



# Internationaler Vergleich der Bemessungsverfahren im Küstenschutz

Berichte des Landesbetriebes Straßen, Brücken und Gewässer Nr. 11/2012



LSBG  
Landesbetrieb Straßen,  
Brücken und Gewässer  
Hamburg



Hamburg



# Internationaler Vergleich der Bemessungsverfahren im Küstenschutz

Berichte des Landesbetriebes Straßen, Brücken und Gewässer Nr. 11/2012



LSBG  
Landesbetrieb Straßen,  
Brücken und Gewässer  
Hamburg



Hamburg



# VORWORT



Seit Menschengedenken bedrohen Nordseestürme die Küste und die Ästuarre. Um den Lebens- und Wirtschaftsraum zu schützen, mussten aufwendige Küsten- und Hochwasserschutzanlagen errich-

tet werden. Immer wieder waren beim Kampf gegen den Blanken Hans Rückschläge zu verzeichnen. Die Anstrengungen beim Ausbau der Küsten- und Hochwasserschutzanlagen haben sich aber gelohnt. Seit 1962 hat es in Deutschland keine Sturmflutopfer mehr gegeben.

Wichtige Grundlage des Küsten- und Hochwasserschutzes ist die Ermittlung des Bemessungswasserstandes. Hamburg hat 2012 einen neuen Bemessungswasserstand festgelegt. Dem ging eine gründliche Fachdiskussion voraus. In diesem Zusammenhang hat der Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer die vorliegende Übersicht der Bemessung von Küsten- und Hochwasserschutzanlagen der wichtigsten Nordseeanrainerstaaten erarbeitet.

Trotz sorgfältiger Herleitung eines Bemessungsansatzes kann es eine vollständige Sicherheit hinter unseren Schutzbauwerken niemals geben. Die Freie und Hansestadt Hamburg wird beim Küsten- und Hochwasserschutz als generationenübergreifender Daueraufgabe alle Möglichkeiten ausschöpfen, um das Restrisiko für Menschen und Sachwerte möglichst gering zu halten.

Dr. Manfred Schuldt

Amtsleiter

Amt für Umweltschutz

Behörde für Stadtentwicklung und Umweltschutz

Freie und Hansestadt Hamburg

## EINLEITUNG

Der Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer arbeitet bereits seit einigen Jahren an der Fortschreibung und Aktualisierung der Grundlagen für den Schutz vor Sturmfluten, um daraus neue Bemessungswasserstände für die Hamburger Hauptdeichlinie zu entwickeln. Hierbei ist es unverzichtbar neben den Verfahren der Nachbarländer Niedersachsen und Schleswig-Holstein auch internationale Erfahrungen und Ansätze einzubeziehen.

Alle Anrainerstaaten der Nordsee sind gezwungen zum Schutz ihrer Niederungen und deren Bewohner Küstenschutzstrategien zu entwickeln, deren wesentlichstes Element der Bau von Schutzbauwerken ist. Deiche und massive Bauwerke sollen die Gefahren, die von Sturmfluten ausgehen, minimieren. Die hohen Kosten für den Bau, den Erhalt und laufende Anpassungsbedarfe der Schutzbauwerke sind durch die häufig existentielle Bedeutung gerechtfertigt, bedeuten aber eine erhebliche Belastung für die Länder und die unmittelbar Betroffenen.

Der vorliegende Bericht befasst sich mit den Unterschieden, die es in den betroffenen Ländern bei den Bemessungsansätzen und den angestrebten Sicherheitsstandards sowie bei den rechtlichen Grundlagen gibt. Es wird außerdem eine Übersicht darüber gegeben, in welcher Größenordnung der Meeresspiegelanstieg bereits heute in die Bemessung einbezogen wird und ob zukünftig Veränderungen dieser Ansätze infolge der prognostizierten Beschleunigung von Klimaveränderungen geplant sind.

Allen Ländern ist gemein, dass sie mehr oder weniger umfassend Risikoaspekte in die Bemessung der Schutzbauwerke einbeziehen. Dieses ist einerseits durch die im Jahr 2007 von der Europäischen Gemeinschaft verabschiedeten „Richtlinie über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken“ angestoßen worden, erscheint darüber hinaus aber auch vor dem Hintergrund der begrenzten finanziellen Ressourcen unverzichtbar. In Zukunft wird dies dazu führen, dass vermehrt risikoabhängige örtlich unterschiedliche Schutzniveaus festgesetzt werden und nicht mehr ein weitgehend einheitlicher und höchstmöglicher Schutz an jeder Stelle angestrebt wird.

Der vorliegende Bericht gibt einen Überblick über die unterschiedliche Vorgehensweise der Nordseeanrainerländer beim Schutz vor Sturmfluten. Die Verantwortlichen sind weiterhin aufgefordert, an einer Vereinheitlichung der Standards zu arbeiten, um im Hinblick auf Sicherheit und Wirtschaftlichkeit einen grenzüberschreitenden optimalen Schutz der Küstenniederungen zu erreichen.

Thomas Buß

Fachbereichsleitung

Planung und Entwurf Hochwasserschutz

Geschäftsbereich Gewässer und Hochwasserschutz

Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer  
Behörde für Wirtschaft, Verkehr und Innovation  
Freie und Hansestadt Hamburg

# INHALT

<b>VORWORT</b>	<b>3</b>
<b>EINLEITUNG</b>	<b>4</b>
<b>INHALT</b>	<b>5</b>
<b>VERANLASSUNG</b>	<b>9</b>
<b>1 GEGENSTAND DER ARBEIT</b>	<b>9</b>
1.1 Gegenstand	9
1.2 Grundlagen	10
1.3 Begriffsdefinitionen	10
1.3.1 Risiko	10
1.3.2 Sicherheit	10
<b>2 ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>11</b>
2.1 Überblick	11
2.2 Heutiger Zustand	11
2.2.1 Juristische Grundlagen	11
2.2.2 Verfahren	12
2.2.2.1 Ermittlung der Bemessungswasserstände	12
2.2.2.2 Umsetzung der Bemessungswasserstände	13
2.2.2.3 Sicherheitsstandards	14
2.2.2.4 Meeresspiegelanstieg	17
2.3 Zukünftige Entwicklungen – Anpassung an den Klimawandel	17
2.3.1 Juristische Grundlagen	17
2.3.2 Verfahren	18
2.3.2.1 Sicherheitsstandards	19
2.3.2.2 Meeresspiegelanstieg	22
<b>3 NIEDERLANDE</b>	<b>23</b>
3.1 Geographischer und historischer Überblick	23
3.1.1 Deltaplan	23
3.1.2 Sandvorspülungen	23
3.2 Juristische Grundlagen	24
3.2.1 Küstenschutzgesetz	24
3.2.2 Reglementierte Raumordnung	25
3.3 Bemessung	26
3.3.1 Sicherheitsstandard	26
3.3.2 Bemessungswasserstände	28
3.3.3 Meeresspiegelanstieg	28
3.4 Zukünftige Entwicklung	28
3.4.1 Neues Deltaprogramm	29

3.4.2	Sicherheitsstandard und Meeresspiegelanstieg	29
3.4.3	Vorhaben des Deltaprogramms	30
3.4.3.1	Nordseeküste	30
3.4.3.2	Südwestliches Delta	30
3.4.3.3	Flüsse	30
3.4.3.4	Ijsselmeer	31
3.4.3.5	Kosten	31
3.5	Fazit	31
<b>4</b>	<b>BELGIEN</b>	<b>32</b>
4.1	Überblick	32
4.2	Juristische Grundlagen	32
<b>5</b>	<b>BELGIEN (SCHELDE)</b>	<b>32</b>
5.1	Geographischer und historischer Überblick	32
5.1.1	Sigmaplan	32
5.1.2	Umsetzung des Sigmaplans	33
5.2	Juristische Grundlagen: Aktualisierter Sigmaplan	33
5.2.1	Risikobasierter Ansatz	33
5.2.2	Sicherheitsstandard	34
5.2.3	Bemessung	34
5.2.4	Meeresspiegelanstieg	35
5.3	Fazit	35
<b>6</b>	<b>BELGIEN (FLANDRISCHE KÜSTE)</b>	<b>35</b>
6.1	Geographischer und historischer Überblick	35
6.2	Juristische Grundlagen	35
6.3	Bemessung	36
6.3.1	Sicherheitsstandard	36
6.3.2	Meeresspiegelanstieg	36
6.3.3	Bemessungsverfahren	36
6.4	Zukünftige Entwicklung	36
6.4.1	Juristische Grundlage	37
6.4.2	Zukünftige Bemessung	38
6.4.2.1	Sicherheitsstandard	38
6.4.2.2	Meeresspiegelanstieg und Wellenüberlauf	38
6.4.3	Schadens- und Opferkalkulation	38
6.4.4	Risikoanalyse	40
6.5	Fazit	41
<b>7</b>	<b>VEREINIGTES KÖNIGREICH</b>	<b>42</b>

<b>8 VEREINIGTES KÖNIGREICH (KÜSTE)</b>	<b>42</b>
8.1 Geographischer Überblick	42
8.2 Juristische Grundlagen	42
8.2.1 Coast Protection Act	42
8.2.2 Making Space for Water	43
8.2.3 Shoreline Management Plans	43
8.3 Bemessung	44
8.3.1 Sicherheitsstandard	44
8.3.2 Meeresspiegelanstieg	45
8.3.3 Meteorologische und hydrologische Parameter	46
8.4 Zukünftige Entwicklung: Risikomanagement	46
8.4.1 Sequenztest	47
8.4.2 Ausnahmetest	50
8.5 Fazit	50
<b>9 VEREINIGTES KÖNIGREICH (LONDON UND DIE THEMSE)</b>	<b>51</b>
9.1 Historischer und geographischer Überblick	51
9.2 Juristische Grundlagen	51
9.3 Das Themsesperrwerk	51
9.4 Sicherheitsstandard und Meeresspiegelanstieg	52
9.5 Zukünftige Entwicklung: „Thames Estuary 2100“	53
9.6 Fazit	53
<b>10 DÄNEMARK</b>	<b>54</b>
10.1 Geographischer Überblick	54
10.2 Juristische Grundlagen	54
10.2.1 Küstenschutzgesetz	54
10.2.2 Durchführung von Küstenschutzmaßnahmen	55
10.3 Bemessung	55
10.3.1 Sicherheitsstandards	55
10.3.2 Bemessungswasserstände	56
10.3.3 Meeresspiegelanstieg	57
10.4 Beispiel Managementplan Westküste	57
10.4.1 Sicherheitsstandard	58
10.4.2 Meeresspiegelanstieg	59
10.4.3 Heutiger Stand an der Westküste	59
10.5 Fazit	59

<b>Anhang</b>	<b>60</b>	
<b>NL - 1 DAS BEMESSUNGSVERFAHREN IN DEN NIEDERLANDEN</b>	<b>60</b>	
NL - 1.1	Sicherheitsstandard	60
NL - 1.2	Bemessungswasserstände	60
NL - 1.2.1	Überprüfung des Sicherheitsstandards	61
NL - 1.2.1.1	Basiswasserstände	61
NL - 1.2.1.2	Wellenauflauf bzw. -überlauf	63
NL - 1.2.1.3	Prüf- und Rechenwasserstand	63
NL - 1.2.1.4	Wasserstandverlauf an der Küste	63
NL - 1.2.1.5	Unterläufe der Flüsse (Benedenrivieren)	64
NL - 1.2.1.6	Wasserstandverlauf Benedenrivieren	64
NL - 1.2.2	Deichhöhe	66
<b>B - 1 BELGIEN: KOSTEN-NUTZEN-ANALYSE FÜR DEN AKTUALISIERTEN SIGMAPLAN (SCHELDE)</b>	<b>67</b>	
B - 1.1	Evaluation der Maßnahmen	67
B - 1.2	Bestimmung der bestmöglichen Lösung	68
B - 1.3	Rahmenplanung mit Top-Down-Ansatz	68
B - 1.4	Optimierung mit Bottom-Up-Ansatz	69
<b>B - 2 BELGIEN: BEMESSUNGSVERFAHREN (SCHELDE)</b>	<b>71</b>	
B - 2.1	Bemessungsverfahren	71
B - 2.1.1	Wind	71
B - 2.1.2	Windstau	73
B - 2.1.3	Synthetische Sturmfluten	75
B - 2.1.4	Modellierung	76
B - 2.1.5	Bestimmung der Wahrscheinlichkeitsverteilung	77
B - 2.1.6	Sensitivitätsanalyse	78
B - 2.2	Vergleich mit anderen Methoden	79
B - 2.3	Anwendung	80
B - 2.4	Vor- und Nachteile	81
<b>B - 3 BELGIEN: BEMESSUNGSVERFAHREN FÜR FLANDERN</b>	<b>82</b>	
B - 3.1	Bemessungsverfahren	82
B - 3.1.1	Richtungsabhängige Analyse der Wasserstände	82
B - 3.1.2	Bestimmung des Windstaus	83
B - 3.1.3	Extremwertanalysen	83
B - 3.1.4	Wasserstand	84
B - 3.1.5	Übertragung auf die Küste	85
B - 3.2	Anwendung der ermittelten Rahmenbedingungen	85
<b>LITERATUR</b>	<b>86</b>	
<b>IMPRESSUM</b>	<b>89</b>	

## VERANLASSUNG

Küstenschutzbauwerke sind in Hamburg ein unverzichtbares Element der Daseinsvorsorge. Ob ihre Bemessung den Schutzanforderungen noch genügt oder Anpassungen aufgrund veränderter Risiken erforderlich werden, muss regelmäßig überprüft werden. Da es hierfür keine genormten Verfahren gibt, sind Berechnungsverfahren und Sicherheitsstandards anderer Nordseerainerländer ausgewertet worden.

## 1 GEGENSTAND DER ARBEIT

### 1.1 Gegenstand

Der vorliegende Bericht stellt das Ergebnis einer umfangreichen Literaturrecherche dar. Es werden die Vorgehensweisen zur Bemessung der Küstenschutzanlagen der Nordseerainerstaaten Niederlande, Belgien, Großbritannien und Dänemark erläutert. Dabei ist zu beachten, dass für Belgien und Großbritannien jeweils zwei Strategien erläutert werden, da für die flandrische Küsten und die Schelde bzw. für die britische Küste und die Themse innerstaatlich verschiedene Küstenschutzkonzepte zur Anwendung kommen.

