, das in Abb. 5 schematisch dargestellt ist. Mit den Bestimmungsparametern Dz und GR ergibt sich die Wellenhöhe $H_{1/3}$ als Funktion des Wasserstandes SWL und mit den Bestimmungsparametern a und b die Wellenperiode T_m als Funktion der Wellenhöhe $H_{1/3}$. Im Bereich von Ästuaren kann eine parabel-förmige Ausgleichskurve eine bessere Anpassung an die Wellenhöhen ergeben.

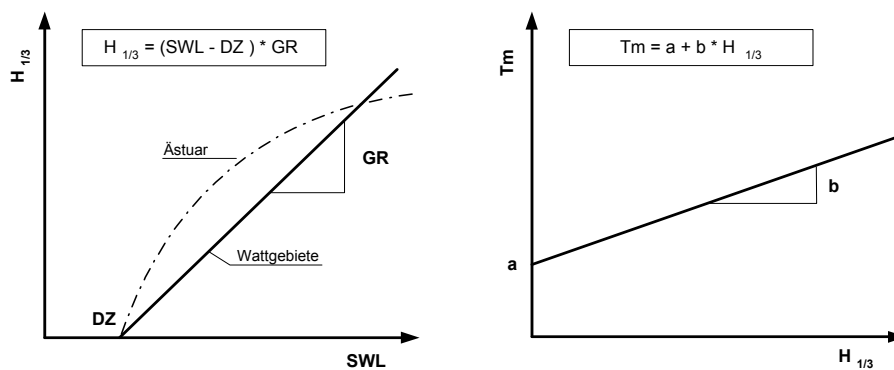


Abb. 5: Schematische Beschreibung der Seegangparameter mit dem Gradientenverfahren

Der Nulldurchgang der Regressionsgeraden ergibt den Wasserstand Dz mit der Wellenhöhe $H_{1/3} = 0$. Die örtliche Wassertiefe kann in einen welleninaktiven Bereich (Dz) und in einen wellenaktiven Bereich ($SWL - Dz$) unterteilt werden. Diese Bestimmungsparameter hängen von der örtlichen Lage ab und ermöglichen Rückschlüsse auf die Zusammenhänge zwischen örtlichem Seegang und örtlichen morphologischen Gebietscharakteristiken. Die Bestimmungsparameter Dz und GR nehmen mit zunehmender Entfernung von der seeseitigen Wattgrenze und von den Wattströmen bzw. Tiderinnen ab. Für einen Ort, für den keine Messungen vorliegen, können an Hand der für diesen Ort maßgebenden morphologischen Gebietscharakteristiken die Bestimmungsparameter abgeschätzt werden.

4 Einfluß von Vorländern auf die Seegangparameter

Über die Wirkung eines Vorlandes auf den Seegang und den Wellenauflauf am Deich gibt es bisher nur wenige völlig unbefriedigenden Kenntnisse. Ergebnisse aus Untersuchungen im GWK zeigten, daß der Wellenauflauf an Deichen mit Vorland in gleicher Art und Weise wie für Deiche ohne Vorland berechnet werden kann (Grüne / Wang, 1998), wenn man die Seegangparameter auf dem Vorland verwendet. Untersuchungen in der Natur und im großmaßstäblichen Labor zur seegangsdämpfen-

den Wirkung von Vorländern werden von Wang / Grüne (1997) beschrieben. Mit den Ergebnissen in der Natur (Umhüllende in Abb. 6) wurde für die Sicherheitsüberprüfungen ein Dämpfungsfaktor F_{VH} für die Wellenhöhe $H_{1/3}$ wie folgt berücksichtigt, während die Wellenperiode T_m unverändert blieb:

$$H_{1/3(v)} = H_{1/3(w)} * F_{VH} \quad \text{mit } F_{VH} = 0,8 \ln(SWL)^{0,85} - 0,40$$

mit dem Grenzwert $Dv / H_{1/3(w)} \leq 2,75$; (v) Vorland, (w) Wattgebiet vor dem Vorland

