

# Sicherheit von Seedeichen gegen Sturmfluten

Von Johann Kramer

## Zusammenfassung

Die Widerstandsfähigkeit von Seedeichen gegen die Beanspruchungen durch Sturmfluten wird als „Deichsicherheit“ nach verschiedenen Gesichtspunkten untersucht. Zu berücksichtigen sind die ansteigenden Sturmflutwasserstände, Wellenauflauf und Wellenüberschlag, Beseitigung von Schäden innerhalb von Sturmzeitenketten, Wertung der Bauelemente und die Baukosten verschiedener Deichtypen. Die Ergebnisse sind die Zunahme der Deichsicherheit von 1800 bis 1975 und daß der Schardeich die kostengünstigste Lösung gegenüber einem Deich mit Vorland und Sommerdeich unter dem Gesichtspunkt der Deichsicherheit ist.

## Summary

*The stability of a sea dike against the effect of storm surges is the subject of investigations in the "dike safety". This refers to the rising levels of storm tides, wave runup and overtopping, repair of damages at the dike between storm tides, rating of the elements of dike construction and the costs of different types of dikes. The results are an increase of dike safety from 1800 to 1975 and that a dike without foreland and summerdike requires the lowest construction costs.*

## Inhalt

1. Einführung . . . . .	155
2. Deichsicherheit gegen die ansteigenden Sturmflutwasserstände . . . . .	156
3. Deichsicherheit gegen Schäden in der Deichdecke durch Wellenauflauf und Wellenüberschlag . . . . .	158
4. Deichsicherheit nach Sturmflutschäden am Deich . . . . .	159
5. Deichsicherheit nach Bewertung der Deichelemente . . . . .	160
6. Deichsicherheit unter Berücksichtigung der Baukosten verschiedener Deichtypen. . . . .	164
7. Schriftenverzeichnis und Quellen . . . . .	165

## 1. Einführung

Die häufigen, sehr schweren Sturmfluten der letzten Jahrzehnte – besonders die der Jahre 1953, 1962, 1973 und 1976 – geben Veranlassung, die Sicherheit verschiedener Deichformen und Deichtypen gegen Sturmfluten zu untersuchen. Unter „Deichsicherheit“ soll hier die Widerstandsfähigkeit eines Erddeiches gegen sehr schwere Sturmfluten mit Wellenauflauf und Wellenüberschlag verstanden werden, durch die Ausschläge und Auswaschungen bis zu Deichbrüchen und daraus folgend Überschwemmungen des Hinterlandes eintreten können.

Die Erddeiche (Abb. 1) sind aus Klei oder haben eine Kleidecke über einem Sandkern, der unterschiedlich in seinen Abmessungen ist, weil er meistens im Zuge einer Deichverstärkung in neuerer Zeit entstand. Die Oberfläche trägt eine Grasnarbe, auf deren Pflege besonderer Wert gelegt wird, um durch Verwurzelung im Boden ein gegen Erosion schützen-

des Kornfaserwerk zu schaffen. Der Fuß von Schardeichen ist im allgemeinen mit einem schweren, massiven Deckwerk befestigt.

Im einzelnen wird eingegangen auf:

- Deichsicherheit gegen die ansteigenden Sturmflutwasserstände
- Deichsicherheit gegen Schäden in der Deichdecke durch Wellenauflauf und Wellenüberschlag
- Deichsicherheit nach Sturmfluten am Deich und deren Wiederherstellung
- Deichsicherheit unter Berücksichtigung der Baukosten verschiedener Deichtypen

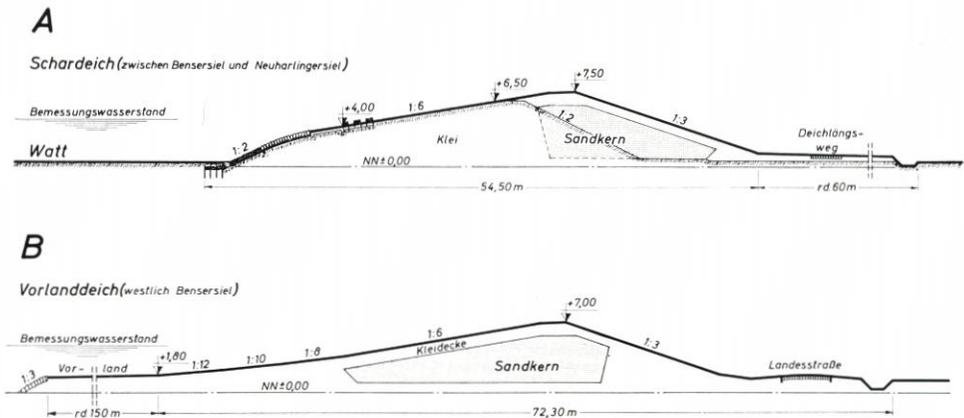


Abb. 1: Querschnitte von Seedeichen mit Sandkern und Kleidecke

Die Deichsicherheit wird an Hand von Deichquerschnitten betrachtet, wie sie seit 1800 an der ostfriesischen Nordseeküste gebaut worden sind. Diese spiegeln jedoch die Entwicklung der Deiche an der gesamten Küste wieder, so daß die Ergebnisse der Sicherheitsbetrachtung auf alle Seedeiche an der Nordsee bezogen werden können. Letzteres gilt auch für die Ergebnisse der Untersuchung über die Sicherheit verschiedener Deichtypen, wie Schardeich, Deich mit Vorland sowie Deich mit Vorland und Sommerdeich, unter Berücksichtigung ihrer Baukosten.