Zusammenfassend werden die Inhalte des Berichtes in Kartenform dargestellt. Je eine Karte gibt den heutigen Zustand (s Abb. 1 auf S. 8) und den in Planung befindlichen zukünftigen Zustand (s. Abb. 2 auf S. 13) der nationalen Küstenschutzstrategien wieder. Besondere Schwerpunkte des Berichtes liegen auf folgenden Bestandteilen, die – teilweise im vertiefenden Anhang – ausführlicher betrachtet und erläutert werden:

1. Juristische Grundlagen für den Küstenschutz: Hier wird insbesondere untersucht,

in welchen juristischen Grundlagen – von speziellen Küstenschutzgesetzen bis zu verbindlichen Plänen (Generalplänen etc.) – die Protektionsmaßnahmen gegen extreme Wasserstände geregelt bzw. vorgeschrieben sind. Darüber hinaus wird der Frage nachgegangen, ob und wenn ja, in welchem Maße die Staaten dazu verpflichtet sind, Küstenschutz zu betreiben um so ihre Bevölkerung vor den von der Nordsee ausgehenden Gefahren zu schützen.

2. Sicherheitsstandards des Küstenschutzes: Es werden die Sicherheitsstandards, mit denen die Küsten und das dahinter liegende Land geschützt werden (sollen) erläutert. Es sind einerseits weitestgehend ländlich strukturierte Gegenden und andererseits hoch entwickelte Metropolen vor Sturmfluten zu schützen. In einigen Ländern werden dazu unterschiedlich hohe Sicherheitsstandards angesetzt, die Eintrittswahrscheinlichkeiten von 1:2,5 bis 1:10.000 pro Jahr abdecken. Neben der Erläuterung der Sicherheitsstandards selbst wird auch auf die verschiedenen nationalen Methoden eingegangen, anhand derer die Sicherheitsstandards hergeleitet werden.
3. Bemessungsverfahren: Die Bemessung nationaler Küstenschutzmaßnahmen erfolgt aufgrund sehr unterschiedlicher Bemessungsverfahren. Deren Palette reicht von rein statistischen Extrapolationen bis hin zu relativ komplexen Kombinationsverfahren aus deterministischer Bestimmung einzelner Bestandteile einer Sturmflut mit anschließender simulierter Propagation in Ästuaren.

Daneben existieren verschiedene Mixverfahren.

4. Veränderungen der hydrologischen und meteorologischen Gegebenheiten: Diese stehen – bedingt durch den Klimawandel – zunehmend im Fokus der Öffentlichkeit. In allen hier beschriebenen Nationen wird derzeit die Anpassung der Verfahren zur Bemessung der Küstenschutzanlagen an den Klimawandel diskutiert, welcher als Herausforderung der Zukunft bezeichnet werden kann.

Die Schilderung der nationalen Strategien erfolgt überwiegend aufgeteilt nach den bisherigen Verfahren und den derzeit in Entwicklung stehenden Konzepten. An der Tatsache, dass in fast allen behandelten Staaten momentan neue Küstenschutzstrategien erarbeitet werden, lassen sich die intensiven Bemühungen um die Gewährleistung eines Küstenschutzes auch in Zukunft erkennen.

## **1.2 Grundlagen**

Als Grundlage für den vorliegenden Bericht wurden weitestgehend die originalen Planungsdokumente und Gutachten, auf deren Basis die verschiedenen nationalen Küstenschutzverfahren entwickelt wurden, herangezogen. Dadurch können die Vorgehensweisen, besonders was die Bemessungsverfahren angeht, detailliert und aus direkter Quelle dargelegt werden.

## **1.3 Begriffsdefinitionen**

Die im Folgenden erläuterten Begriffe „Risiko“ und „Sicherheit“ sind von zentraler Bedeutung für das Verständnis der Küstenschutzstrategien, weil mit ihnen der Verteidigungsstandard an-

gegeben wird. Aufgrund der unterschiedlichen nationalen Verfahren in der Bemessung der Küstenschutzmaßnahmen ist der „Sicherheitsstandard“ einer der Hauptvergleichsfaktoren und nimmt somit eine besondere Bedeutung ein.

### **1.3.1 Risiko**

Risiko wird allgemein als Produkt aus Schadensumfang und Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses definiert. Dabei wird mit der Eintrittswahrscheinlichkeit die Chance bezeichnet, dass ein Ereignis innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls eintritt. So bedeutet z. B. 0,001/Jahr, dass mit einer Wahrscheinlichkeit von 1:1.000 damit zu rechnen ist, dass ein Schadensereignis eintritt. Die Größe des Schadens hängt von den Werten im Überflutungsgebiet ab und wird in Geldwerten beschrieben. Die Relation von Eintrittswahrscheinlichkeit des Wasserstandes und der Versagenswahrscheinlichkeit des Küstenschutzbauwerkes zu den Werten der Güter im Überflutungsgebiet, bildet das Risiko ab.

### **1.3.2 Sicherheit**

Der Faktor Eintrittswahrscheinlichkeit des Risikos gibt, wie zuvor beschrieben, die Wahrscheinlichkeit an, mit der mit einem bestimmten Ereignis zu rechnen ist. In vielen Ländern wird mit der Eintrittswahrscheinlichkeit mehr oder minder der Begriff „Sicherheitsstandard“ beschrieben. Genau genommen ist der Gebrauch des Begriffes „Sicherheit“ nicht korrekt, was im Folgenden kurz erläutert werden soll:

Wird der Begriff „Sicherheit“ rein deskriptiv verwendet, bedeutet er, dass Risiken einer bestimmten Art nicht bestehen, was Schäden praktisch ausschließt. Somit bezeichnet Sicher-

heit einen Zustand, der frei von unvermeidbaren Risiken ist und als gefahrenfrei angesehen werden kann. Sicherheit in diesem Sinne bedeutet hundertprozentig sicher, was den Begriff so nur selten anwendbar macht, da er Schäden von den Naturgesetzen her ausschließt. Dafür allerdings müssten alle Kausalzusammenhänge der Umwelt bekannt sein, was nicht der Fall ist. Sicherheit im Sinne 100%-iger Sicherheit gibt es demzufolge nicht (BANSE 1996).

Sicherheit wird daher in unserem Sprachgebrauch eher im Zusammenhang mit bestimmten normativen Komponenten gebraucht, was bestimmte kulturelle, konventionelle oder festgelegte Standards der Risikoakzeptabilität impliziert. Sicherheit gilt in diesem Sinne als akzeptables und zumutbares Risiko für die Gesellschaft. Folglich können auf wissenschaftlicher Basis nur Aussagen über die Höhe des Risikos gemacht werden.

## 2 ZUSAMMENFASSUNG

### 2.1 Überblick

Inhalt dieses Berichtes ist die Darstellung der gegenwärtigen und zukünftigen Bemessungsverfahren von Hochwasserschutzanlagen der Nordseeanrainerstaaten Niederlande, Belgien, Großbritannien und Dänemark. Besondere Schwerpunkte des Berichtes liegen auf folgenden Bestandteilen, die in einem ausführlichen Text und anhand von zwei Karten dargestellt werden:

- Juristische Grundlagen für den Küstenschutz
- Sicherheitsstandards des Küstenschutzes
- Bemessungsverfahren
- Veränderungen der hydrologischen und meteorologischen Gegebenheiten

Für einen zusammenfassenden Überblick der Inhalte des Textes wurden Karten erstellt, in denen die zuvor genannten Inhalte graphisch und in Stichpunkten zusammengefasst dargestellt sind. Die erste Karte (Abb. 1) gibt den gegenwärtigen Bemessungsstandard wieder, die zweite (Abb. 2) den zukünftigen. Dabei wird deutlich, dass sich die Küstenschutzstrategien der Länder zum Teil maßgeblich voneinander unterscheiden.

## 2.2 Heutiger Zustand

### 2.2.1 Juristische Grundlagen

Das organisatorische und planerische Rahmenwerk unterscheidet sich in den einzelnen Ländern deutlich voneinander. Dies liegt zunächst an den unterschiedlichen administrativen Strukturen der einzelnen Länder. So gibt es in den Niederlanden und Großbritannien je ein spezielles Küstenschutzgesetz. Im niederländischen Küstenschutzgesetz werden explizite Sicherheitsstandards für das gesamte Land ausgewiesen (WET OP DE WATERKERING, BIJLAGE II), während das britische Küstenschutzgesetz keine Schutzniveaus enthält. Zudem haben die britischen Bürger (London ausgenommen) keinen Anspruch auf vom Staat unterhaltene Küstenschutzmaßnahmen (PPS 25). In Belgien gibt es bislang lediglich für den Bereich der Schelde eine übergeordnete Planung, welche im Jahr 2005 überarbeitet wurde und konkrete Schutzniveaus vorsieht. Für die flandrische Küste hingegen gibt es noch keine rechtsverbindliche Küstenschutzstrategie (MERTENS ET AL. 2008). In Dänemark wurde 1988 ein Küstenschutzgesetz erlassen, welches allerdings eher das Küstenzonenmanagement regelt, als den Sturmflutschutz. Ähnlich wie in Großbritannien haben die Menschen hier kein Anrecht auf vom Staat unterhaltene Küsten-

schutzmaßnahmen. Für den zentralen Teil der dänischen Küste gibt es mit dem Managementplan „VESTKYSTEN '08“ ein zusätzliches Planungsdokument, welches allerdings ebenso wenig konkrete oder einheitliche Sicherheitsstandards beinhaltet. Die für die jeweiligen Staaten relevanten Planungs- und Gesetzestexte sind in Tab. 1 zusammenfassend dargestellt.

2. Ein statistisches Verfahren: Über eine Extrapolationsfunktion wird auf Basis von gemessenen Zeitreihen von Höchstwasserständen ein Bemessungswasserstand ermittelt.
3. Ein probabilistisches bzw. risikobasiertes Verfahren: Die Risikoabschätzung erfolgt anhand einer Gesamtversagenswahrscheinlichkeit.

Staat/Region	Dokument	Jahr
Niederlande	Küstenschutzgesetz (Wet op de Waterkering)	1996
	Deltaplan	1955
Belgien (Schelde)	Sigmaplan	1977
	Aktualisierter Sigmaplan	2005
Belgien (Flandern)	- keine -	
Großbritannien (Küste)	Küstenschutzgesetz (Coast Protection Act)	1949
	Shoreline Management Plans (lokal)	Ab 1993
	Making Space for Water	2003
Großbritannien (London)	Thames Barrier and Flood Prevention Act	1972
Dänemark	Küstenschutzgesetz	1988
	Vestkysten '08	2008

Tab. 1: Grundlagen für den Küstenschutz in den untersuchten Staaten

## 2.2.2 Verfahren

### 2.2.2.1 Ermittlung der Bemessungswasserstände

Für die Berechnung der Höhe der Küstenschutzanlagen sind grundsätzlich drei Verfahren voneinander zu unterscheiden:

1. Ein deterministisches Verfahren: Sturmfluthöhen werden anhand bisher eingetretener oder in Modellverfahren simulierter Sturmfluten berechnet. Dies geschieht unter Berücksichtigung der ortsspezifischen Bedingungen sowie eines Sicherheits- und Klimazuschlages. Der so ermittelte Wert wird anschließend einer Wahrscheinlichkeit zugeordnet.

Die probabilistische Gefährdungsanalyse beinhaltet alle relevanten Belastungen und Versagensmechanismen der Bauwerke unter Berücksichtigung ihrer Unsicherheiten, sowie die im Versagensfall betroffenen Werte.

Die Berechnung der Bemessungswasserstände erfolgt in den einzelnen Ländern sehr verschieden voneinander, da meist Mischformen der genannten Bemessungsverfahren zur Anwendung kommen. Deterministische Verfahren werden herangezogen, um die auf den natürlichen Rahmenbedingungen basierenden physikalischen Vorgänge während einer Sturmflut möglichst genau erfassen zu können. Die Berücksichti-

gung sowohl von eingetretenen als auch anhand numerischer Computermodelle simulierten Sturmfluten soll exakte Werte für jeden Ort an der Küste liefern. Mithilfe statistischer Verfahren kann die Eintrittswahrscheinlichkeit dieser Werte berechnet werden, welche gerne zum Vergleich der Sicherheitsstandards verwendet wird.

Bei der Ermittlung von Bemessungswerten über statistische Verfahren, wird eine Eintrittswahrscheinlichkeit vorgegeben. Hierfür wird aus den Wasserstandsreihen mithilfe unterschiedlicher Verteilungsfunktionen je nach gewünschtem oder erforderlichem Sicherheitsstandard ein Wert definiert. Bei dieser Vorgehensweise ist jedoch gerade bei geringen Eintrittswahrscheinlichkeiten nicht bekannt, ob die für den jeweiligen Ort korrekten natürlichen Rahmenbedingungen berücksichtigt werden. Daher ist es bei statistischen Verfahren erforderlich, die natürlichen Rahmenbedingungen anhand deterministischer Analysen zu überprüfen. Eine solche Vorgehensweise wird im Text als gemischtes Verfahren bezeichnet.

Ausführliche Beispiele für gemischte Verfahren werden mit Belgien und den Niederlanden im Text bzw. im Anhang dargelegt.

### **2.2.2.2 Umsetzung der Bemessungswasserstände**

Bei der Umsetzung von Bemessungswasserständen sind zwei Verfahren zu unterscheiden:

1. Absoluter Sicherheitsstandard: Definition eines einheitlichen Sicherheitsstandards, der auf das gesamte zu schützende Gebiet – unabhängig von den durch Sturmfluten gefährdeten Werten – übertragen wird.
2. Risikobasierte Sicherheitsstandards: Es werden lokal differenzierte Sicherheitsstandards umgesetzt, die anhand einer Risikoanalyse ermittelt werden und neben dem Wasserstand auch die erwarteten Schäden berücksichtigen.

Bei der Umsetzung der Bemessungswasserstände kommen, ebenso wie bei deren Ermittlung, Mischverfahren zur Anwendung. Die Niederlande waren das erste Land, in dem im Rahmen des Deltaplanes von 1955 ein risikobasierter Ansatz zur Anwendung kam. Hier wurden die Sicherheitsstandards mit einem einfachen Verfahren den bedrohten Werten entsprechend definiert, die allerdings im Laufe der Jahre nicht der Entwicklung von Bevölkerung und Wirtschaft angepasst wurden. Zudem werden in den Niederlanden einheitliche Sicherheitsstandards auf komplette Deichringe, also abgeschlossene, von Hochwasserschutzmaßnahmen umschlossene Gebiete bezogen. Die Ermittlung der Bemessungswasserstände erfolgt in den Niederlanden nach einem kombinierten Verfahren, welches neben statistischen Bestandteilen auch deterministische Elemente wie hydrodynamische Modellierungen enthält.