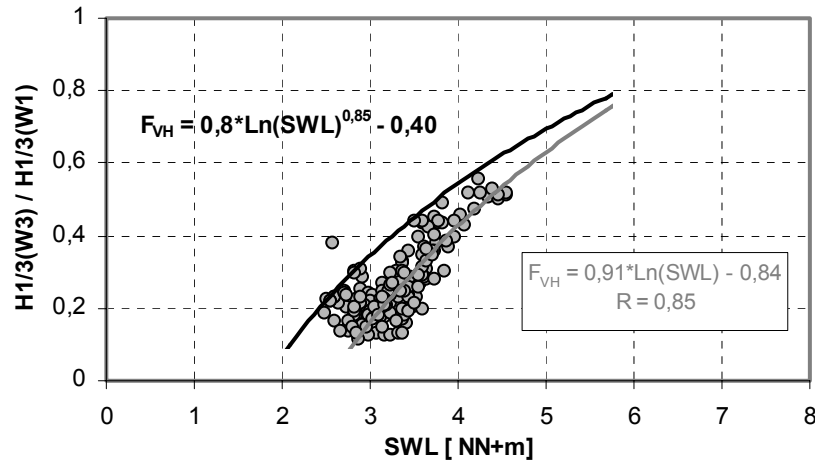


Abb. 6: Verwendeter Ansatz für die Dämpfung der Wellenhöhen $H_{1/3}$ auf Vorländern

5 Ermittlung von Seegangparametern mit dem Treibselanpassungsverfahren

An zahlreichen Stationen der Schleswig-Holsteinischen Westküste werden Treibselmessungen vorgenommen, die teilweise bis 1976 zurück reichen, um daraus den Wellenauflauf für höhere Bemessungswasserstände abschätzen zu können. Im Rahmen der Vorarbeiten für die Sicherheitsüberprüfungen wurden diese Messungen erstmals systematisch aufbereitet, um sie für ein neu entwickeltes Verfahren zur Ermittlung von Seegangparametern zu nutzen (Grüne / Wang, 2002).

Untersuchungen im GWK des Forschungszentrums Küste haben gezeigt, daß die nach einer Sturmflut aufgemessene Treibselgrenze dem höchsten Wellenauflauf R_{max} während des höchsten Ruhewasserstandes Thw der Sturmflut entspricht. Damit ergibt sich aus den einzelnen Treibselmessungen für unterschiedlich hohe Sturmfluten der örtliche Verlauf des Wellenauflaufparameters R_{max} , der damit nur noch vom Ruhewasserstand SWL und von der Deichgeometrie der Außenböschung abhängt.

Das neue Verfahren (Treibselanpassungsverfahren) ermittelt die Bestimmungsparameter für die Seegangparameter mit dem in Kapitel 2 erläuterten Berechnungsmodell im Umkehrverfahren durch Vergleich des berechneten örtlichen Verlaufs von R_{max} mit dem örtlichen Verlauf der Treibselmessungen. Es basiert auf der Voraussetzung, daß sich unter idealisierten Randbedingungen (Homogenität der Treibselmessungen und der Seegangsmessungen sowie richtiger Berechnungsansatz) die beiden Verläufe decken, wenn die für die Berechnung von R_{max} verwendeten Bestimmungsparameter die örtlich auftretenden Seegangparameter $H_{1/3}$ und T_m richtig repräsentieren. Für die Anwendung unter natürlichen Bedingungen treten örtlich unterschiedliche Abweichungen von den idealisierten Randbedingungen auf, die entsprechend berücksichtigt werden müssen.

In Abb. 7 ist die Ermittlung von Bestimmungsparametern nach dem Treiselanpassungsverfahren beispielhaft dargestellt. Zunächst werden die Bestimmungsparameter entsprechend der örtlichen Gebietscharakteristik grob abgeschätzt. Der damit berechnete Verlauf von R_{max} wird mit dem Verlauf der Treibselmessungen (Hüllkurve) verglichen (oberer Teil). Dann werden die Bestimmungsparameter iterativ solange variiert, bis der berechnete Verlauf für R_{max} sich der Hüllkurve der Treibselmessungen bestmöglichst anpasst (unterer Teil). Die aus den jeweiligen Bestanpassungen ermittelten Bestim-

mungsparameter der benachbarten Meßstationen werden untereinander verglichen und ggfs. noch durch weitere Bestanpassungen untereinander angepaßt. Vergleiche mit gemessenen Bestimmungsparemtern ergaben Abweichungen bis zu etwa 15% für die Seegangparameter $H_{1/3}$ und T_m ; jedoch gegenläufiger Art, was bedeutet, daß sich die Abweichungen bei der Berechnung des Wellenaufbaus gegenseitig fast aufheben und damit die Werte $SWL_{krit.}$ nur noch wenige Zentimeter voneinander abweichen. Das Verfahren wirkt somit selbstkorrelierend.