## 2. Deichsicherheit gegen die ansteigenden Sturmflutwasserstände

Am Beispiel eines Schardeiches westlich Norddeich in Ostfriesland (Abb. 2) soll die Deichsicherheit gegen die langfristig ansteigenden Sturmflutwasserstände dargelegt werden. Bekannt sind die Deichquerschnitte aus den Jahren 1800, 1900 und 1975 (DEICHACHT NORDEN), denen die Wasserstände der sehr hohen Sturmtiden der Jahre 1825, 1906 und 1962 zugeordnet werden. Bemerkt sei, daß für diesen Küstenbereich das HHThw 1962 auch 1976 nicht überschritten worden ist.

Die Kronenhöhe eines Seedeiches wurde bis Anfang dieses Jahrhunderts nach der örtlich bekannten höchsten Sturmflut mit einem Zuschlag für den Wellenauflauf bemessen. Unerkannt blieb bis in die zwanziger Jahre die Wasserstandshebung in der Nordsee, häufig als „Küstensenkung“ bezeichnet. Am Pegel Wilhelmshaven, für den langjährige Was-

serstandsbeobachtungen vorliegen, zeigt sich ein Anstieg des mittleren Tidehochwassers von 26 cm im Jahrhundert, wobei für die Jahreswerte die 19-jährigen übergreifenden Mittel zugrunde gelegt werden, um die astronomischen Einflüsse auszuschalten (KRAMER, 1969). Nach neueren Untersuchungen (ROHDE, 1976) läßt sich dieser Betrag seit dem 16. Jahrhundert nachweisen. Ein entsprechender säkularer Betrag von 0,25 bis 0,30 m geht heute, im Gegensatz zu früher, in den Sicherheitszuschlag bei der Bemessung der Deichhöhen ein. Daraus folgt auch, daß die gegenwärtig erhöhten Deiche in 100 Jahren wieder erhöht werden müssen, wenn der Anstieg des Meeresspiegels anhält und der gleiche Sicherheitsgrad auch in der weiteren Zukunft erhalten werden soll.

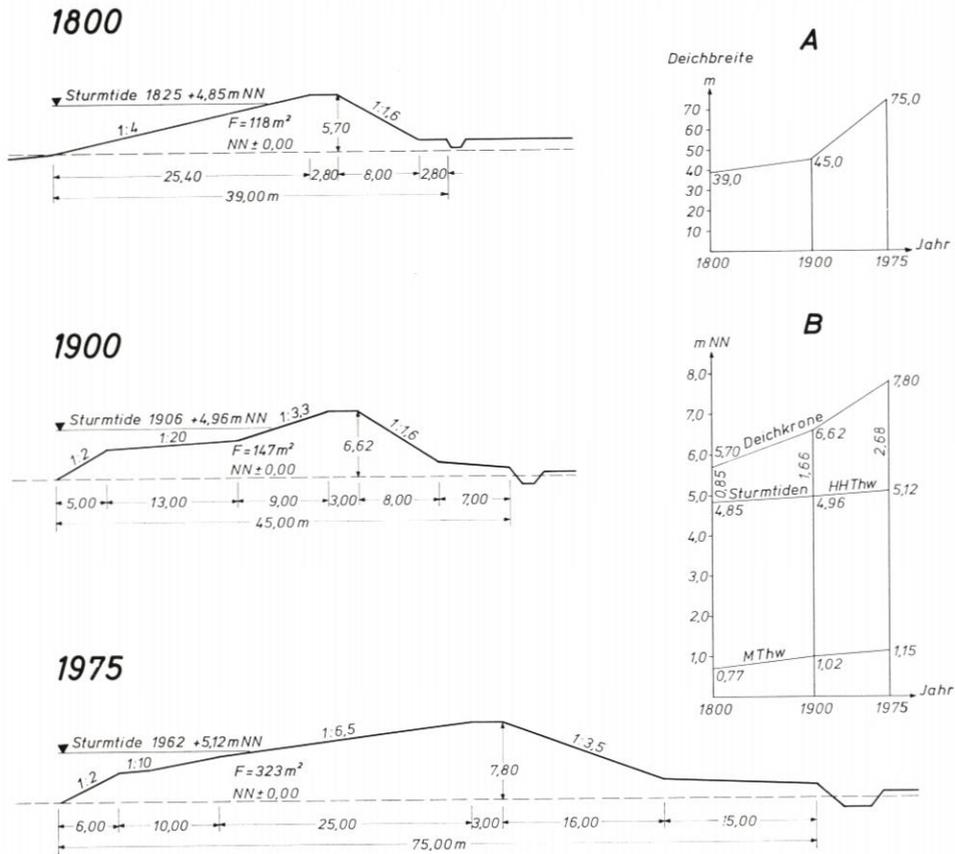


Abb. 2: Vergleich von Querschnitten von Seedeichen aus den Jahren 1800, 1900 und 1975