In Großbritannien folgt man ebenfalls einem risikobasierten Ansatz, wenn auch mit erheblich geringeren Sicherheitsstandards. Neuerdings wird auch in Belgien für die Schelde ein risikobasierter Ansatz angewendet. In Belgien und Großbritannien werden – anders als in den Niederlanden – relativ kleinräumige Gebiete einer Risikoanalyse unterzogen. Die für die Küstenschutzmaßnahmen maßgebenden Wasserstände werden in Großbritannien überwiegend statistisch bestimmt. In Belgien hingegen werden diese mit einem kombinierten deterministisch-statistischen Verfahren ermittelt. Dieses ähnelt dem niederländischen Vorgehen, stützt sich jedoch noch stärker auf die Modellierung von Sturmfluten, so dass der deterministische Anteil im Verfahren einen noch größeren Stellenwert hat.

Die Bestimmung der Sicherheitsstandards in Dänemark ist als eingeschränkt risikobasiert zu bezeichnen, da hier finanzielle Anreize zur Einhaltung bestimmter Sicherheitsstandards motivieren. Eine Risikoanalyse als Bewertungsinstrument kommt allerdings nicht zur Anwendung, die Wasserstände werden rein statistisch ermittelt.

### **2.2.2.3 Sicherheitsstandards**

Eine Form, den Sicherheitsstandard auszudrücken, bietet die Eintrittswahrscheinlichkeit. Das Konzept der Eintrittswahrscheinlichkeiten macht die verschiedenen Küstenschutzsysteme gut vergleichbar. Wie oben beschrieben sind die Bemessungsverfahren der einzelnen Staaten höchst verschiedenen voneinander, so dass ein Vergleich der sich daraus berechnenden Sollhöhen unmöglich erscheint (JORISSEN ET AL. 2000). Infolgedessen bedarf es bei der Angabe einer Eintrittswahrscheinlichkeit immer einer Definition, welche Verfahren und welche Ungenauigkeiten diesem zugrunde liegen.

Einen zusammenfassenden Überblick über die Sicherheitsstandards bieten Abb. 1 und Tab. 2. Es wird deutlich, dass die verschiedenen Sicherheitsstandards der einzelnen Staaten eine große Bandbreite haben. Sie reichen von 1:50 in dünn besiedelten Teilen Dänemarks bis zu 1:10.000 in den dicht besiedelten Gebieten der Niederlande. Auch für die anderen Nordseeanrainerländer zeigt sich, dass dicht besiedelte Räume hohe Sicherheitsstandards aufweisen. So beträgt der Sicherheitsstandard für London 1:1.000, der für Antwerpen 1:4.000. An weiten Teilen der britischen und dänischen Küste, an denen keine oder nur geringe Werte gefährdet sind, wird hingegen kein Küstenschutz betrieben und somit der natürlichen Entwicklung freien Lauf gelassen.

Staat/Region	Bestimmung der erforderlichen Sicherheitsstandards	Sicherheitsstandard	Bemessungsverfahren
Niederlande	Risikobasiert	1:2.000 bis 1: 10.000	Kombiniertes statistisch-deterministisches Verfahren: „Prüfwasserstand“ (statistisch) + sonstige Einflüsse (determinist.) Gesondertes Verfahren für die fünfjährige Überprüfung
Belgien (Schelde)	Risikobasiert	1:1.000 bis 1: 4.000	Kombiniertes deterministisch-statistisches Verfahren auf der Basis modellierter Sturmfluten
Belgien (Flandern)	Absolut	1:1.000	Kombiniert deterministisch-statistisch
Großbritannien (Küste)	Risikobasiert	1:2,5 bis 1:300	uneinheitlich
Großbritannien (London)	Absolut	1:1.000 (im Jahr 2030)	statistisch
Dänemark	Eingeschränkt risikobasiert	1:50 bis 1:1.000	statistisch

Tab. 2: Übersicht über die gegenwärtig geforderten Sicherheitsstandards der ausgewerteten Staaten

# Internationaler Vergleich der Küstenschutzstrategien der Nordseeanrainerstaaten - heutiger Stand -

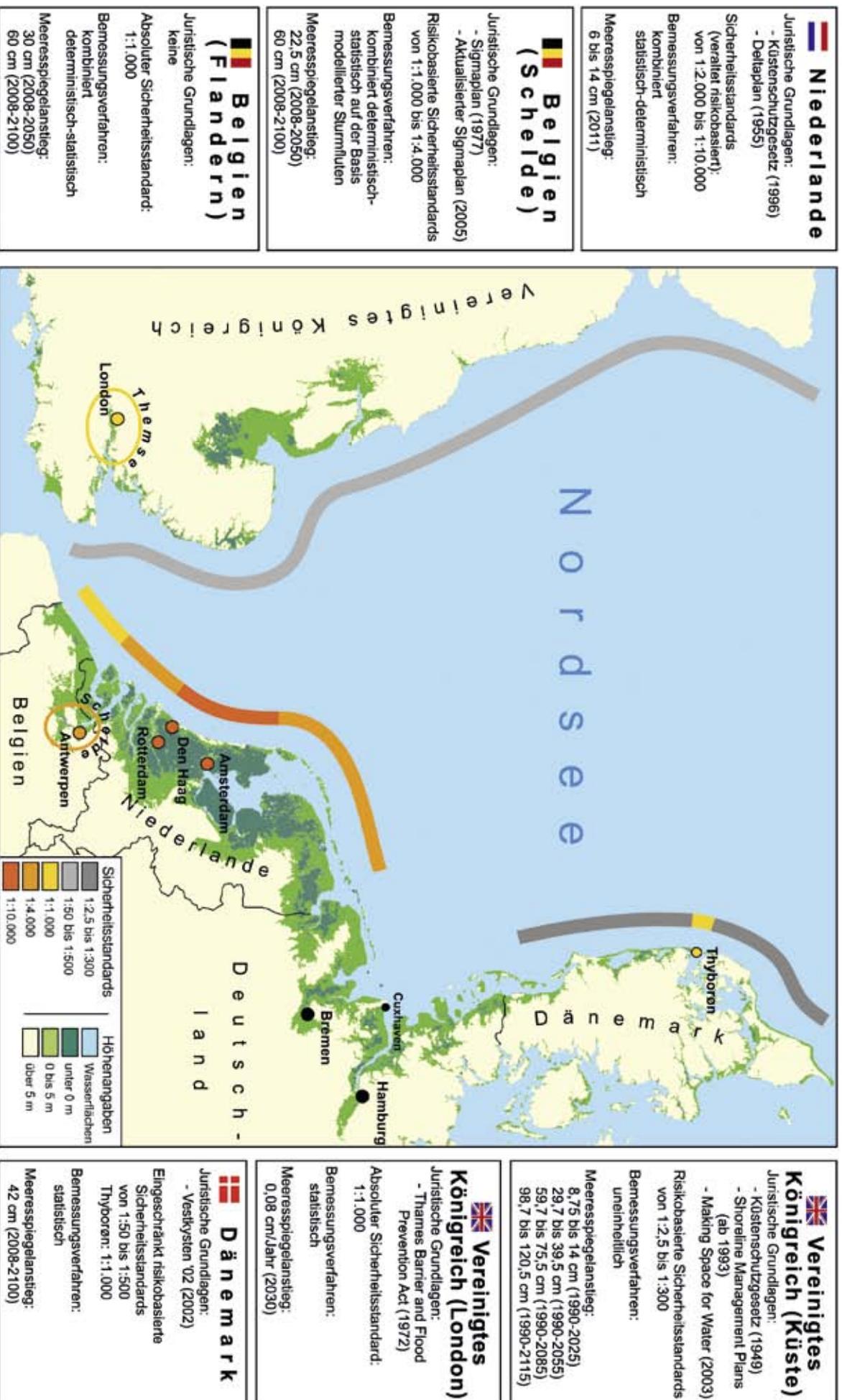


Abb. 1: Zusammenfassende Darstellung der heutigen Sicherheitsstandards

### 2.2.2.4 Meeresspiegelanstieg

Die Höhe des einkalkulierten Meeresspiegelanstieges wird durchweg unterschiedlich veranschlagt. Tab. 3 und Abb. 1 geben eine Übersicht über die angenommenen Werte. Die Zuschläge für die Bemessung reichen von 42 cm bis zum Jahr 2100 in Dänemark bis zu 120,5 cm in 2115 in Großbritannien. Dies liegt zum einen an lokal unterschiedlichen Landhebungs- und Landsen-

net sind. Zudem unterscheiden sich die Vorhersagezeiträume zum Teil deutlich voneinander. Speziell für die Themse werden nur Prognosen bis 2030 angestellt, da die Lebensdauer des Themsesperrwerkes auf dieses Jahr terminiert ist. Ähnlich stellt es sich im Fall der Niederlande dar, da dort die Prognose für den nächsten, fünfjährigen Überprüfungszeitraum aufgestellt wird.

Staat/Region	Kalkulierter Meeresspiegelanstieg	Vorhersagezeitraum
Niederlande	6 bis 14 cm	1985–2011
Belgien (Schelde)	22,5 cm	2008–2050
	60 cm	2008–2100
Belgien (Flandern)	30 cm	2008–2050
	60 cm	2008–2100
Großbritannien (Küste) (je nach Region)	8,75 bis 14 cm	1990–2025
	29,7 bis 39,5 cm	1990–2055
	59,7 bis 75,5 cm	1990–2085
	98,7 bis 120,5 cm	1990–2115
Großbritannien (London)	0,08 cm / Jahr	Bis 2030
Dänemark	10 bis 20 cm	2007–2050
	18 bis 59 cm	2007–2100
Dänemark (Plan Vestkysten)	42 cm	2008–2100

Tab. 3: Übersicht über den kalkulierten Meeresspiegelanstieg in den gegenwärtigen Planungen der ausgewerteten Staaten

kungsprozessen, die in den relativen Meeresspiegel vor Ort mit einfließen und zum anderen schlichtweg an der Forschungsgrundlage, welche zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der jeweiligen Planung verfügbar war. So beruhen die Werte für Belgien, Dänemark und Großbritannien auf den vom IPCC veröffentlichten Werten. Die von Großbritannien veranschlagten Werte stechen in ihrer Höhe hervor, allerdings ist hier zu berücksichtigen, dass es sich um relative Werte handelt, da die Landhebungs- und Landsenkungsprozesse hier bereits eingerech-

## 2.3 Zukünftige Entwicklungen –

### Anpassung an den Klimawandel

Im Zuge der Anpassung an den Klimawandel überarbeiten derzeit drei der vier betrachteten Länder ihre Küstenschutzstrategien. Besonders in den Niederlanden werden sehr langfristige Überlegungen mit einem zeitlichen Horizont bis ins Jahr 2200 angestellt.

#### 2.3.1 Juristische Grundlagen

Eine Reihe neuer Planungen und Gesetze sind derzeit in der Aufstellung befindlich oder wurden

erst in jüngster Vergangenheit verabschiedet. Tab. 4 gibt einen Überblick über die für die Zukunft relevanten Planungs- und Gesetzestexte.

Diese neuen Dokumente haben sehr unterschiedliche räumliche Bezüge. So befindet sich für die britische Küste derzeit eine neue Planung in der Umsetzung: Mit dem „Planning Policy Statement 25“ wurde im Rahmen des bri-

und Antwerpen jeweils um bedeutende Agglomerationsräume, welche besonderen Schutzes bedürfen.

Es ist anzumerken, dass der „Aktualisierte Sigma-plan“ in Belgien und der Plan „Vestkysten“ in Dänemark erst in 2005 respektive 2008 aufgestellt worden sind, so dass hier momentan kein akuter Handlungsbedarf besteht.

Staat/Region	Dokument	Jahr
Niederlande	Küstenschutzgesetz (Wet op de Waterkering) Deltagesetz (Deltawet)	1996 (2011)
Belgien (Schelde)	Aktualisierter Sigma-plan	2005
Belgien (Flandern)	Integrated Master Plan For Flanders Future Coastal Safety	2011
Großbritannien (Küste)	Küstenschutzgesetz (Coast Protection Act) Planing Policy Statement 25 Shoreline Management Plans (2. Generation)	1949 2008 2010
Großbritannien (London)	Thames Estuary 2100	2012
Dänemark	Küstenschutzgesetz Vestkysten '08	1988 2008

Tab. 4: Künftige juristische Grundlagen für den Küstenschutz in den untersuchten Staaten (Jahreszahlen in Klammern weisen auf voraussichtliche Fertigstellungstermine hin)

tischen Programms „Making Space for Water“ eine überarbeitete Strategie vorgegeben, welche sich aktuell in der Aufstellung der „Shoreline Management Plans“ der 2. Generation niederschlägt. Ähnlich verhält es sich mit dem neuen „Deltagesetz“ in den Niederlanden, das ebenfalls für die gesamte niederländische Küste Geltung haben wird.

Ebenso wie das britische Vorhaben „Thames Estuary 2100“, welches sich auf die Themse und den Londoner Raum bezieht, hat auch der „Aktualisierte Sigma-plan“ in Belgien eher lokalen Charakter. Allerdings handelt es sich bei London

### 2.3.2 Verfahren

Bei den Verfahren zur Berechnung des Bemessungswasserstandes geht die Tendenz weiterhin zu einer Mischung aus statistischen und deterministischen Verfahren. Die deterministischen Verfahrensbestandteile dienen vor allem der Überprüfung der physikalischen Plausibilität. Bei der Entscheidungsfindung, welche Sicherheit für welchen Ort umgesetzt werden muss, wird zunehmend risikobasierend vorgegangen, was bedeutet, dass die vorhandenen Werte und Menschenleben bei der Auswahl des erforderlichen Schutzniveaus berücksichtigt werden.

Die Bemessung der Wasserstände in Belgien soll auch zukünftig nach den bisher angewandten, kombiniert deterministisch-statistischen Verfahren erfolgen. Für die Umsetzung der Sicherheitsstandards an der flandrischen Küste befinden sich sowohl risikobasierte als auch absolute Sicherheitsstandards in der Diskussion, während für den Bereich der Schelde der absolute Standard aufgegeben wurde und stattdessen ein risikobasiertes Konzept eingeführt wurde.