Insgesamt wurden für 143 Treibelmeßstationen an der Westküste Schleswig-Holsteins einschließlich der Inseln Seegangparameter nach dem Treibselanpassungsverfahren ermittelt.

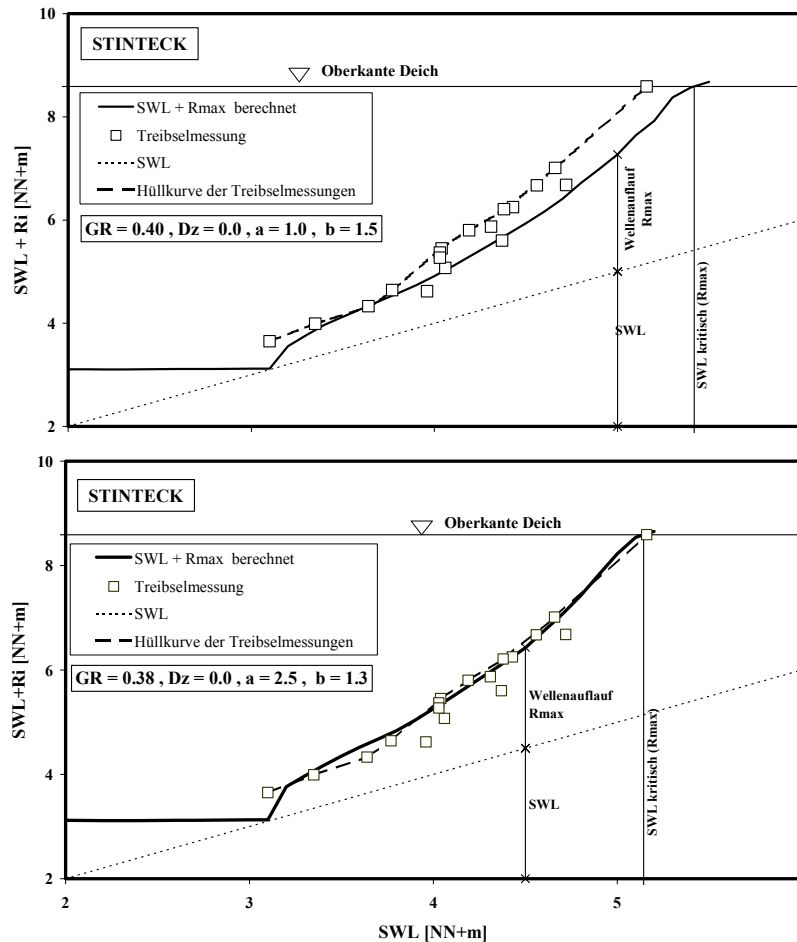


Abb. 7: Beispiel für die Ermittlung der Bestimmungparameter für $H_{1/3}$ und T_m nach dem Treibselanpassungsverfahren (Anpassungsversuch im oberen Teil, Bestanpassung im unteren Teil)

6 Erstellung eines Seegangskatasters für die Sicherheitsüberprüfungen

Die Ergebnisse für die nach dem Treibselanpassungsverfahren für 143 Stationen ermittelten Bestimmungparameter bilden die Grundlage zur Festlegung des Verlaufs des Bemessungsseegangs entlang der gesamten Deichlinie, da sie die größte Datendichte hinsichtlich der räumlichen Verteilung aufweisen und damit eine umfangreiche Information über den auftretenden Seegang liefern. Dies wird in Abb. 8 deutlich: Der linke Teil zeigt einen ausgewählten Abschnitt der Westküste mit dem Verlauf der Deichlinie, den Treibelmeßstationen sowie der morphologischen Charakteristik des Wattengebietes. Der rechte Teil zeigt die räumliche Verteilung der aus den Treibselmessungen ermittelten Seegangparameter $H_{1/3}$ und T_m , deren Verläufe im wesentlichen dem des Bestimmungsparemeters GR entsprechen. Der aus den Berechnungen zur Treibselanpassung ermittelte Verlauf (Hüllkurve) wird dann mit dem Verlauf der Deichlinie und der Küstenvorfeldmorphologie (Gebietscharakteristik) verglichen.