Die Deichquerschnitte des Seedeichs westlich Norddeich (Abb. 2) aus den Jahren 1800, 1900 und 1975 werden nach dem Gesichtspunkt ausgewertet, daß vor allem die Deichabmessungen den Sicherheitsgrad bestimmen. Die Darstellung zeigt, daß die Querschnittsfläche (F) des Deichkörpers zugenommen hat, von 118 m<sup>2</sup> um 1800 auf 147 m<sup>2</sup> um 1900 und auf 323 m<sup>2</sup> im Jahre 1975.

Abb. 2 A gibt die Veränderung der Deichbreite in der Deichbasis an, die von 39,0 m um 1800 auf 75,0 m im Jahre 1975 zugenommen hat. Sie ist im besonderen ein Maß für die Standsicherheit des Deiches gegen Grundbruch, ist doch bei größerer Breite die Eigen-

last des Deichkörpers und die Belastung durch hohe Sturmflutwasserstände auf eine breitere Fläche des Deichuntergrundes verteilt. Weiterhin schließt die größere Deichbreite aus, daß bei anhaltenden hohen Außenwasserständen die Sickerwasserlinie an der Binnenböschung und damit Drängewässer austritt, das den Deichboden so durchnässen kann, daß die Binnenböschung zu fließen beginnt.

Aus Abb. 2 B ist erkennbar, daß die Differenz zwischen der Kronenhöhe und der jeweils höchsten Sturmflut von 1800 bis 1975 von 0,85 m auf 2,68 m zugenommen hat. Dieses Maß kennzeichnet die Höhe des möglichen Wellenauflaufes auf der Außenböschung bevor es zum Wellenüberschlag über die Deichkrone kommt.

### 3. Deichsicherheit gegen Schäden in der Deichdecke durch Wellenauflauf und Wellenüberschlag

An den Außenböschungen von Erddeichen entstehen Schäden als Auswaschungen oder Ausbrüche durch Wellenauflauf und Brandung während der hohen Sturmfluten, die durch Druckschlagwirkung (FÜHRBÖTER, 1966) vergrößert werden. Der Wellenauflauf kann nach Beobachtungen und Messungen während sehr schwerer Sturmfluten am Seedeich bei Norddeich bis zu 3,0 m betragen (ERCHINGER, 1974). Je anhaltender die Brandung am Deich steht – bis zu drei Stunden während des höchsten Sturmfluten-Wasserstandes 1962 (KRAMER et al., 1962) –, desto schwerer sind die Ausschläge.

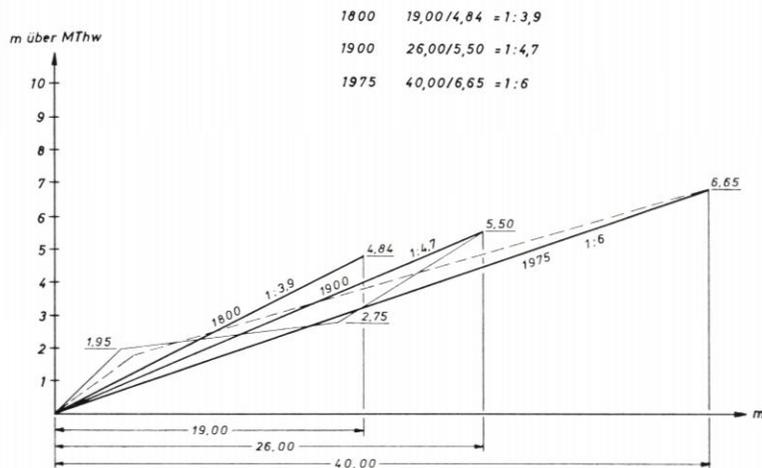


Abb. 3: Veränderungen der Neigung der Außenböschung von Seedeichen aus den Jahren 1800, 1900 und 1975