Die bestehende, auf einer veralteten Kosten-Nutzen-Analyse basierende Strategie in den Niederlanden soll an die heutigen Bevölkerungs- und Wirtschaftszahlen angepasst werden. Die Struktur der Deichringe wird allerdings erhalten bleiben, so dass weiterhin relativ große Areale einen einheitlichen Sicherheitsstandard bekommen werden. Daher ist dieses Konzept auch in Zukunft nicht als ein rein risikobasiertes zu bezeichnen, sondern weiterhin als eine Mischung aus absolutem und risikobasiertem Verfahren zu verstehen.

In Großbritannien soll ebenfalls verstärkt risikobasiert gearbeitet werden, wohingegen London im internationalen Vergleich eine Ausnahme darstellt, da hier auch zukünftig ein ausschließlich auf Basis einer statistischen Eintrittswahrscheinlichkeit ermittelter absoluter Sicherheitsstandard eingehalten werden soll. In Dänemark sollen die Küstenschutzanlagen zukünftig ebenfalls auf der Grundlage statistischer Eintrittswahrscheinlichkeiten bemessen werden.

### **2.3.2.1 Sicherheitsstandards**

Die Definition von Sicherheitsstandards als Vergleichsinstrument wird auch in den zukünftigen Küstenschutzkonzepten erhalten bleiben, eine tatsächliche Vergleichbarkeit ist aber aufgrund der uneinheitlichen Bemessungsverfahren auch in der kommenden Zeit nicht gegeben.

Bei der Definition der zukünftigen Sicherheitsstandards stehen die Niederlande mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von bis zu 1:100.000 für die Provinzen Nord- und Südholland hervor. Aber auch für die belgische Küste wurden die Sicherheitsstandards erhöht.

In Großbritannien werden die Schutzniveaus zukünftig ebenfalls angehoben und betragen nun maximal 1:1.000. Zu beachten ist jedoch, dass die britischen Sicherheitsstandards nur einen empfehlenden Charakter haben und nicht verbindlich sind. Hiervon ausgenommen ist lediglich London, dessen bestehender und verbindlicher Sicherheitsstandard von 1:1.000 weiterhin gelten soll. Dies geschieht mit einer Anpassungsstrategie, um das Schutzniveau auch im Hinblick auf den steigenden Meeresspiegel gewährleisten zu können.

Dagegen wurde das Schutzniveau für die Schelde von (allerdings nie umgesetzten) 1:10.000 auf maximal 1:4.000 in Antwerpen reduziert. Damit ist London der einzige Agglomerationsraum in den untersuchten Ländern, für den der Sicherheitsstandard nicht angehoben wird, sondern auf seinem bisherigen Niveau verbleibt.

<b>Staat/Region</b>	<b>Bestimmung der erforderlichen Sicherheitsstandards</b>	<b>Sicherheitsstandard</b>	<b>Bemessungsverfahren</b>
Niederlande	Gemischt absolut und risikobasiert	Bis zu 1:100.000	Kombiniertes statistisch-deterministisches Verfahren: „Prüfwasserstand“ (statistisch) + sonstige Einflüsse (determinist.) Gesondertes Verfahren für die fünfjährige Überprüfung
Belgien (Schelde)	Risikobasiert	1:1.000 bis 1: 4.000	Kombiniertes deterministisch-statistisches Verfahren auf der Basis modellierter Sturmfluten
Belgien (Flandern)	Risikobasiert oder absolut	1:1.000, 1: 4.000 oder risikobasiert mit lokal differenzierten Schutzniveaus	Kombiniert deterministisch-statistisch
Großbritannien (Küste)	Risikobasiert	1:20 bis 1:1.000	Uneinheitlich
Großbritannien (London)	Absolut	1:1.000	Statistisch
Dänemark	Eingeschränkt risikobasiert	1:50 bis 1:1.000	Statistisch

Tab. 5: Übersicht über die zukünftig geforderten Sicherheitsstandards der ausgewerteten Staaten

# Internationaler Vergleich der Küstenschutzstrategien der Nordseeränderstaaten - zukünftiger Stand -



Abb. 2: Zusammenfassende Darstellung der zukünftigen Sicherheitsstandards

Staat/Region	Kalkulierter Meeresspiegelanstieg	Bezugsjahre
Niederlande	65 bis 130 cm	2100
	200 bis 400 cm	2200
Belgien (Schelde)	22,5 cm	2008–2050
	60 cm	2008–2100
Belgien (Flandern)	22,5 cm	2008–2050
	60 cm	2008–2100
Großbritannien (Küste) (je nach Region)	8,75 bis 14 cm	1990–2025
	29,7 bis 39,5 cm	2025–2055
	59,7 bis 75,5 cm	2055–2085
	98,7 bis 120,5 cm	2085–2115
Dänemark	10 bis 20 cm	2007–2050
	18 bis 59 cm	2007–2100
Dänemark (Plan Vestkysten)	42 cm	2008–2100

Tab. 6: Übersicht über den kalkulierten Meeresspiegelanstieg in den zukünftigen Planungen der ausgewerteten Staaten

### 2.3.2.2 Meeresspiegelanstieg

Der in den belgischen Küstenschutzstrategien einkalkulierte Meeresspiegelanstieg wird ebenso wie derjenige für die britische Strategie aus den Werten des IPCC abgeleitet und entspricht somit unverändert den bereits bei den vorherigen Strategien angewandten Werten. Der Unterschied zwischen belgischen und britischen Werten liegt hauptsächlich darin, dass bei den britischen bereits lokale Landhebungs- und Landsenkungsprozesse enthalten sind. In den Niederlanden hingegen wird insbesondere im Rahmen der langfristig formulierten Planung des neuen Deltagesetzes eine Kalkulation für das Jahr 2200 aufgestellt, die Werte zwischen 200 und 400 cm vorsieht. Zusammenfassend sind die verschiedenen nationalen Kalkulationen in Tab. 6 dargestellt. Dabei ist darauf zu achten, dass die zum Teil erheblichen Unterschiede in der Höhe neben den verschiedenen Standards

auch mit den unterschiedlichen Bemessungshorizonten zu erklären sind, die von 2025 bis 2200 schwanken.

## 3 NIEDERLANDE

### 3.1 Geographischer und historischer Überblick

Die niederländische Küste hat eine Länge von 523 km. Der südliche Teil wird vom Rhein-Maas-Schelde-Delta dominiert, der mittlere ist eine Ausgleichsküste mit ausgeprägten Dünenfeldern und -gürteln, an den sich im Norden bis zur deutschen Grenze ein System von Barriereinseln mit Rückseitenwatten anschließt. Etwa 60 % der niederländischen Landesfläche liegen unterhalb des Meeresspiegels, so dass der Küstenschutz in den Niederlanden seit jeher von größter Bedeutung ist. In diesen tief liegenden Gebieten leben ca. 9 Mio. Menschen, die hier 60 % des niederländischen Wirtschaftsvolumens erbringen.

Zwei Ereignisse in der jüngeren Vergangenheit prägen das heutige Küstenschutzsystem. Als Folge der Sturmflut vom 13./14. Januar 1916 wurde der Bau des Abschlussdammes in Angriff genommen, der 1932 fertig gestellt wurde und seither das heutige IJsselmeer von der Nordsee abtrennt. Noch weit schlimmer waren die Niederlande von der schweren Sturmflut vom 31. Januar auf den 1. Februar 1953 betroffen. Dabei erreichte der Pegelstand in Hoek van Holland einen Wert von 3,85 m ü. NN. Es kam zu zahlreichen Deichbrüchen, bei denen 400.000 ha Land überschwemmt wurden. Insgesamt starben 1836 Menschen und die Schäden beliefen sich auf etwa 2 Mrd. Gulden (RIVM 2004).

#### 3.1.1 Deltaplan

Aufgrund der verheerenden Auswirkungen der Sturmflut von 1953 wurde ein umfangreiches Küstenschutzprogramm in Angriff genommen. Bereits drei Wochen nach der Katastrophe

gegründete das niederländische Verkehrsministerium die „Deltakommission“, welche am 8. Oktober 1955 mit dem Delta-Plan ein umfangreiches Küstenschutzprogramm vorstellte. Dies beschränkte sich allerdings überwiegend auf die südlichen niederländischen Provinzen und basierte im Wesentlichen auf folgenden drei Punkten (MVW 2001):

- Verstärkung und Erhöhung der Deiche an Nordsee, Flüssen und Seen auf „Deltahöhe“
- Abdämmung der Ästuarie in den südlichen Niederlanden. Teilweise Bau von Sperrwerken, um dem Schiffsverkehr Rechnung zu tragen. Verkürzung der Deichlinie um ca. 700 km.
- Stabilisierung von Dünen durch Sandunterfütterungen an Schwachstellen.

Mit der Fertigstellung des Maeslantsperrwerks im Nieuwe Waterweg bei Rotterdam als letztem Teilelement wurde der Deltaplan im Jahr 1997 vollendet.

#### 3.1.2 Sandvorspülungen

Ein bedeutender Teil der niederländischen Küste ist nicht durch Deiche, sondern durch natürliche Dünengürtel geschützt<sup>1</sup>, die allerdings der Erosion unterliegen, so dass die Küstenlinie über Jahrhunderte landwärts verlagert wurde. Im Jahre 1990 beschloss die niederländische Regierung keinen weiteren Landverlust an der Nordsee mehr zuzulassen. Sie formulierte im „Ersten Küstenpolitischen Dokument“ (1E KUSTNOTA 1990) drei Hauptziele im Rahmen einer „dynamischen Erhaltung“, um weitere Erosion zu verhindern:

- Keine weitere landwärtige Verlagerung der Küstenlinie
- Erhaltung der wertvollen Dünengebiete

<sup>1</sup> Im Wesentlichen der Bereich zwischen Hoek van Holland und Den Helder

- Erhaltung des natürlichen, dynamischen Charakters der Küstenlinie

Erreicht werden konnten diese Ziele durch Sandvorspülungen und Stimulation der natürlichen Dünenbildung. Letztere wird dadurch erreicht, dass, anstelle von dicht bewachsenen Dünen, die eher Sanddeichen gleichen, natürliche Dünenbildungsprozesse zugelassen werden, so dass die vorhandenen Dünen wachsen. Durch die intensiven Sandvorspülungen ist ausreichend Sand für die Dünenbildung vorhanden.

Als Referenz wurde eine „Basisküstenlinie“ definiert, welche der gemittelten Küstenlinie vom 1.1.1990 entspricht. Im Jahre 1995 wurden die Ziele und Vorgehensweisen in einer überarbeiteten Version des Dokuments bestätigt. Die Erosion konnte mit verhältnismäßig geringem Aufwand (30 Mio. € pro Jahr) gestoppt werden, nicht aber der weitere Sandverlust im tieferen Küstenvorfeld. Hierfür wurden ab 2001 weitere 15 Mio. € bewilligt. Zudem sollte mehr für die natürliche Entwicklung der Dünen getan werden. Eine weitere Evaluation der Strategie, die das bisherige Vorgehen grundsätzlich abermals bestätigte, fand 2000 statt. Die Sandvorspülungen wurden für geeignet befunden, sind allerdings noch effektiver und billiger, wenn der Sand nicht auf den Strand, sondern unter Wasser aufgebracht wird (3E KUSTNOTA 2000).

### **3.2 Juristische Grundlagen**

#### **3.2.1 Küstenschutzgesetz**

Die niederländische Regierung erließ 1996 ein spezielles Hochwasserschutzgesetz (WET OP DE WATERKERING). Mit diesem werden Be-

stimmungen über Betrieb, Unterhalt und Bau von Küstenschutzmaßnahmen formuliert und Verantwortlichkeiten verschiedener involvierter Parteien definiert. Wichtigster Punkt ist die Festlegung eines einzuhaltenden Sicherheitsstandards für jeden einzelnen der insgesamt 57 Deichringe<sup>2</sup> in den Niederlanden (Art. 3). Gemäß Artikel 4 des Küstenschutzgesetzes ist alle fünf Jahre zu überprüfen, ob die Küstenschutzmaßnahmen noch den geforderten Sicherheitsstandards entsprechen. Diese regelmäßige Kontrolle wird aufgrund des steigenden Meeresspiegels und der zunehmenden Sturmintensität für notwendig erachtet. Alle Einzelbauwerke der im Küstenschutzgesetz aufgeführten Deichringe werden als primäre Küstenschutzmaßnahmen definiert, alle sonstigen als sekundäre.

Die niederländische Regierung ist für die Formulierung und Umsetzung der Küstenschutzpolitik zuständig und betreibt selbst einige herausragende Küstenschutzbauwerke, wie z.B. die großen Sturmflutsperrwerke. Zudem obliegt ihr die Finanzierung von Bau und Unterhalt der Küstenschutzmaßnahmen. Die Regierungen der zwölf Provinzen beaufsichtigen alle Küstenschutzmaßnahmen in ihrem Gebiet, stellen regionale Wassermanagementpläne auf und überwachen zudem die Aktivitäten der lokalen Wasserbehörden und Gemeinden, einschließlich der Koordination in Notfallsituationen bei großen Überschwemmungen. Der Großteil der insgesamt ca. 3.585 km langen See- und Binnendeiche wird von 27 Wasserbehörden betrieben (3E KUSTNOTA 2000).

<sup>2</sup> Ein Deichring ist ein geschlossener Ring aus Küstenschutzmaßnahmen wie Deiche, Dünen oder Sperrwerke, der ein darin liegendes Gebiet vor Überschwemmungen schützt.

### 3.2.2 Reglementierte Raumordnung

An der niederländischen Küste finden Leben und Erholung teilweise an Orten statt, die durch ihre Exposition hohen Risiken ausgesetzt sind, da der geforderte Sicherheitsstandard nur hinter Deichen und Dünen gewährleistet werden kann. Eine weitere Expansion dieser exponierten Urlaubsanlagen wird das Risiko zusehends erhöhen. Um diese Risiken an der Küste kontrollieren zu können, ist die weitere Entwicklung von Ferienorten auf innerhalb spezieller raumordnerischer Grenzen gelegene Bereiche beschränkt. Für bereits bestehende, dicht an der Küste liegende Bauwerke wird ein höheres Risiko akzeptiert, so dass keine bestehenden Gebäude entfernt werden müssen.