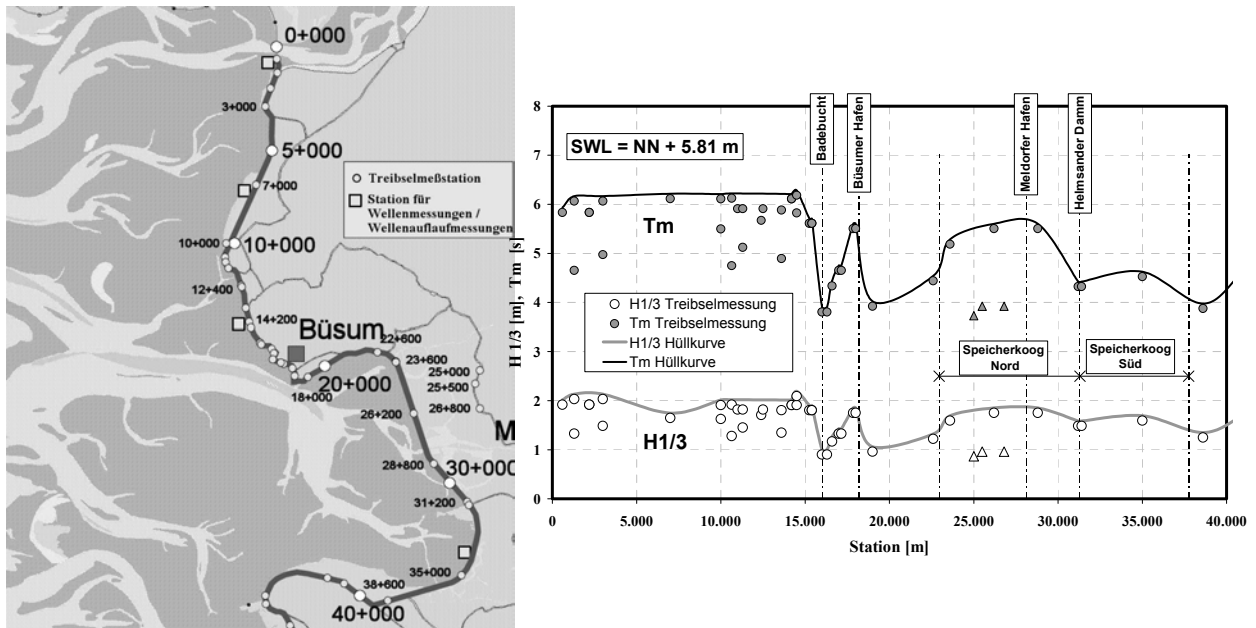


Abb. 8: Ausgewählter Küstenabschnitt mit den Treibsel- und Seegangmeßstationen (links) und räumliche Verteilung der aus Treibselmessungen ermittelten Seegangparameter (rechts)

Bei diesem Vergleich wird die Plausibilität zwischen dem Verlauf der ermittelten Bestimmungsparameter und der Gebietscharakteristik des Küstenvorfeldes überprüft und dabei ggfs. die Parameter für unterschiedliche Bestanpassungen variiert. Weiterhin werden die Bereiche und ihre Grenzen festgelegt, für die der Seegang in etwa gleich ausgeprägt ist. Für diese Bereiche wird die räumliche Seegangverteilung für einzelne Küstenabschnitte mit konstanten Werten für die Bestimmungsparameter generalisiert. Die mit diesen generalisierten Bestimmungsparametern berechneten Seegangparameter für den ausgewählten Küstenabschnitt sind in Abb. 9 dargestellt. Ebenso sind die Ergebnisse aus Seegangsmessungen an vier Meßstationen enthalten, die zur Eichung der ermittelten Parameter an diesen Stationen (Stützstellen) dienen.

Der Verlauf der generalisierten Seegangparameter (Seegangskataster für die Bemessung) entlang den Deichlinien an der gesamten Westküste ist in Abb. 10 dargestellt. Dagegen sind die Ergebnisse aus den Berechnungen mit dem SMB-Vorhersageverfahren wegen der komplexen Morphologie nur bedingt aussagefähig, lediglich im Eldebereich oberhalb Brunsbüttel liefert das Verfahren verwertbare Ergebnisse.