Die Ausdehnung der Schäden in der Außenböschung eines Deiches wird – wie die Erfahrung zeigt – vor allem von der Neigung der Außenböschung bestimmt. Diese ist seit 1800 sehr viel flacher geworden (Abb. 3) und hat sich von der mittleren Neigung 1 : 3,9 um 1800 in die gleichbleibende von 1 : 6 in der Gegenwart gewandelt. Seit einigen Jahren wird die Neigung 1 : 6 unter Einschluß der Überhöhung für das Setzen des Deichkörpers angehalten, so daß nach dessen Abklingen die Neigung 1 : 6,5 bleibt (Abb. 2, Deichquerschnitt 1975). Vor allem wegen der flacheren Böschungen haben nach 1825 die

Schäden an den Außenböschungen, die sich häufig bis zu Deichbrüchen ausweiteten, an den Seedeichen der Nordseeküste sehr stark abgenommen; sie sind heute zu Ausnahmefällen geworden und an den neuen Deichen praktisch ausgeschlossen. Die Widerstandsfähigkeit der Binnenböschung gegen Erosion durch Wellenüberschlag über die Deichkrone hängt von der Neigung der Binnenböschung ab, wie besonders die Erfahrungen 1962 in Niedersachsen (KRAMER et al., 1962) erwiesen haben. An steilen Binnenböschungen von 1 : 1 bis 1 : 2 entstanden damals Auswaschungen und Rutschungen, die zu zahlreichen Deichbrüchen führten. Solche blieben jedoch bei Neigungen 1 : 2,5 bis 1 : 3 aus, weil auf der flacheren Böschung die Beschleunigung des überschlagenden Wassers geringer und damit die Erosionskraft kleiner ist.

Wenn früher die Binnenböschung noch 1 : 1,6 (Abb. 2) geneigt war, heute dagegen 1 : 3 oder auch 1 : 3,5, hat damit die Sicherheit gegen von der Binnenseite her erzeugte Deichbrüche erheblich zugenommen. Auch wenn einmal zugelassen werden sollte, daß 5 % der höchsten Wellen über die Deichkrone schlagen, was gegenwärtig an den erhöhten Deichen nirgendwo zu erwarten ist, verhindert die flache binnenseitige Neigung von 1 : 3 eines Seedeiches, daß aus ihr Boden ausgewaschen wird. Dies zeigen Erfahrungen aus den Sturmtiden 1973 und 1976 mit Wellenüberschlag an noch nicht erhöhten Deichstrecken, jedoch mit 1 : 3 geneigter Binnenböschung. Deshalb können die nach den heutigen Erkenntnissen erhöhten und profilierten Deiche bei kurzzeitigem Wellenüberschlag als *bruchsicher* bezeichnet werden. Im Ergebnis hat die Deichsicherheit auf Grund der heutigen Profilstaltung gegenüber früher in einem außerordentlich hohen Maß zugenommen.

#### 4. Deichsicherheit nach Sturmflutschäden am Deich

Sind an einem Deich Schäden durch eine Sturmflut entstanden, so ist für seine verbleibende Widerstandsfähigkeit entscheidend, ob innerhalb kurzer Zeit weitere Sturmfluten

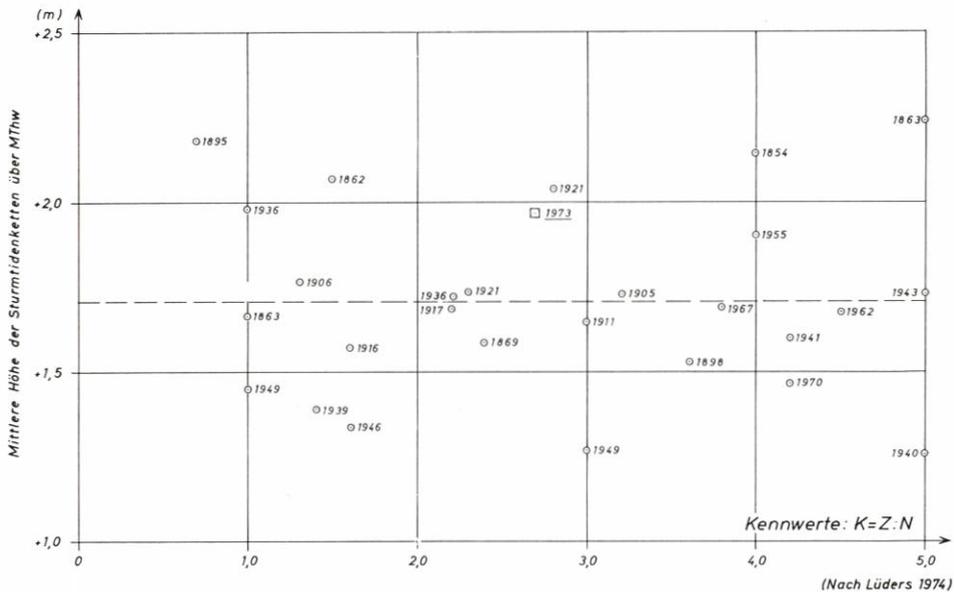


Abb. 4: Sturmflutenkette am Pegel Wilhelmshaven von 1854 bis 1973

einer *Sturmtidenkette* folgen. Diese können die ersten Schäden ausweiten und vor allem verhindern, daß sie zwischen den Sturmtiden gesichert oder beseitigt werden.