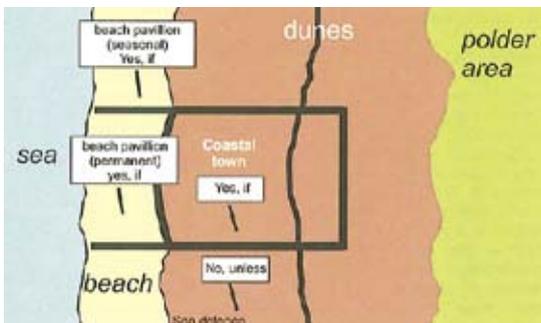


Abb. 3: Yes-if und No-unless Ansatz in der Raumordnung für Küstenstädte (3E KUSTNOTA 2000)

Die Anwendung der raumordnerischen Grenzen sind in Abb. 3 schematisch dargestellt. Innerhalb der Grenzen darf unter dem Vorbehalt gebaut oder umgebaut werden, dass Freizeitaktivitäten und der Tourismus verbessert werden (Yes-if Ansatz). Außerhalb der Grenzen ist keine weitere städtische Entwicklung zulässig, es sei denn, ein Bauprojekt kann nirgends anders platziert werden oder großes öffentliches Interesse ist mit dem Bau verbunden (no-unless Ansatz) (NOTA RUIMTE 2006; BELEIDSLIJN KUST 2007).

Um die Konkurrenz zwischen Sicherheit und räumlicher Entwicklung etwas zu entschärfen, wird die Nutzung innovativer Konzepte angestrebt. Ziel ist die Kombination von Küstenschutzbauwerken mit anderen technischen Maßnahmen, um sie gemeinsam nutzen zu können. Folgende Möglichkeiten, um derartige kombinierte Nutzungen umzusetzen, werden als sinnvoll erachtet (BELEIDSLIJN KUST 2007):

- Zeitlich begrenzte Bauwerke
- Aufnahme von Doppel- bzw. Haupt- und Nebennutzung in den Nutzungsplan
- Kosten-Nutzen-Analyse von Investitionen, erwarteter Nutzen und Schaden bei Abriss
- Innovatives und risikobewusstes Bauen

Innovative Bauweisen können die Schäden bei unerwarteten Überflutungen deutlich reduzieren und somit die Belange von Sicherheit und räumlicher Entwicklung besser vereinigen. Ein weiteres raumordnerisches Instrument ist die Designierung von Flächen, die bei zukünftigen Deicherhöhungen erforderlich sein werden. Diese, zumeist hinter den bestehenden Küstenschutzmaßnahmen gelegenen Flächen sollen eine Breite von ca. 75 m haben und zwischenzeitlich nicht für kostenintensive Bebauung freigegeben werden. Mittels dieser Reservierungen soll dem Meeresspiegelanstieg bis 2200 Rechnung getragen werden können (BELEIDSLIJN KUST 2007).

### 3.3 Bemessung

#### 3.3.1 Sicherheitsstandard

Im niederländischen Küstenschutzgesetz ist für jeden Deichring ein einzuhaltender Sicherheitsstandard festgelegt. Der Sicherheitsstandard wird als durchschnittliche jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeit der höchsten Hochwasserstände, welchen die erste Deichlinie standhalten können muss, definiert. Die Deichringe mit ihrem jeweiligen Sicherheitsstandard sind in Abb. 4 wiedergegeben (Section 3; Annex II, WET OP DE WATERKERING)

Die Sicherheitsstandards an der Küste liegen zwischen 1:2.000 und 1:10.000. Deren Festlegung für die einzelnen Deichringe hängt von der Art der möglichen Überflutung, der Anzahl betroffener Menschen und Werte sowie einiger naturschutztechnischer und historischer Interessen ab. Sie basiert auf einer in den 1960er Jahren erstellten ökonomischen Betrachtung, bei der grob die Kosten einer weiteren Deicherhöhung gegen die Reduktion der potentiellen Schadenssumme einer Überflutung abgewogen wurden.

Überschreitungs-Wahrscheinlichkeit	Farbe in	Regionen
1:1.250	Grün	Flüsse
1:2.000	Gelb	Übergang zwischen Küste, Flüssen und Watteninseln
1:4.000	Orange	Delta, Nord-Niederlande, IJsselmeergebiet und Texel
1:10.000	Rot	Holländische Küste

Tab. 7: Überschreitungswahrscheinlichkeiten in den Niederlanden (WET OP DE WATERKERING, BIJLAGE II)

Für die niederländischen Flüsse wurde in den 1970er Jahren ein Sicherheitsstandard von 1:1.250 aus dem Deltaplan abgeleitet. Dieser deutlich niedrigere Wert erscheint ausreichend, weil einerseits Süßwasser im Falle einer Überschwemmung erheblich weniger Schäden anrichtet als Seewasser und andererseits, weil Binnenhochwasserereignisse besser vorhersehbar sind. Die Übergangsbereiche zwischen Flüssen und Meer werden mit einem höheren Sicherheitsstandard von 1:2.000 geschützt.

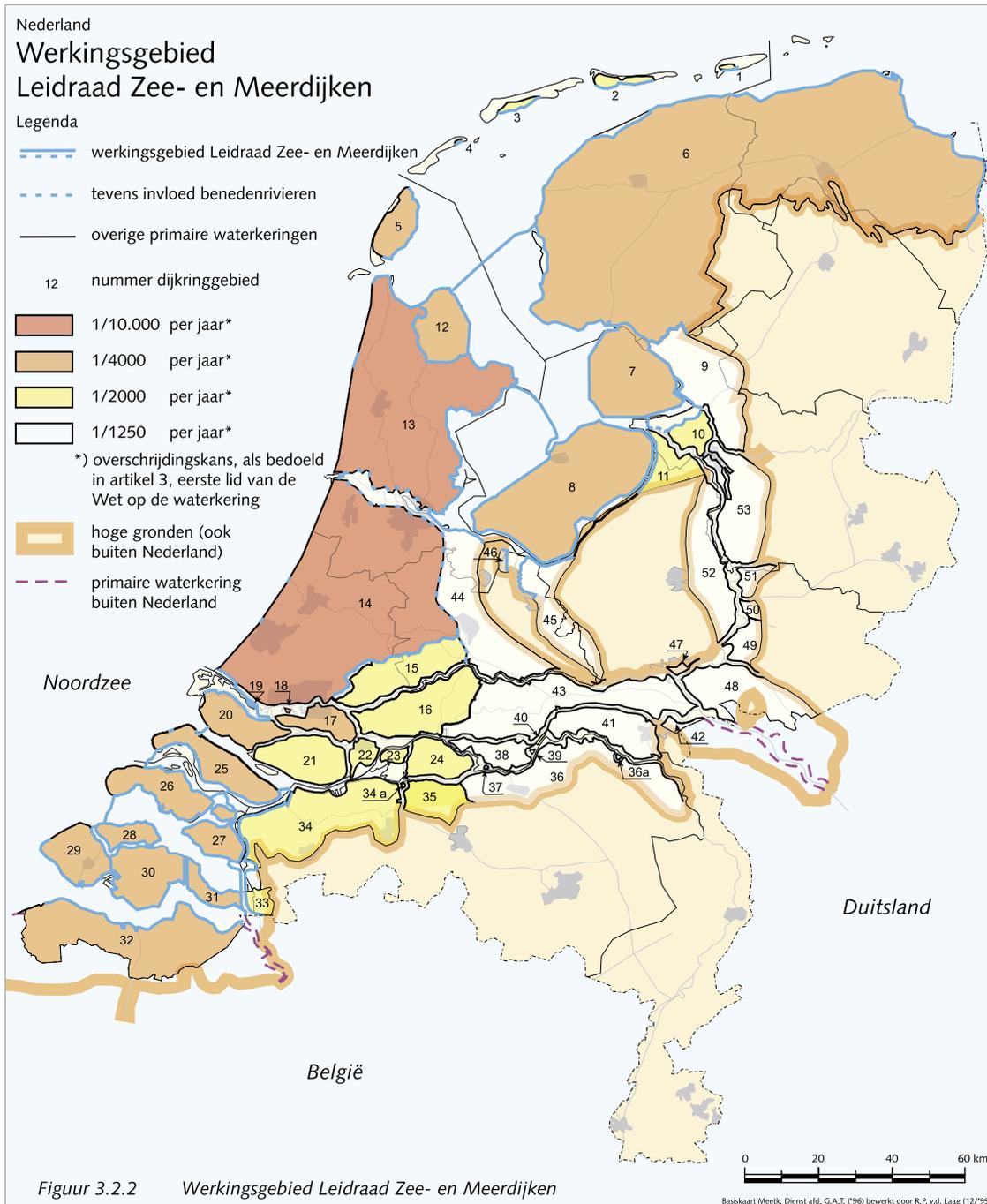


Abb. 4: Deichringgebiete mit zugehörigen Sicherheitsstandards (TAW 2000)

### 3.3.2 Bemessungswasserstände

Grundlage für die niederländischen Bemessungswasserstände sind „Basiswasserstände“, deren Ermittlung auf einem kombinierten statistisch-deterministischen Ansatz beruht. Der statistische Teil des Verfahrens basiert auf der Erstellung einer Extremwertverteilung. Die Datengrundlage bilden in der Vergangenheit beobachtete Pegelstände an neun verschiedenen Pegeln mit möglichst weit zurückreichenden Messreihen, welche extrapoliert werden. Um die Basiswasserstände auch für jeden zwischen den neun Pegeln liegenden Ort ermitteln zu können, werden deterministische Verfahren in Form von hydrodynamischen Computermodellen herangezogen. Dies erfolgt anhand der Simulation verschiedener historischer Stürme in manipulierter Form. Die Manipulationen liegen einerseits in der Verstärkung der Windfelder, andererseits in der Verschiebung der Gezeiten zum Windfeld. Auf diese Weise soll den verschiedensten Kombinationen der natürlichen Einflüsse Rechnung getragen werden.

Eine genaue Erläuterung der Ermittlung der hydraulischen Rahmenbedingungen ist im Anhang NL-1 zu finden.

### 3.3.3 Meeresspiegelanstieg

Zur Ermittlung des Meeresspiegelanstieges wird der Anstieg des Mittleren Tidehochwassers herangezogen, welcher aus gemessenen Pegelständen bestimmt wird. Bezogen auf das Referenzjahr 1985 liegt der Anstieg bis 2011 zwischen 0,06 und 0,14 m (HR 2006).

<b>Kalkulierter Meeresspiegelanstieg 1985-2011: 0,06 bis 0,14 m</b>
---

### 3.4 Zukünftige Entwicklung

Um einer langfristigen Planung des Küstenschutzes Rechnung zu tragen, hat die niederländische Regierung die Deltakommission mit dieser Aufgabe betraut, deren Kernfrage lautet: „Wie können wir dafür sorgen, dass unser Land noch vielen kommenden Generationen ein Ort zum Wohnen und Arbeiten, zum Investieren und Erholen bleibt und vor Überflutungen sicher ist?“

Den Empfehlungen der Kommission (DELTA-COMMISSIE 2008) zufolge soll die gesamte heutige Landfläche der Niederlande erhalten bleiben und ist somit vor zukünftigen Sturmfluten zu schützen. Sicherheit und Nachhaltigkeit sind daher die beiden Pfeiler, auf denen die Strategie in den kommenden Jahrhunderten basieren muss. Die Bestimmung des Risikos in den Deichringen muss anhand dreier Elemente angepasst werden, die besonders auf die Verringerung möglicher Opfer im Katastrophenfall abzielen:

- Die Wahrscheinlichkeit für Menschen, bei einer Überflutung zu überleben muss überall gleich hoch sein, da ein Menschenleben überall gleich viel wert ist. Die Kommission schlägt hierfür eine Wahrscheinlichkeit von 1:1.000.000 vor, da dieser Wert Risiken in anderen Bereichen wie etwa der Industrie oder bei Gefahrguttransporten entspricht.
- Die Reduzierung der Wahrscheinlichkeit besonders vieler Opfer bei einer Überflutung. Dieses „Gruppenrisiko“ erscheint der Kommission nicht akzeptabel, ein konkreter Ansatz zu dessen Reduzierung bleibt aber aus.
- Möglicher Schaden darf sich nicht nur auf ökonomische Schäden beschränken. Auch Schäden an Landschaft, Kultur- und Naturgütern usw. sollten berücksichtigt werden.

Die Vorschläge der Deltakommission gehen über die bloße Betrachtung der Sicherheit hinaus und sollen auch die räumliche Qualität und damit die Lebensbedingungen verbessern. Daher sind die Vorschläge kosteneffektiv, haben integrierenden und multifunktionalen Charakter und erbringen einen gesellschaftspolitischen Mehrwert. Sie sollen an natürliche Prozesse anschließen und flexibel und schrittweise zu realisieren sein.

### 3.4.1 Neues Deltaprogramm

Um die Niederlande darauf vorzubereiten, auch durch die Auswirkungen des Klimawandels weiterhin ein attraktives und sicheres Land zu sein, schlägt die Kommission ein „neues“ Deltaprogramm vor, welches ein zusammenhängendes und allumfassendes Paket an Investitionen umfasst und eine Laufzeit von mehr als einem Jahrhundert hat.

Ausgangspunkt ist das heutige, zusammenhängende Wassersystem mit den dazugehörigen Einrichtungen, um die verschiedenen Gebrauchsfunktionen zu erfüllen. Die Empfehlungen von kurz- und mittelfristiger Dauer sind hier so gewählt, dass langfristig immer verschiedene Handlungsoptionen offen bleiben. Dadurch wird es zukünftigen Generationen ermöglicht, das Programm auf Basis von dann geltenden Erkenntnissen und Wertvorstellungen zu modifizieren. Daher wird besonders auf die Notwendigkeit hingewiesen, die Planung stets neuen Erkenntnissen anzupassen. Die Kommission unterscheidet für das neue Deltaprogramm zwischen drei Zeithorizonten, an die sie ihre Empfehlungen anpassen wird:

- Konkrete Maßnahmen für den Zeitraum bis 2050

- Ein klar definiertes Gesamtkonzept für den Zeitraum bis 2100
- Vorstellungen für die (noch) ferne Zeit nach 2100

Gesetzliche Basis für das Deltaprogramm soll ein spezielles Deltagesetz (Deltawet) werden, welches 2014 verabschiedet werden soll.