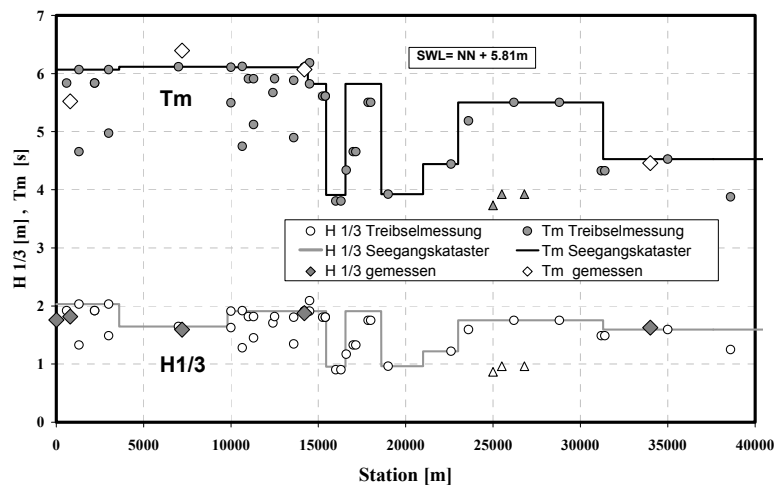


Abb. 9: Vergleich der nach unterschiedlichen Verfahren ermittelten Seegangparameter $H_{1/3}$ und T_m

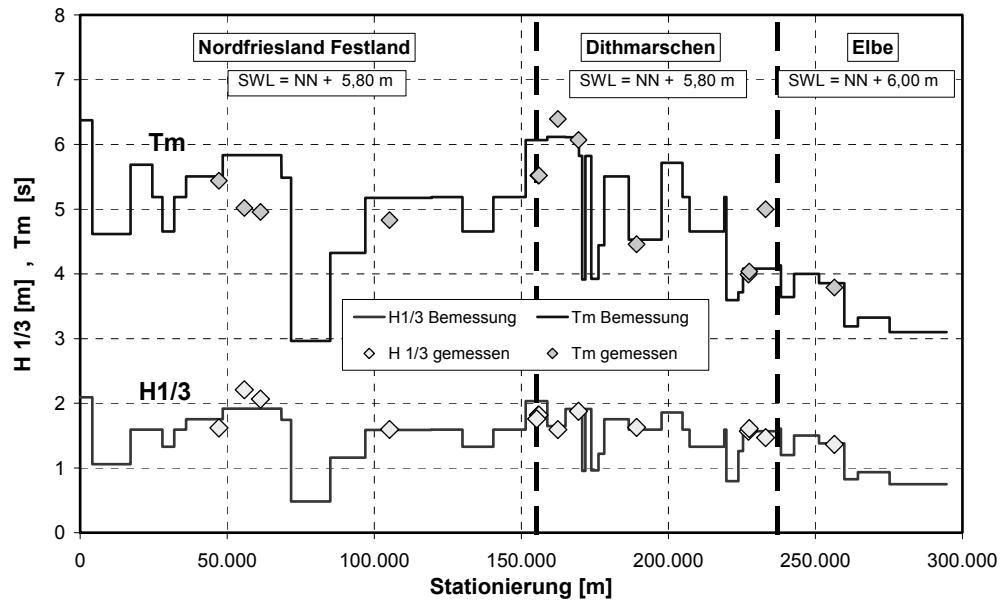


Abb. 10: Verlauf der generalisierten Seegangparameter $H_{1/3}$ und T_m (Seegangskataster für die Sicherheitsüberprüfungen) entlang der Westküste Schleswig-Holsteins (ohne Inseln)

7 Durchführung der Sicherheitsüberprüfungen

Zunächst war vorgesehen, die Sicherheitsüberprüfungen mit ausgewählten repräsentativen Deichprofilen und mit Regelprofilen für die jeweiligen Küstenabschnitte durchzuführen. Die Vorarbeiten zur Auswahl von entsprechenden Deichprofilen zeigten jedoch, dass sich die bestehenden Landesschutzdeiche infolge der entlang der Deichlinie meist ständig ändernden Außenprofilneigungen und Kronenhöhen mit repräsentativen Deichprofilen (Regelprofilen) nur unzulänglich genau beschreiben lassen. Die bisherige Festlegung von abschnittsweise einheitlichen Sollkronenhöhen lässt wirtschaftlich optimierte Ergebnisse bei der Überprüfung nicht zu, da die Größe des Wellenaufbaus und des Wellenüberlaufs im wesentlichen von der Profilform der Außenböschung abhängt. Die Form der Außenböschung hat oft einen stärkeren Einfluß auf die bestehende Sicherheit als die Sollhöhe. Ferner ist eine vorgegebene Sollhöhe oft nicht erforderlich oder eine Erhöhung kann zu einer Verminderung der Sicherheit führen, wenn beispielsweise ein Deich trotz höherer Kronenhöhe mit steilerer Außenneigung einen höheren Wellenaufbau aufweist als ein niedrigerer Deich mit flacherer Außenneigung.