Um hier ein Maß für die Häufigkeit und den zeitlichen Abstand der Aufeinanderfolge von Sturmtiden innerhalb einer Sturmtidenkette zu haben, wird die von LÜDERS (1974) entwickelte Beziehung herangezogen, die einen Kennwert  $K = Z : N$  angibt. Der Faktor  $Z$  stellt die Zeit in Tagen von der ersten bis zur letzten Sturmtide dar. Der Faktor  $N$  gibt die Anzahl der Sturmtiden innerhalb dieser Zeit wieder. Mindestens fünf Sturmtiden kennzeichnen eine Sturmtidenkette, d. h.  $K \leq 5,0$ . Je kleiner der  $K$ -Wert ist, um so schneller folgen die Sturmtiden aufeinander. Die mittlere Höhe einer Sturmtidenkette über MThw charakterisiert deren „Schwere“ und erlaubt es, sie mit anderen am gleichen Pegelort zu vergleichen.

Abb. 4 gibt die Werte für die Sturmtidenketten von 1854 bis 1973 am Pegel Wilhelmshaven wieder und zeigt die Beziehung der Kennwerte ( $K$ ) zur mittleren Höhe über MThw. Zu erkennen ist, daß die Sturmtidenketten 1962 und 1973 keineswegs extrem im Hinblick auf eine Aufeinanderfolge der Sturmtiden oder der Schwere der Sturmtidenketten waren. Am gefährlichsten für die Deichsicherheit war die Sturmtidenkette von 1895 mit  $K = 1,0$  und einer extremen mittleren Höhe über MThw, d. h. sehr hohe Sturmflutwasserstände in schneller Folge. Eine zur Gegenwart hin ungünstige Veränderung der Deichsicherheit unter dem Gesichtspunkt der Beseitigung oder Sicherung von Sturmflutschäden zwischen den einzelnen Sturmtiden kann aus der Darstellung nicht abgeleitet werden.

#### 5. Deichsicherheit nach Bewertung der Deichelemente

Um die Veränderung der Deichsicherheit quantitativ beschreiben zu können, wurden die für die Widerstandsfähigkeit maßgebenden Faktoren wie Kronenhöhe, Böschungneigung, Deichbreite, Deichboden, Untergrund, Einbau, Begrünung, Deichlängsweg und Deichunterhaltung analysiert. Die Wertungs- und Wichtungspunkte der Deichsicherheitsanalyse (Abb. 5, Tabelle) wurden durch mehrere fachkundige Ingenieure gegeben, so daß das Ergebnis als weitgehend objektiv angesehen werden darf:

1. Insgesamt werden 100 Punkte vergeben, die nach dem Gewicht der einzelnen Faktoren (Spalte 1) als Wichtung (Spalte 2) verteilt werden.
2. Je Bewertungsfaktor konnten zwischen 0 und 10 Punkte verteilt werden. Null Punkte bedeuten, daß dieser Faktor zur angegebenen Zeit noch nicht vorhanden war, 10 Punkte, daß er so vollkommen war, daß keine weitere Verbesserung mehr möglich ist (Spalten 3, 5 und 7).
3. Die Summe der Produkte aus Wichtung (Spalte 2) und Wertung ( $W$ ) ergibt den Sicherheitssummanden ( $S$ ), (Spalten 4, 6 und 8), der ein Maß für die Deichsicherheit darstellt.

Wie die Tabelle und die grafische Darstellung in Abb. 5 ausweisen, betrug der Sicherheitszuwachs

$$\text{von 1800 bis 1900 } \frac{469 - 327}{100} = 1,42 \text{ Punkte/Jahr}$$

$$\text{von 1900 bis 1975 } \frac{694 - 469}{75} = 3,00 \text{ Punkte/Jahr}$$

$$\text{von 1800 bis 1975 } \frac{694 - 327}{175} = 2,10 \text{ Punkte/Jahr}$$

In Prozenten des jeweiligen Ausgangswertes stieg von 1800 bis 1900 die Deichsicherheit um 43 %, von 1900 bis 1975 um 48 % und für den gesamten Zeitraum 1800 bis 1975 um 112 %.

Auch unter Berücksichtigung der Unsicherheiten der Bewertungskriterien bleibt das Ergebnis, daß die heutigen Deiche wesentlich mehr Sicherheit gegen sehr schwere Sturmfluten bieten als die um 1800 erbauten. Dieser Zuwachs an Deichsicherheit ist das Ergebnis der besseren Kenntnisse über Sturmzeiten, Wasserstände, Wellenaufbau, Brandungswirkung und deren wissenschaftliche Auswertung, die sich in der Veränderung der den Deichbau bestimmenden Faktoren und der Deicherhaltung im untersuchten Zeitraum ausgewirkt haben.