**Gesetzliche Basis:  
Neues Deltagesetz (2014)**

### 3.4.2 Sicherheitsstandard und Meeresspiegelanstieg

Der Sicherheitsstandard sollte für alle Deichringe mindestens um den Faktor 10 angehoben werden. Aufgrund der großen Anzahl möglicher Opfer müsste der Sicherheitsstandard in mehreren Deichringen sogar noch über den Faktor 10 hinaus erhöht werden. Die neuen Sicherheitsnormen sollen bis 2013 erstellt werden, die daraus folgenden Maßnahmen zur Erhöhung des Sicherheitsniveaus bis 2050 umgesetzt sein. Nach 2050 sind die Sicherheitsniveaus regelmäßig zu aktualisieren. Die Deltakommission erarbeitet einen maximal möglichen Meeresspiegelanstieg von 0,65 bis 1,30 m in 2100 und von 2 bis 4 m in 2200.

Da Bauland in den Niederlanden knapp ist, sollte bei Neubauplanungen grundsätzlich anhand einer Kosten-Nutzen-Analyse entschieden werden, anstatt Bautätigkeiten an ungünstigen Orten grundsätzlich zu untersagen. Dabei sollen entstehende Kosten nicht von der Allgemeinheit getragen werden, sondern von demjenigen, der davon profitiert.

**Sicherheitsstandards:  
Bis zu 1:100.000 pro Jahr**

**Kalkulierter Meeresspiegelanstieg:  
bis 2100: 0,65 bis 1,30 m  
bis 2200: 2 bis 4 m**

### **3.4.3 Vorhaben des Deltaprogramms**

#### **3.4.3.1 Nordseeküste**

Die Deltakommission empfiehlt die Erhöhung der Sicherheitsstandards an der Nordseeküste auf 1:40.000 bis 1:100.000. Die bestehende Grundstrategie des Küstenschutzes, die Küste auf Basis von Sandvorspülungen zu stabilisieren, soll beibehalten werden, da so bis weit ins nächste Jahrhundert Sicherheit geboten werden kann. Die Vorspülungen sollten daher in einem derartigen Rahmen ausgeführt werden, dass die Küste in diesem Jahrhundert wachsen kann. Dieser Ansatz gilt auch für die Inseln vor dem Wattenmeer, da eine großzügige Sandzufuhr das Mitwachsen der Watten mit dem Meeresspiegel unterstützt. Die Vorspülungen nach dem Jahr 2050 können sehr flexibel dem tatsächlichen Meeresspiegelanstieg angepasst werden. Die Seedeiche in den Provinzen Groningen und Friesland sollen auf den neuen Sicherheitsstandard gebracht und gehalten werden.

#### **3.4.3.2 Südwestliches Delta**

Das südwestliche Delta weist heute einen Sicherheitsstandard von 1:4.000 auf, der auf 1:40.000 zu erhöhen wäre. Die Lebensdauer des für das südwestliche Delta maßgeblichen Oosterscheldesperrwerks ist auf 2075–2125 kalkuliert. Da sie nicht weiter verlängert werden kann, sieht die Kommission die Möglichkeit, die Tidedynamik in

der Oosterschelde wieder herzustellen. Im Falle einer Öffnung des Ästuars müssten auch die übrigen Küstenschutzbauwerke an der Oosterschelde auf die erforderliche Höhe gebracht werden. Da dies einige Zeit erfordern wird, ist eine Lösung hier möglichst zeitnah zu finden.

Die Westerschelde muss aufgrund ihrer Bedeutung als Schifffahrtsweg nach Antwerpen offen bleiben, so dass hier die Deiche verstärkt werden müssen. Die übrigen abgedämmten Bereiche (Krammer-Volkerak Zoommeer) sollen in Zeiten extremer Abflüsse von Rhein und Maas einen Teil des Wasser aufnehmen können.

#### **3.4.3.3 Flüsse**

Die Sicherheitsstandards an den großen niederländischen Flüssen sollen im unteren Bereich auf 1:20.000 und im oberen Bereich auf 1:12.500 angehoben werden. Temperaturanstieg und veränderte Luftzirkulationen führen zu abnehmenden Sommer- und zunehmenden Winterabflüssen von Rhein und Maas. Die kalkulierten Maximalabflüsse für das Jahr 2100 liegen mit 18.000 m<sup>3</sup>/s für den Rhein und 4.600 m<sup>3</sup>/s für die Maas etwas über den heutigen Werten. Der für die Bewältigung dieser Abflüsse benötigte Raum sollte frühzeitig reserviert werden, wenn nötig durch die Festlegung eines Vorkaufsrechts.

Der Mündungsbereich des Rheines ist vor extremen Wasserständen durch Sperrwerke zu verschließen. Hierzu stehen das Maeslantsperrwerk, das Hartelsperrwerk und die Haringvlietschleusen zur Verfügung, welche allerdings zwischen 2050 und 2100 durch neue Bauwerke zu ersetzen sind.

#### **3.4.3.4 Ijsselmeer**

Die Kommission schlägt vor, den Wasserspiegel des Ijsselmeeres um 1,5 m anzuheben. Dies würde einerseits die Funktion als strategisches Süßwasserreservoir verstärken; andererseits könnte durch das zusätzliche Gefälle mehr Wasser ins Wattenmeer abgelassen werden, ohne pumpen zu müssen. Dieses Vorhaben könnte möglicherweise auch schrittweise angegangen werden. Der Wasserstand des Markermeeres hingegen soll unverändert bleiben, um die Stadtentwicklung von Amsterdam und Almere nicht nachteilig zu beeinflussen. Zudem bräuchten so die landschaftlich wertvollen, zum Markermeer hin gelegenen Küstenschutzmaßnahmen in Nordholland nicht verstärkt zu werden.

#### **3.4.3.5 Kosten**

Die Ausführung des Deltaprogramms würde bis 2050 jährlich etwa 1,2 bis 1,6 Mrd. € beanspruchen, von 2050 bis 2100 noch ca. 0,9 bis 1,5 Mrd. €. Um die Küsten durch Sandvorspülungen um bis zu 1 km zu verbreitern wäre eine zusätzlicher Betrag von 0,1 bis 0,3 Mrd. € pro Jahr erforderlich. Die Durchführung dieses Projektes ist für die Sicherheit der Niederlande von größter Bedeutung, so dass die Finanzierung auch langfristig sichergestellt werden muss. Sie darf nicht von kurzfristigen politischen Prioritäten oder Konjunkturschwankungen beeinflusst werden. Eine Finanzierungsmöglichkeit sieht die Deltakommission in der Aufstellung eines „Deltafonds“, der aus Gewinnen der Erdgasförderung und durch langfristige Anleihen gefüllt werden könnte.

#### **3.5 Fazit**

Die durch eine Kosten-Nutzen-Analyse 1956 festgelegten Sicherheitsstandards in den Niederlanden sind mit 1:2.000 bis 1:10.000 die höchsten in Europa. Ein spezielles Küstenschutzgesetz schreibt nicht nur die Sicherheitsstandards vor, sondern auch eine fünfjährige Überprüfung derselben. Dazu wurde ein komplexes System entwickelt, welches sehr detailliert auf die jeweiligen Entwurfselemente einer Küstenschutzmaßnahme und dessen Lage abgestimmt ist. Das Bemessungsverfahren beruht auf einer kombinierten statistisch-deterministischen Methode.

Die zukünftige Entwicklung der sich durch den Klimawandel verändernden hydraulischen Bedingungen wird in den Niederlanden berücksichtigt. Da Land knapp ist, ist vorgesehen, die Küstenlinie auch bei einem erwarteten Meeresspiegelanstieg von bis zu 4 m im Jahre 2200 zu halten. Dazu wird derzeit eine Strategie entwickelt, die einerseits auf große Flexibilität und Innovationsfreude in der Planung setzt und andererseits vorsieht, die Sicherheitsstandards um den Faktor 10 zu erhöhen. Die Planungen werden bewusst mit einem zeitlichen Horizont bis zum Jahr 2200 angegangen, um rechtzeitig gewappnet zu sein.

## 4 BELGIEN

### 4.1 Überblick

In Belgien sind zwei Gebiete durch Sturmfluten bedroht. Zum einen ist dies die flandrische Nordseeküste, zum anderen das Scheldeästuar mit seinem tidebeeinflussten Einzugsgebiet. Daher werden die zwei Gebiete in je einem separaten Kapitel behandelt.

Zu beachten ist, dass die Wasserstände in Belgien nicht in NAP bzw. NN (Normaal Amsterdam Peil, entspricht dem deutschen Normal Null), sondern in TAW angegeben werden (Tweede Algemene Waterpassing, gemessen am Pegel Ostende,  $TAW = NAP - 2,32 \text{ m}$ ); aufgrund der Verständlichkeit sind folgend aber alle Wasserstände in NN wiedergegeben.

### 4.2 Juristische Grundlagen

Die flämische Regierung ist grundsätzlich für den Bau und den Unterhalt von Küstenschutzmaßnahmen verantwortlich, allerdings gibt es bislang keine gesetzlichen Vorgaben bezüglich deren Ausführung und Bemessung; folglich wird der Küstenschutz an Küste und Schelde auch nicht einheitlich ausgeführt (MERTENS ET AL. 2008).

## 5 BELGIEN (SCHELDE)

### 5.1 Geographischer und historischer Überblick

Die Schelde ist einschließlich ihrer Nebenflüsse ein tidebeeinflusstes Flusssystem mit insgesamt mehr als 250 km Länge, der maximale Tidenhub beträgt 5,5 m; die bedeutendste Stadt in ihrem Einzugsgebiet stellt mit 466.000 Einwohnern die Hafenstadt Antwerpen dar (GREATER LONDON AUTHORITY 2006).

### 5.1.1 Sigma-plan

Der Küstenschutz an der Schelde ist im Sigma-plan festgeschrieben, der am 18.2.1977 von der flämischen Regierung verabschiedet wurde. Der Sigma-plan wurde nach der Sturmflut vom 3./4.1.1976 initiiert und stellt die belgische Erweiterung des niederländischen „Deltaplanes“ nach Süden dar. Bei dieser kam es an der Schelde zu mehreren Deichbrüchen und Überflutungen von über 800 ha Land; in Antwerpen betrug der Pegelstand 9,63 m NN. In den Niederlanden, wo die Ausführung des Deltaplanes bereits weit fortgeschritten war, kam es zu keinen Schäden (BULCKAEN ET AL 2005; MARCHAND ET AL. 2006).

Der Sigma-plan sah – wie der Deltaplan – einen Sicherheitsstandard von 1:10.000 vor. Zur Erreichung dieses Schutzzieles wurde ein kombiniertes ergänzendes System mit drei Hauptmerkmalen verabschiedet ([www.sigmaplan.be](http://www.sigmaplan.be)):

- Bau eines Sturmflutsperrwerkes auf der Schelde bei Oosterweel (kurz unterhalb Antwerpen)
- Erhöhung von insgesamt 512 km Deich unter Berücksichtigung der lokalen Randbedingungen auf:
  - 13,32 m NN zwischen Grenze NL/B und Sperrwerk
  - 10,67 m NN zwischen Sperrwerk und Temse
  - 10,32 m NN zwischen Temse und Schoonaarde sowie auf den Nebenflüssen der Schelde
  - 9,82 m NN zwischen Schoonaarde und Gentbrügge
- Anlage von 13 Überflutungsflächen (nld.: gecontroleerde overstromingsgebieden –

GOG's) mit einer Gesamtfläche von 1.133 ha, die eine niedrigere Deichhöhe als Sturmflutniveau, aber eine höhere als Springtidehochwasser haben.

### 5.1.2 Umsetzung des Sigmaplans

Bis zum Jahr 2005 waren 405 km (80 %) der Deiche auf den im Sigmaplan vorgesehenen Standard gebracht, der Bau des Sperrwerks wurde allerdings 1982 aufgrund mangelnder Haushaltsmittel auf unbestimmte Zeit verschoben. Insgesamt 12 Überflutungsflächen mit etwa 1100 ha wurden eingerichtet (BULCKAEN ET AL. 2005).

Im Jahre 2008 betrug die Eintrittswahrscheinlichkeit einer Überschwemmungen verursachenden Sturmflut in der Schelde 1:70, nach Fertigstellung der noch ausstehenden 600 ha Überflutungsfläche nur noch 1:350. Dieser Sicherheitsstandard wird sich allerdings durch zunehmende Sturmaktivität und den steigenden Meeresspiegel (Annahme: 60 cm bis 2100) bis zum Jahre 2100 auf nur 1:20 (!) verringert haben, was als unhaltbares Risiko betrachtet wird. Darüber hinaus war eigentlich nach wie vor der im Sigmaplan geforderte Sicherheitsstandard von 1:10.000 gültig. Eine Aktualisierung des Sigmaplans wurde als dringend notwendig erachtet (BULCKAEN ET AL. 2005).

### 5.2 Juristische Grundlagen: Aktualisierter Sigmaplan

Nachdem die Umsetzung des Sigmaplans nicht abgeschlossen werden konnte, beschloss das flämische Parlament 2001, unter dem Namen „Aktualisierter Sigmaplan“ eine neue Langzeitplanung für die Schelde aufzustellen. Diese wurde am 22.7.2005 von der flämischen Regierung

genehmigt. Ein Kernpunkt des neuen Küstenschutzkonzeptes ist die Anwendung eines risikobasierten Ansatzes.

#### 5.2.1 Risikobasierter Ansatz

Ein risikobasierter Ansatz, bei dem das Risiko als Produkt von Schaden und Überflutungswahrscheinlichkeit definiert ist, ermöglicht es, nicht-einheitliche Sicherheitsstandards an der Schelde umzusetzen. Anhand einer Kosten-Nutzen-Analyse wurde ermittelt, dass eine Kombination aus lokalen Deicherhöhungen und der Einrichtung von Überflutungsflächen für die flämischen Anforderungen die beste Lösung darstellt, weil sie aufgrund ihrer geringen Amortisationszeit von etwa 16 Jahren die wirtschaftlichste Variante ist (BULCKAEN ET AL 2005; GAUDERIS ET AL. 2005).

Die so ermittelte Kombination an Maßnahmen umfasst ein Investitionsvolumen von ca. 150 Mio. € und erfordert Flächen von 1.350 ha für die Anlage der Überflutungsflächen sowie die Erhöhung von 23,9 km Deichen. Darüber hinaus sind bis zum Jahr 2050 weitere Überflutungsflächen mit 656 ha einzurichten, um den Sicherheitsstandard wegen des ansteigenden Meeresspiegels halten zu können (GAUDERIS ET AL. 2005).