Daher wurde das Konzept der Sicherheitsüberprüfung dahingehend geändert, daß im Generalplan 2001 keine Sollhöhen mehr festgelegt wurden. Stattdessen erfolgte die Sicherheitsüberprüfung durch eine Vielzahl individueller Nachweise für einzelnen Profile der Landesschutzdeiche. Dies gilt auch für alle künftigen Verstärkungen oder Neubaumaßnahmen (mit gleichzeitiger Überprüfung der Entwurfsgrundlagen). Die bisherigen Regelprofile werden damit zu ersten Entwurfsprofilen.

Die aufgemessenen Deichprofile der bestehenden Landesschutzdeiche wurden auf einem Rechner derart aufbereitet, dass sie in einem für alle Profile gleichen Maßstab untereinander verglichen werden konnten. Bei diesem Vergleich untereinander in fortlaufender Reihenfolge der Stationierung wurden alle Veränderungen der Außenprofile und der Kronenhöhen erfasst. Die Auswahl erfolgte abschnittsweise unter Berücksichtigung der jeweils angrenzenden Deichprofile in den Nachbarabschnitten derart, daß zunächst mindestens ein Profil je Abschnitt ausgewählt wurde. Befanden sich in einem Abschnitt Profile mit unterschiedlicher Deichgeometrie, so wurde aus jeder Gruppe der unterschiedlichen Deichprofile mindestens je ein Profil ausgewählt. Zusätzliche Profile wurden innerhalb eines Abschnittes dann ausgewählt, wenn bei mehreren im wesentlichen gleichen Deichprofilen deutliche Unterschiede in der Kronenhöhe oder Wechsel in der Seegangsbelastung auftraten.

Die Sicherheitsüberprüfung erfolgte durch eine funktionale Bewertung des für jedes ausgewählte Deichprofil mit dem Berechnungsmodell ermittelten Wellenaufbaus und Wellenüberlaufs. Für die Berechnungen wurden als Eingangsparameter für den Seegang die generalisierten Werte aus dem Seegangskataster (Abb. 10) verwendet. Es wurden die folgenden Ergebnisparameter für den Wellenaufbau und Wellenüberlauf zur Bewertung ermittelt und zusammengestellt:

Die deichprofilsspezifischen Parameter, die nur von der Geometrie des Deichaußenprofils abhängen:

$SWL_{krit.}$	Wasserstand, für den R_{98} die Kronenhöhe erreicht
$SWL1l_{krit.}$	Wasserstand, für den ein Überlauf von 1 l/s-m erreicht wird
$SWL2l_{krit.}$	Wasserstand, für den ein Überlauf von 2 l/s-m erreicht wird
$SWL10l_{krit.}$	Wasserstand, für den ein Überlauf von 10 l/s-m erreicht wird

und die auf den jeweiligen Referenzwasserstand bezogenen Parameter:

$R_{98}(REW)$	Wellenaufbau R_{98} für den jeweiligen Referenzwasserstand REW
Überlaufreserve	vertikaler Abstand zwischen Wellenaufbau R_{98} und Kronenhöhe
Überlaufmenge q	in l/s-m für den jeweiligen Referenzwasserstand REW

War der Wert für den Ruhewasserstand $SWL_{krit.}$ geringer als derjenige für den Referenzwasserstand REW , so wurde der Wert für den Wellenaufbau R_{98} maßgebend und es ergab sich eine Überlaufreserve als Höhendifferenz zwischen R_{98} und der Deichkronenhöhe. War der Wert für $SWL_{krit.}$ größer als derjenige für den Referenzwasserstand REW , trat ein Überlauf ein und es wurde die berechnete mittlere Überlaufwassermenge q als maßgebend für die bestehende Sicherheit angegeben.