Faktor	Wich- tung	1800		1900		1975	
		W	S	W	S	W	S
1	2	3	4	5	6	7	8
Kronenhöhe	21	3	63	6	126	8	168
Neigung der Außenböschung	13	3	39	5	65	7	91
Neigung der Innenböschung	14	3	42	3	42	5	70
Deichbreite	20	3	60	5	100	9	180
Deichboden, Unter- grund, Einbau	10	3	30	4	40	5	50
Begrünung	7	6	42	6	42	6	42
Deichlängsweg	9	3	27	4	36	7	63
Deichunterhaltung	6	4	24	3	18	5	30
Summe	100		327		469		694

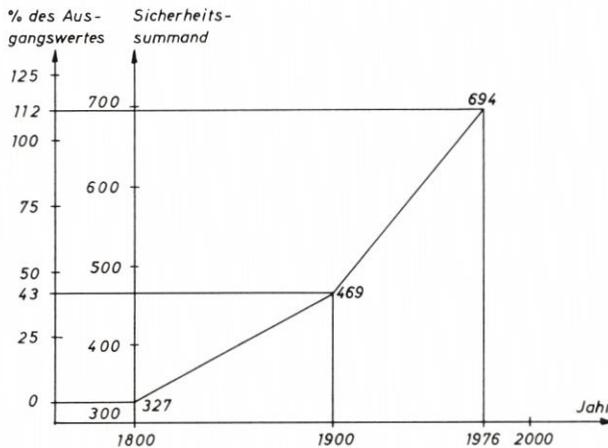


Abb. 5: Deichsicherheits-Analyse

Unberücksichtigt geblieben – weil schwierig zu bewerten – ist bei der Deichsicherheits-Analyse das Deckwerk am Fuß des Schardeiches. Um 1800 wurde der Deichfuß jährlich mit Stroh neu bestickt, um 1900 wurden Deckwerke aus Basaltsteinen angelegt, und 1975 waren diese im Aufbau verstärkt und durch eine massive Befestigung der Außen-