**„Neuer Sigmaplan“:  
23,9 km Deicherhöhungen  
1.350 ha Überflutungsflächen  
+ 656 ha Überflutungsflächen in 2050**

Eine genaue Beschreibung der Kosten-Nutzen-Analyse und des Auswahlverfahrens für die Maßnahmenkombination sind im Anhang B-1 zu finden.

### 5.2.2 Sicherheitsstandard

Durch die Anwendung eines risikobasierten Ansatzes wird mithin nicht das gesamte Einzugsgebiet der Schelde mit demselben Sicherheitsstandard vor Sturmfluten geschützt, sondern jeder Bereich im Hinblick auf die bei einer Überflutung zu erwartenden Schäden einzeln bewertet. Der jeweils bestimmte Sicherheitsstandard wird ausgedrückt als Überschreitungswahrscheinlichkeit der Höhe der Deichkrone abzüglich des Freibords. Die Sicherheitsstandards für bestimmte Gebiete sind in Tab. 8 aufgeführt, wobei der Meeresspiegelanstieg hier nicht berücksichtigt wird (BULCKAEN ET AL 2005).

Sicherheitsstandard	Betroffene Gebiete
1:4.000	Wichtige Schadenszentren (z.B. große Städte)
1:2.500	Weniger wichtige Schadenszentren
1:1.000	Ländliche Gegenden

Tab. 8: Sicherheitsstandards für die Schelde, ohne Meeresspiegelanstieg

Abschließend wurde das Maßnahmenpaket einer Empfindlichkeitsanalyse in Bezug auf Veränderung in der volkswirtschaftlichen und ökonomischen Entwicklung unterzogen. Hierbei wurde bestätigt, dass eine optimierte Mischung verschiedener Küstenschutzmaßnahmen einer Lösung mit einem Sturmflutsperrwerk stets vorzuziehen ist. Eine große Unsicherheit in der Kalkulation der Amortisationszeit bleibt aber bestehen.

### 5.2.3 Bemessung

Die Festlegung der Bemessungswasserstände an der Schelde insbesondere für Antwerpen erfolgt auf der Grundlage von synthetischen Sturmfluten, welche mithilfe eines eindimensionalen hydrodynamischen Modells entlang der Schelde berechnet werden. Hervorzuheben ist hier die Kombination von deterministischen und statistischen Bestandteilen im Bemessungsverfahren, wodurch eine – im Vergleich zu rein statistischen Extrapolationsverfahren – deutlich exaktere Bestimmung der maßgeblichen Wasserstände ermöglicht werden soll.

Das Verfahren beruht auf der Generierung synthetischer Sturmfluten für das an der Scheldemündung liegende Vlissingen, die anschließend mit dem hydrodynamischen Modell „Mike 11“ auf den Verlauf der Seeschelde übertragen werden. Die synthetischen Sturmfluten setzen sich aus den einzelnen Elementen einer Sturmflut zusammen. Mit diesem Verfahren ist eine objektive, vergleichende Betrachtung diverser Szenarien möglich, weshalb das Verfahren für die Evaluation möglicher Maßnahmen im Rahmen der Aufstellung des aktualisierten Sigmaplans angewandt wurde.

Das genaue Verfahren wird im Anhang B-2 wiedergegeben.

### 5.2.4 Meeresspiegelanstieg

Der Meeresspiegelanstieg wird bis zum Jahre 2100 mit 60 cm kalkuliert. Dieser hat direkte Auswirkungen auf den Sicherheitsstandard und reduziert diesen in der Zukunft dramatisch. Um das durch den steigenden Meeresspiegel zunehmende Risiko wieder reduzieren zu können, wurden Flächen von 656 ha für potentielle zusätzliche Überflutungsflächen ermittelt. Daraus ergibt sich an der Schelde ein Flächenbedarf für Überflutungsflächen von insgesamt ca. 2.000 ha (GAUDERIS ET AL. 2005).

**Meeresspiegelanstieg: 60 cm bis 2100**  
**Zur Beibehaltung des Sicherheitsstandards ist die Einrichtung weiterer Überflutungsflächen notwendig!**

### 5.3 Fazit

Nachdem der im Sigmoplan vorgesehene Sicherheitsstandard von 1:10.000 nie erreicht wurde, weil es nicht zum Bau des Sperrwerkes unterhalb Antwerpens kam, wurde der „Aktualisierte Sigmoplan“ als grundlegendes Planungsdokument für die Schelde im Jahre 2005 genehmigt. Dessen Sicherheitsstandards wurden mit einem risikobasierten Ansatz ermittelt und liegen – je nach bedrohten Werten in den betroffenen Gebieten – zwischen 1:1.000 und 1:4.000. Zudem ist die Anlage weiterer Überflutungsflächen von Nöten, um den Sicherheitsstandard auch in Zukunft halten zu können. Grundlage für die Evaluierung der Maßnahmen ist ein kombiniert deterministisch-statistisches Bemessungsverfahren auf der Basis modellierter Sturmfluten.

## 6 BELGIEN (FLANDRISCHE KÜSTE)

### 6.1 Geographischer und historischer Überblick

Die etwa 67 km lange Küste Belgiens gehört administrativ Flandern an (offiziell: Flämische Region bzw. Flämische Gemeinschaft). Etwa 400.000 Menschen leben im sturmflutgefährdeten Küstenstreifen. Darüber hinaus wird die belgische Küstenlinie intensiv touristisch genutzt, was sich in einer dichten Bebauung niederschlägt. Der Küstenschutz besteht in den an der Nordsee gelegenen Städten überwiegend aus befestigten Deckwerken und Deichen mit darauf stehenden Gebäuden (ca. 35 % der Küstenlinie), während zwischen den Küstenstädten Dünenfelder dominieren (ca. 50 %). Mehr als die Hälfte der belgischen Nordseeküste ist von Erosion betroffen, der im Bereich der Städte durch alljährliche Sandvorspülungen begegnet wird, um den geforderten Sicherheitsstandard erhalten zu können (MERTENS ET AL. 2008).

### 6.2 Juristische Grundlagen

Für die technische Ausführung des Küstenschutzes und dessen Unterhalt ist die Flämische Regierung zuständig. Wie bereits in Abschnitt 4.2 erläutert gibt es keinerlei Gesetze, die den Küstenschutz regeln. Grundlage für den derzeitigen Küstenschutz bildet ein Dokument (IMDC 2005: Hydraulisch Randvoorwaardenboek Flaamse Kust), in welchem die hydraulischen Rahmenbedingungen für die flämische Küste festgeschrieben sind.

## 6.3 Bemessung

### 6.3.1 Sicherheitsstandard

Die Flämische Regierung hat als minimalen Sicherheitsstandard bei einem Sturmereignis mit einer 1.000-jährigen Eintrittswahrscheinlichkeit einen Wellenüberlauf von maximal 1 Liter/Sekunde/Meter definiert.

**Eintrittswahrscheinlichkeit: 1:1.000**  
**Wellenüberlauf: 1l/s/m**  
**Kombiniertes statistisch-deterministisches**  
**Verfahren**

Beim derzeitigen baulichen Schutzniveau ist mit Wellenüberläufen von stellenweise mehr als 100 l/s/m zu rechnen. Bei so hohen Überläufen kann ein Versagen der Deiche nicht ausgeschlossen werden (MERTENS ET AL. 2008).

### 6.3.2 Meeresspiegelanstieg

Für die Sturmflutsicherheit ist vor allem der Anstieg des Tidehochwassers von Bedeutung. Hierfür wird bis zum Jahr 2050 ein Anstieg von 30 cm veranschlagt, während von einem Anstieg des mittleren Meeresspiegels von 25 cm ausgegangen wird (IMDC 2005).

**Anstieg des mittleren Meeresspiegels:**  
**25 cm bis 2050**  
**Anstieg des Tidehochwassers:**  
**30 cm bis 2050**

### 6.3.3 Bemessungsverfahren

Die Ermittlung des Bemessungswasserstandes erfolgt mit einem kombinierten statistisch-deterministischen Ansatz. Die Betrachtung des

Wasserstandes erfolgt durch dessen Aufteilung in zwei Bestandteile (IMDC 2005):

- Den deterministisch zu bestimmenden astronomischen Teil der Tide (Nipp- bzw. Springtide)
- Den durch den Wind bestimmten stochastischen Teil des Wasserstandes (Windstau)

Die einzelnen Parameter werden unabhängig voneinander einer Extremwertanalyse unterzogen. Anschließend werden die ermittelten Extremwerte mit einem numerischen Wellenmodell auf die Küste übertragen.

Das genaue Bemessungsverfahren ist im Anhang B-3 beschrieben.

## 6.4 Zukünftige Entwicklung

Seit den 1990er Jahren wird die Einführung eines neuen, risikobasierten Küstenschutzmanagements auf der Basis folgender Eckpfeiler erwogen (VERWAEST ET AL. 2008):

- Schutz gegen Überflutungsschäden
- Vermeidung von Risiken bezüglich menschlicher Opfer
- Reduktion des Sicherheitsrisikos

Dicht besiedelte Gegenden sollen dabei strikt vor Sturmfluten geschützt werden, während für unbesiedelte Gebiete – wie etwa Naturschutzgebiete – weniger hohe Sicherheitsstandards ausreichen; hier könnte das Auftreten einer Sturmflut sogar positive Auswirkungen haben. Mit diesem risikobasierten Ansatz sollen folglich die Konsequenzen einer Überflutung minimiert werden, anstatt eine Überflutung kategorisch zu verhindern.

**Minimierung der Konsequenzen  
anstatt  
Vermeidung der Überflutung**

durch eine Kosten-Nutzen-Analyse (SCBA) sowie ein Risikomanagement auf ihre Eignung hin untersucht. Die beste Variante wird schließlich in den zu erstellenden Masterplan aufgenommen (MERTENS ET AL. 2008).

#### 6.4.1 Juristische Grundlage

Als juristische und planerische Grundlage für den flämischen Küstenschutz befindet sich ein Masterplan („Integrated Master Plan For Flanders Future Coastal Safety“) in der Aufstellung, der bis 2010 fertig gestellt sein soll. Zeithorizont dieses Plans wird das Jahr 2050 sein. Er soll das Risiko einer Überflutung sowohl kurz- als auch langfristig minimieren. In Abb. 5 ist das Arbeitsschema für die Aufstellung des Masterplanes dargestellt, dessen für die Bemessung relevanten Teilschritte (rot markiert) im Folgenden erläutert werden. Auf der Grundlage einer Sicherheitsanalyse (safety check) und von Überflutungsrisikoberechnungen (flood risk calculations) werden verschiedene Maßnahmen entwickelt. Diese werden u. a.

Als mittel- bis langfristige Küstenschutzstrategien kommen grundsätzlich Bewahrung des Status quo, Rückzug und seewärtige Expansion in Frage. Von diesen Möglichkeiten wird bislang das Halten des Status quo angewendet, der Rückzug aber als zu erwägende Option für un- oder dünnbesiedelte Dünenabschnitte angeführt. Weiter wird überprüft, inwieweit der Einsatz „harter“ oder „weicher“ Küstenschutzmaßnahmen zielführend ist, da insbesondere weiche Maßnahmen wie Strandvor- oder Dünenaufspülungen den Vorteil haben, mit steigendem Meeresspiegel flexibel zu agieren (MERTENS ET AL. 2008).

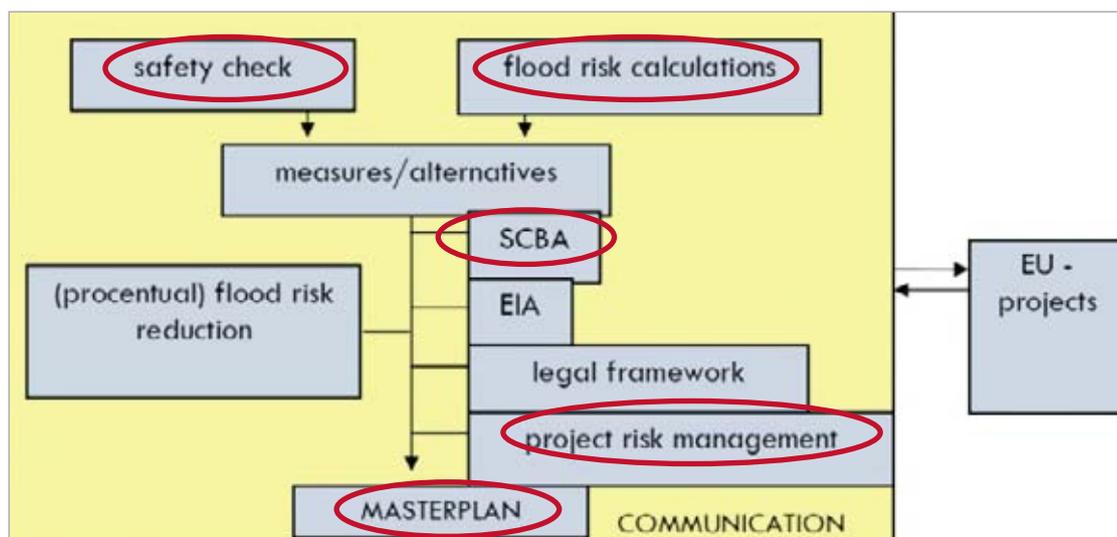


Abb. 5: Arbeitsschema für die Aufstellung des „Integrated Master Plan For Flanders Future Coastal Safety“ (MERTENS ET AL. 2008)

### 6.4.2 Zukünftige Bemessung

Um gegenwärtigen und zukünftigen Sturmfluten entgegenzutreten zu können, werden Sicherheitsüberprüfungen und Sturmflutrisikokalkulationen für die gesamte flandrische Küste durchgeführt. Zudem wird die Anwendung des risikobasierten Ansatzes in der Bemessung von Küstenschutzmaßnahmen in Erwägung gezogen, was auf die Definition von lokal differenzierten Sicherheitsniveaus hinausläufe.