Insgesamt wurden statt der repräsentativen Deichquerschnitte für 60 Küstenabschnitte insgesamt 468 Deichprofile untersucht, davon 313 Deichprofile der bestehenden Landesschutzdeiche und 154 Entwurfsprofile (bisherige Regelprofile). In Abb. 11 sind einige Ergebnisparameter der Sicherheitsüberprüfung der Landesschutzdeiche (Stand 1999-2000) graphisch dargestellt, ebenso das Deichkronennivellement und zum Vergleich die Sollhöhen der Deichkronen nach dem Generalplan 1986.

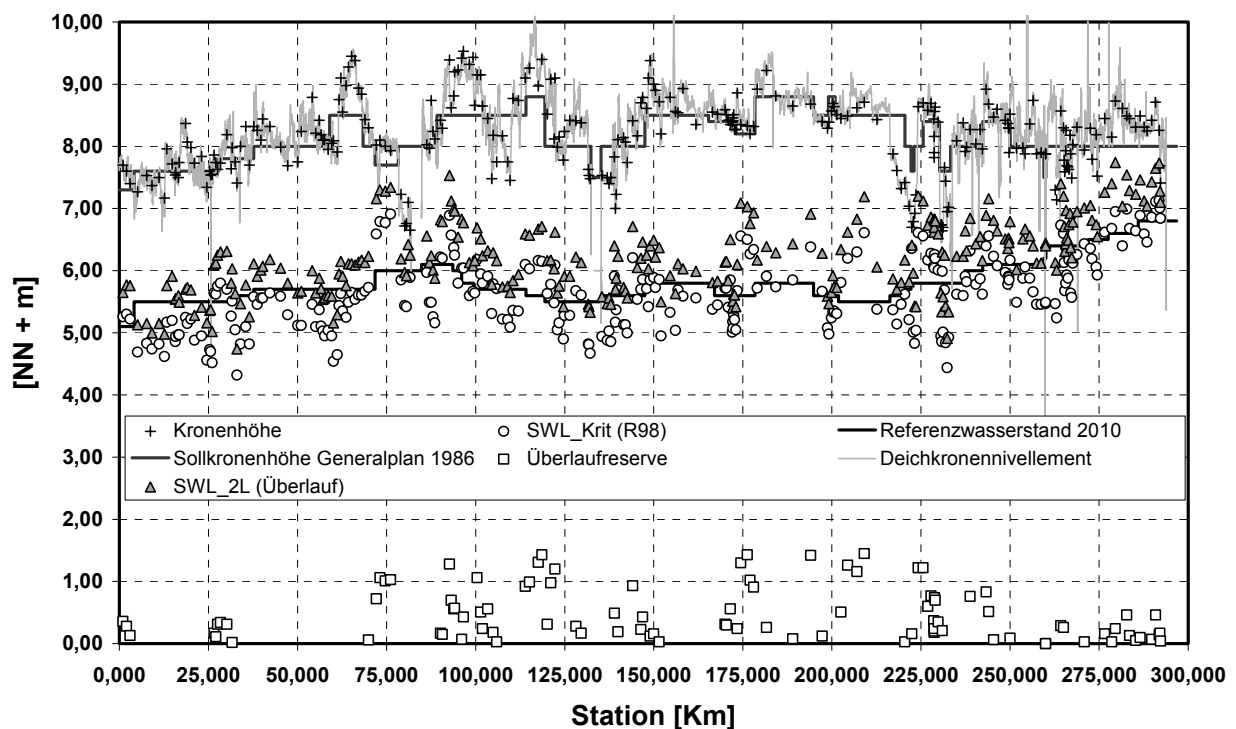


Abb. 11: Ergebnisparameter der Sicherheitsüberprüfung an der Westküste Schleswig-Holsteins

Als Kriterium für die Bewertung der funktionalen Sicherheit der bestehenden Landesschutzdeiche hinsichtlich des auftretenden Wellenaufbaus bzw. Wellenüberlaufs wurde die ermittelte durchschnittliche Überlaufmenge q betrachtet. Binnenböschungen von Seedeichen mit intaktem Grasbewuchs halten der Belastung durch Überlaufwasser über einen längeren Zeitraum stand, wobei die Infiltrationsmenge von der Durchlässigkeit des Bodenmaterials abhängt. Als größter zulässiger Grenzwert wurde für die Sicherheitsüberprüfungen eine mittlere Überlaufmenge $q = 2 \text{ l/s}\cdot\text{m}$ festgelegt. Nach dem derzeitigen Kenntnisstand der bodenmechanischen Prozesse kann vorausgesetzt werden, dass eine 1:3 geneigte, mit deichbaufähigem Klei abgedeckte und ausreichend unterhaltende Binnenböschung, eine solche Überlaufmenge schadlos übersteht. Im Einzelfall mit stark abweichender Randbedingungen könnten sich Änderungen für den festgelegten Grenzwert ergeben.