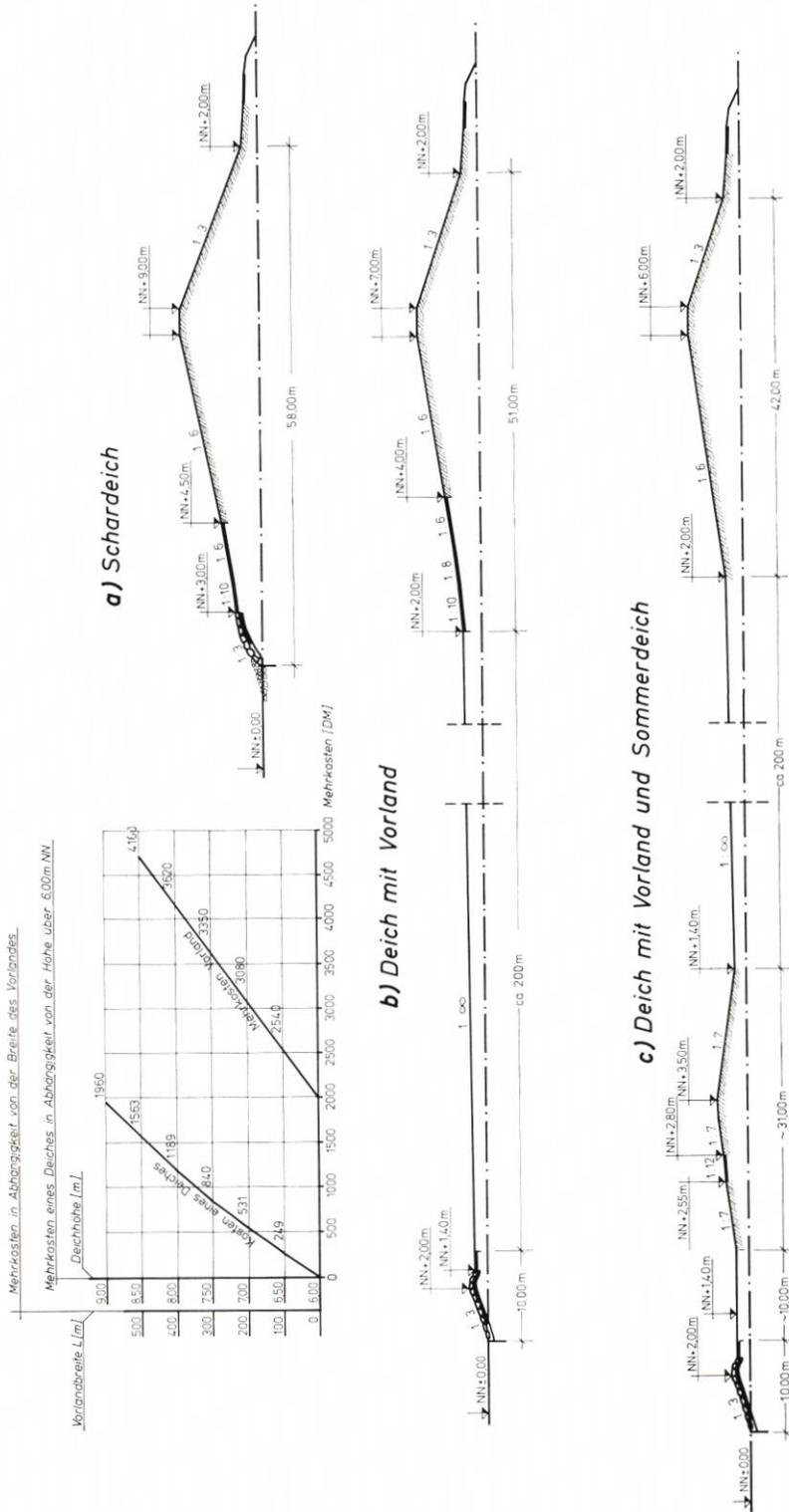


Abb. 6: Querschnitte verschiedener Deichtypen für die Bewertung nach den Baukosten

böschung bis zur Höhe von + 4,50 m NN verbreitert. Wenn auch bei den höchsten Sturmflutwasserständen vor allem die Erdböschung oberhalb beansprucht wird, so bleibt doch die stabilisierende Wirkung des massiven Deichfußes und damit eine höhere Deichsicherheit.

#### 6. Deichsicherheit unter Berücksichtigung der Baukosten verschiedener Deichtypen

An der ostfriesischen Küste sind im Zuge der seit Jahrhunderten betriebenen Landgewinnung und in jüngster Zeit auch durch Bodenaufspülung ausgedehnte Vorländer vor Hauptdeichen entstanden. Das Vorland hat eine wellenbrechende Wirkung, die durch einen Sommerdeich auf dem Vorland noch verstärkt wird und den Wellenauflauf am Hauptdeich vermindert.

Auf Grund von Einmessungen der Treibselgrenze als Markierung ist für unterschiedliche Deichtypen östlich von Norddeich der Wellenauflauf ermittelt worden (ERCHINGER, 1974). Für etwa gleich hohe Sturmflutwasserstände an den drei Beobachtungsstellen wird als Wellenauflaufhöhe für die verschiedenen Deichtypen angegeben:

1. Schardeich	2,95 m (rd. 3,0 m)
2. Deich mit Vorland	0,97 m (rd. 1,0 m)
3. Deich mit Vorland und Sommerdeich	0,07 m (rd. 0,0 m)

Die Klammerwerte werden für die weiteren Überlegungen benutzt. Bemerkenswert sei allerdings, daß NIEMEYER (1976) Einmessungen des Wellenauflaufes an der Butjadinger Küste angibt, die keine so eindeutige Abhängigkeit des Wellenauflaufes vom Deichtyp und von der Wassertiefe vor dem Deich zeigen. Deshalb dürfen die vorstehend angegebenen Werte über die Verminderung des Wellenauflaufes durch Vorland und Sommerdeiche nicht verallgemeinert werden.

Wenn jedoch, wie es häufig vorgeschlagen wird, aus dem unterschiedlichen Wellenauflauf eine Verminderung der Kronenhöhe des Hauptdeiches abgeleitet wird, so wären folgende Deichtypen als gleichwertig zu bezeichnen (Abb. 6):

- (a) Schardeich (Wellenauflaufhöhe von rund 3,0 m) mit Kronenhöhe von + 9,00 m NN
- (b) Deich mit Vorland (Wellenauflaufhöhe von rd. 1,0 m) mit Kronenhöhe von + 7,00 m NN
- (c) Deich mit Vorland und Sommerdeich (Wellenauflaufhöhe von rd. 0,0 m) mit Kronenhöhe von + 6,00 m NN

In der Grafik der Abb. 6 sind die Mehrkosten eines Deiches auf Grund der gegenwärtigen Baupreise

- in Abhängigkeit von der Höhe über + 6,00 m NN und
- für die Aufspülung eines Vorlandes mit Deckwerk in Abhängigkeit von seiner Breite aufgezeichnet.

Nach den Baupreisen von 1975 sind die Kosten des Deckwerkes vor dem Schardeich oder dem Vorland mit 1400,- DM/m und die des Sommerdeiches mit 800,- DM/m angesetzt worden. An Stelle der Befestigung der Außenböschung des Deiches mit Vorland (Abb. 6b) ist beim Deich mit Vorland und Sommerdeich (Abb. 6c) ein Treibselabfuhrweg berücksichtigt. Wegen des Umfangs sind die Kostenermittlungen nicht in Einzelheiten wiedergegeben worden; sie sind jedoch für Interessenten verfügbar.

In der folgenden Tabelle sind die Deichhöhen und Mehrkosten entsprechend der vorher angenommenen Gleichwertigkeit der Deichtypen (6a), (6b) und (6c) in den Spalten 2a,

Tabelle: Deichtypen und Baukosten

Lösung	1		2		3		4		5	
	Deichtyp	2a	2b	3a	3b	4a	4b	5a	5b	
		Höhe vom Deich, Vorland oder Sommerdeich	Mehrkosten über + 6,00 m NN	Mehrkosten über + 6,00 m NN	Mehrkosten über + 6,00 m NN	Mehrkosten insgesamt über + 6,00 m NN	Mehrkosten in %			
Abb. 6a	Schardeich mit Deckwerk	+ 9,00 m NN	1960,- DM 1400,- DM			3360,- DM	100			
Abb. 6b	Deich mit Vorland	+ 7,00 m + 2,00 m	531,- DM 3080,- DM	1563,- DM 3080,- DM		3611,- DM 4643,- DM	107 138			
Abb. 6c	Deich mit Vorland und Sommerdeich	+ 6,00 m + 2,00 m + 3,50 m	— 3080,- DM 800,- DM	1189,- DM 3080,- DM 800,- DM		3880,- DM 5069,- DM	115 151			

3a, 4a und 5a angegeben. Die Spalten 2b, 3b, 4b und 5b gehen von einem Vorschlag aus, die Verminderung des Wellenauflaufes bei den Lösungen (6b) und (6c) nur teilweise zu berücksichtigen und die Höhe des Hauptdeiches nur auf + 8,50 m bzw. 8,00 m NN zu verringern, wie es für Planungen von Seedeichen erörtert worden ist.

Das Ergebnis des Kostenvergleiches ist, daß bei der Neuanlage einer Deichlinie die kostengünstigste Lösung der Bau eines Schardeiches mit einem schweren massiven Deckwerk ist. Vergleichsweise ist der Bau von Deichen mit Vorland oder Vorland und Sommerdeichen in allen Fällen teurer, besonders dann, wenn bei realistischer Einschätzung der möglichen Verringerung der Deichhöhen die Mehrkosten eines Deiches mit Vorland und Sommerdeich gegenüber einem Schardeich rd. 50 % betragen.

Unberücksichtigt geblieben sind bei diesen Vergleichen die Kosten der Pflege der Grasnarbe von Hauptdeich, Sommerdeich und Vorland, die wegen der geringeren Fläche für den Schardeich sprechen. Auch haben sich die Sommerdeiche an der niedersächsischen Küste in den sehr schweren Sturmfluten als besonders schadensanfällig wegen oft ungenügender Unterhaltung erwiesen.

Wenn auch nach den vorhergehenden Überlegungen die Deichsicherheit am kostengünstigsten durch den Bau von Schardeichen zu erreichen ist, so bleiben doch Vorland und Sommerdeich von Bedeutung, um künftige Risiken aufzufangen. Ein weiterer Anstieg der Wasserstände oder noch höherer Wellenauflauf als bisher bekannt (NIEMEYER, 1976) könnte vor Seedeichen durch Vorland und Sommerdeiche aufgefangen werden, wenn die Hauptdeiche selbst aus Gründen der räumlichen Einengung wegen Beibehaltung ausreichend flacher Außen- und Binnenböschung nicht erhöht werden können.

## 7. Schriftenverzeichnis und Quellen

- Deichacht Norden: Archiv mit Sammlung früherer Deichanlagen, Norden.
- ERCHINGER, H.: Wellenauflauf an Seedeichen — Naturmessungen an der ostfriesischen Küste. Mitt. Leichtweiß-Institut d. TU Braunschweig, H. 41, 1974.
- FÜHRBÖTER, A.: Der Druckschlag durch Brecher auf Deichböschungen. Mitt. Franzius-Institut d. TU Hannover, H. 28, 1966.
- KRAMER, J.: Neue Deiche, Siele und Schöpfwerke zwischen Dollart und Jadebusen. Ostfriesland im Schutze des Deiches, Pewsum 1969, Bd. II.
- KRAMER, J.: Design Criteria for North Sea Dikes. Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division, ASCE, Vol. 97, 1971.
- KRAMER, J., LÜDERS, K. u. LIESE, R.: Die Sturmflut vom 16./17. Februar 1962 im niedersächsischen Küstengebiet. Die Küste, Jg. 10, H. 1, 1962.
- LÜDERS, K.: Sturmflutenketten. Jahresbericht der Forschungsstelle Norderney 1973, Bd. XXV, 1974.
- NIEMEYER, H. D.: Zur Abschätzung des maximalen Wellenauflaufes an Seedeichen aus der Einmessung von Teekgrenzen. Die Küste, H. 29, 1976.
- ROHDE, H.: Wasserstandsbeobachtungen im Bereich der deutschen Nordseeküste vor der Mitte des 19. Jahrhunderts. Die Küste, H. 28, 1975.