Eine Bewertung der Ergebnisse nach dem vorstehend erläuterten Sicherheitskriterium wurde sowohl für alle untersuchten Einzelprofile als auch für die Küstenabschnitte entsprechend der Einteilung des Generalplans 2001 vorgenommen. Unter Berücksichtigung des Grenzkriteriums für eine maximal zulässige mittlere Überlaufmenge q von $2 \text{ l/s}\cdot\text{m}$ wurden diejenigen Bereiche der Landesschutzdeiche, welche diesen Wert überschritten, in mehrere Klassen eingeteilt, für die sich jeweils eine der folgenden Anforderungen ergaben:

- Fortführung der im Generalplan 1986 geplanten Erneuerungs- bzw. Verstärkungsmaßnahmen.
- Maßnahmen zur Beseitigung von örtlich begrenzter Unterschreitung des Grenzkriteriums.
- Deicherneuerungs- bzw. Deichverstärkungsmaßnahmen mit neuen optimierten Profilen.

8 Literatur

- Gärtner, J / Strötzel, J. / Grüne, J.: Seegangs- und Wellenaufbaumeßprogramm Dithmarscher Küste und Elbe, Entwurf, 1995, ALW Heide / GWK (unveröffentlichter Bericht).
- Grüne, J.: Nearshore wave climate under real sea state conditions. Proc. 3rd Intern. Conf. on Coastal and Port Eng. in developing countries (COPEDEC III), 1991, Mombasa, Kenia.
- Grüne, J.: Field study on wave run-up on seadykes. Proc. 25th Intern. Conf. on Coastal Engineering (ICCE'96), 1996, Orlando, USA.
- Grüne, J.: Field study on wave climate in wadden seas and in estuaries. Proc. 3rd Intern. Symp. on Ocean Wave Measurements and Analysis (WAVES'97), 1997a, Virginia Beach, USA.
- Grüne, J.: Ermittlung des maßgebenden Seegangs und des Wellenaufbaus für die Küstenschutzmaßnahme Neufelder Koog, 1997b, Forschungszentrum Küste (unveröffentlichter Bericht)
- Grüne, J./ Wang, Z.: Abschlußbericht Teil 4 – Wellenaufbau: Ergebnisse aus großmaßstäblichen Laborversuchen, aus Messungen in der Natur und aus numerischer Simulation“, KFKI-Projekt Nr. 45 „Bemessung auf Seegang“, 1998, Forschungszentrum Küste, (unveröffentlichter Bericht)
- Grüne, J./ Wang, Z.: Wave run-up on sloping seadykes and revetments. Proc. 27th Intern. Conf. on Coastal Engineering (ICCE'2000), 2000, Sydney, Australien.
- Grüne, J./ Wang, Z.: Ermittlung von Wellenaufbau bzw. Wellenüberlauf an der Landesschutzdeichen der Westküste Schleswig – Holsteins für den Generalplan Küstenschutz, Teilberichte A bis H, 2002, Forschungszentrum Küste (unveröffentlichte Berichte).
- Ministerium für ländliche Räume, Landesplanung, Landwirtschaft und Tourismus des Landes Schleswig-Holstein: Generalplan Küstenschutz, 2001, Kiel.
- Wang, Z. / Grüne, J.: The effect of foreland on wave climate changes. Proc. 3rd Intern. Symp. on Ocean Wave Measurements and Analysis (WAVES'97), 1997, Virginia Beach, USA.

Address

Dipl.-Ing. Joachim Grüne, Betriebsleiter Forschungszentrum Küste (FZK)
Forschungszentrum Küste, Merkurstrasse 11, 30419 Hannover, Germany
RBD Dipl.-Ing. Joachim Gärtner, Dezernent
Amt für Ländliche Räume Husum, Herzog-Adolf-Str. 1, Husum, Germany

E-mail: gruene@fzk.uni-hannover.de