#### 6.4.2.1 Sicherheitsstandard

Konkret werden Sicherheitsbewertungen für folgende Szenarien aufgestellt (MERTENS ET AL. 2008):

- 1.000-jähriges Sturmereignis heute
- 1.000-jähriges Sturmereignis in 2050 (inkl. Meeresspiegelanstieg)
- 4.000-jähriges Sturmereignis heute
- 4.000-jähriges Sturmereignis in 2050 (inkl. Meeresspiegelanstieg)

**Evaluierter Sicherheitsstandard:  
1:1.000 und 1:4.000  
sowie risikobasierter Ansatz mit lokal differenzierten Sicherheitsstandards**

Datengrundlage für eine Bemessungssturmflut stellt die statistische Analyse der verfügbaren Pegeldata nach dem bisherigen Verfahren (s. Kap. 6.3.3 bzw. Anhang B-2) dar. Um der hohen Unsicherheit begegnen zu können, die aus der Extrapolation einer 1.000-jährigen Eintrittswahrscheinlichkeit aus einer weniger als 100 Jahre umfassenden Datengrundlage entsteht, wird besonderes Augenmerk auf die statistische Extremwertverteilung gelegt: Es wird nicht nur eine

mittlere Verteilung der Extremwerte (der Median, s. Abb. 6) betrachtet, sondern zusätzlich je eine Verteilung mit einer 68 %-igen ( $\pm \sigma$ ) bzw. 95 %-igen ( $\pm 2 \sigma$ ) Über- sowie Unterschreitungswahrscheinlichkeit (MERTENS ET AL. 2008; WILLEMS 2007).

#### 6.4.2.2 Meeresspiegelanstieg und Wellenüberlauf

Für den Zeitraum 2008 bis 2100 wird ein Meeresspiegelanstieg von 60 cm kalkuliert, für 2008 bis 2050 ein Meeresspiegelanstieg von 22,5 cm (MERTENS ET AL. 2008).

**Kalkulierter Meeresspiegelanstieg:  
22,5 cm bis 2050  
60 cm bis 2100**

Der Wellenüberlauf wird nach der Methode von Van der Meer (TAW 2002) ermittelt, die Geschwindigkeit des überlaufenden Wassers nach der Methode von Schüttrumpf (2003). Der zulässige Wellenüberlauf an der flämischen Küste beträgt 1 l/s/m (MERTENS ET AL. 2008).

**Zulässiger Wellenüberlauf:  
1 l/s/m**

#### 6.4.3 Schadens- und Opferkalkulation

Durch die Erstellung von Landnutzungskarten und die Definition monetärer Werte der Landnutzungsklassen werden die Relationen zwischen Schaden und Wasserstand der jeweiligen Landnutzungsklassen hergeleitet. Grundlage hierfür sind verschiedene Überflutungskarten für bestimmte Eintrittswahr-

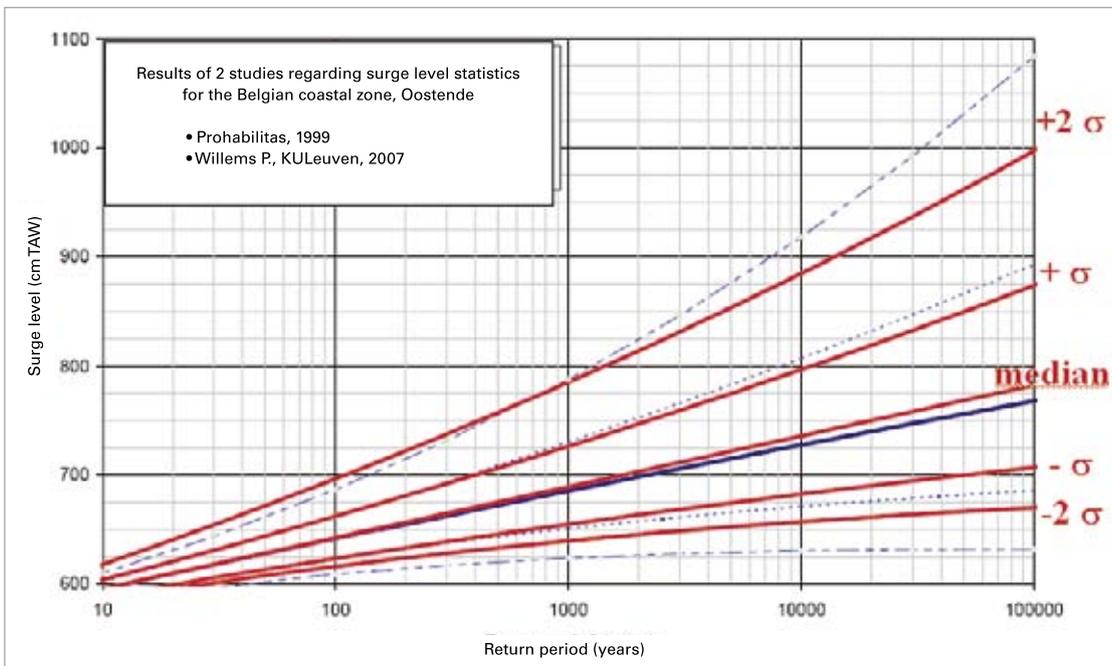


Abb. 6: Extremwertverteilungen für Sturmfluthöhen (MERTENS ET AL. 2008)

Kartentyp	Hintergrund
Maximale Wasserstände	Zeigt, welche Gebiete bei bestimmten Pegelstand überflutet werden
Maximale Fließgeschwindigkeiten	Hohe Fließgeschwindigkeiten können zusätzlichen Schaden anrichten
Maximale Steiggeschwindigkeit des Wassers	Schnellsteigendes Wasser verkürzt die Reaktionszeit

Tab. 9: Arten von Überflutungskarten (VERWAEST ET AL. 2008)

scheinlichkeiten, deren Inhalte in Tab. 9 wiedergeben sind.

Das Überflutungsrisiko wird als Produkt von Eintrittswahrscheinlichkeit und Schaden (Konsequenz) definiert und beschreibt den durchschnittlichen, jährlich zu erwartenden Schaden. Hierzu wird der niedrigste Pegelstand ermittelt, bei dem noch Schäden zu erwarten sind.

Die zukünftige Verteidigungsstrategie an der flandrischen Küste soll, ähnlich dem an der Schelde angewandten Verfahren, durch eine Kosten-Nutzen-Analyse evaluiert werden. Die Durchführung der Kosten-Nutzen-Analyse erwies sich aus folgenden Gründen als praktikable Herangehensweise, um notwendige Küstenschutzmaßnahmen zu konkretisieren (MERTENS ET AL. 2008):

- Ein risikobasierter Ansatz führt zu größerem Sicherheitsgewinn bei geringeren Kosten
- Von Sturmfluten ausgehende Risiken nehmen durch Meeresspiegelanstieg erheblich zu
- Teure Maßnahmen sind unvorteilhaft bzw. nicht finanzierbar
- Naturschutzmaßnahmen sind integrierbar
- Sorgfältiges Design, schrittweise Herangehensweise sowie eine Unsicherheitsanalyse sind unverzichtbar

#### 6.4.4 Risikoanalyse

Die Risikoanalyse wird nach der RISMAN-Methode durchgeführt. Sie basiert auf den in Tab. 10 dargestellten vier Schritten (MERTENS ET AL. 2008).

Schritt 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bestimmung der Ziele des Risikomanagements</li> <li>• Identifikation der Risiken.</li> </ul>
Schritt 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analyse und Bewertung der Risiken erfolgt durch eine Klassifizierung. Jedes unter Schritt 1 identifizierte Risiko wird nach dessen Eintrittswahrscheinlichkeit in eine Wahrscheinlichkeitsklasse eingeteilt (s. Abb. 7). Die Wirkung der Risiken wird ebenfalls klassifiziert wiedergegeben, z.B. in finanziellen oder zeitlichen Klassen. Auf diese Weise wird für jedes Risiko ein Wert auf der Skala von 1 bis 16 bestimmt, so dass die 30 bedeutendsten Risiken designiert werden können.</li> </ul>
Schritt 3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bestimmung der Risikomanagement-Maßnahmen für ausgewählte Risiken</li> <li>• Abschätzung deren Auswirkungen</li> </ul>
Schritt 4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aktualisierung der Risikoanalyse</li> <li>• Überprüfung der ausgewählten Risiken auf ihre Aktualität</li> <li>• Identifizierung neuer Risiken</li> </ul>

Tab. 10: Schritte der Risikoanalyse (MERTENS ET AL. 2008)

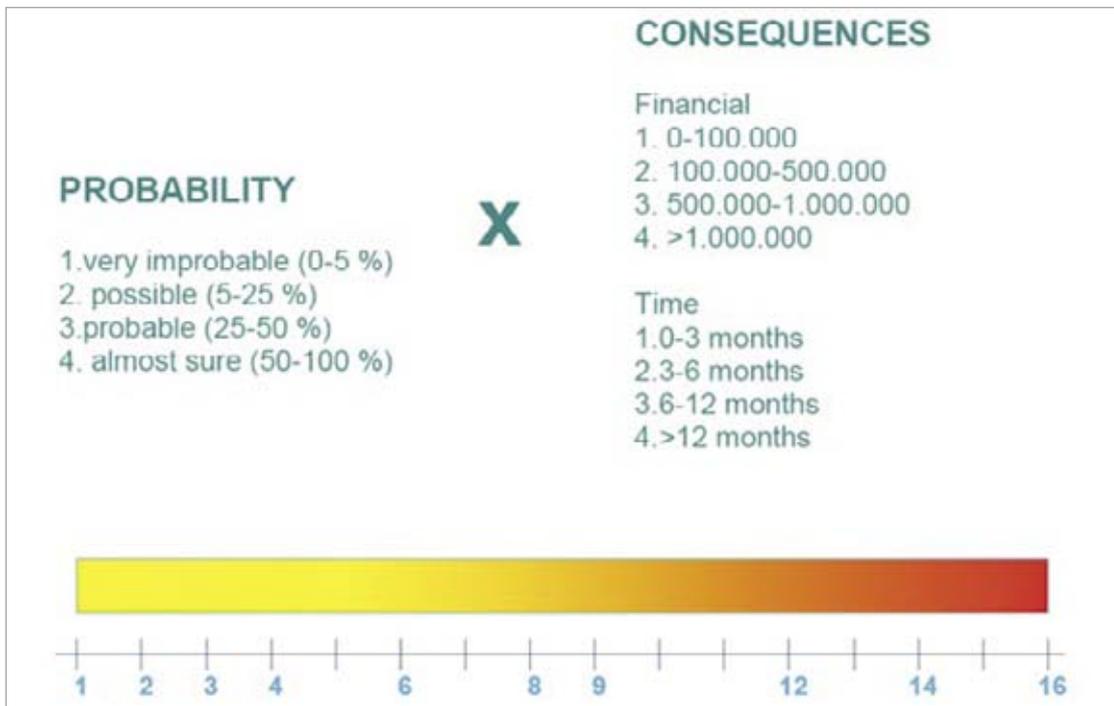


Abb. 7: Semi-quantitative Analyse auf Basis von Risiko = Wahrscheinlichkeit x Konsequenzen, die zur Bildung von 16 Klassen führt (MERTENS ET AL. 2008)

Die Unsicherheit bei der Risikobestimmung ist sehr groß und liegt etwa beim Faktor 10. Ursache dafür sind die große Unsicherheit bei der hydraulischen Extremwertverteilung sowie das Versagensverhalten der Küstenschutzbauwerke. Die Unsicherheit bei den zukünftigen Entwicklungen wie Meeresspiegelanstieg oder ökonomischer Entwicklung bis zum Jahr 2050 ist relativ gering, wird aber zum dominierenden Unsicherheitsfaktor bei einer langfristigen Betrachtung bis 2100 und darüber hinaus (MERTENS ET AL. 2008; VERWAEST ET AL. 2008).

### 6.5 Fazit

Für die flandrische Küste hat die belgische Regierung einen Sicherheitsstandard von 1:1.000 definiert, eine verbindliche Rahmenplanung oder ein Küstenschutzgesetz gibt es allerdings nicht. Die Ermittlung der Bemessungswasserstände erfolgt anhand eines kombinierten statistisch-deterministischen Verfahrens, bei dem die Sturmflut in einzelne Parameter (Windstau, astronomische Tide, Seegang und Wind) segmentiert wird, welche anschließend gesondert einer statistische Analyse unterzogen werden. Die einzelnen Parameter werden für das tiefe Wasser vor der Küste ermittelt und ergeben einen Extremwasserstand, welcher durch ein Wellenmodell auf die Küste übertragen wird.

Für die zukünftige Küstenschutzstrategie befindet sich derzeit ein Masterplan in der Aufstellung. Dieses Programm wurde im März 2007 gestartet und soll 2010 abgeschlossen werden. Teile des Verfahrens, insbesondere die Risikobemessung, stehen noch im Entwicklungsprozess. Evaluieren werden Sicherheitsstandards von 1:1.000 und 1:4.000 sowie ein risikobasierter Ansatz mit lokal verschiedenen Sicherheitsstandards.

## 7 VEREINIGTES KÖNIGREICH

Das Vereinigte Königreich Großbritannien und Nordirland fällt durch seine enorme Küstenlänge von etwa 12.429 km unter den übrigen behandelten Staaten heraus. So liegt kein Punkt auf den britischen Inseln weiter als 125 km von der Küste entfernt. Beim Großteil der britischen Küsten handelt es sich um Steilküsten, welche bei Sturmfluten nicht durch Überschwemmungen bedroht sind. Allerdings sind sie durch starke Erosion gefährdet. Auf dieses Gefahrenpotenzial wird im weiteren Text jedoch nicht eingegangen. Aufgrund der hohen Vulnerabilität wird in Großbritannien London separat behandelt. Daher werden die für die Küste und die Themse mit London angewendeten Küstenschutzmaßnahmen im Folgenden separat dargestellt.

## 8 VEREINIGTES KÖNIGREICH (KÜSTE)

### 8.1 Geographischer Überblick

Von den Küsten des Inselreiches Großbritannien wird nur ein kleiner Teil durch Sturmfluten bedroht. Obwohl die Küstenlinie mehr als 10-mal so lang wie die der Niederlande ist, sind die bedrohten Gebiete flächenmäßig lediglich ein

Zehntel so groß. In diesen ca. 2.200 m<sup>2</sup> leben etwa 2,5 Mio. Menschen.

### 8.2 Juristische Grundlagen

#### 8.2.1 Coast Protection Act

Die gesetzlichen Grundlagen für Küstenschutzmaßnahmen sind in England und Wales relativ unscharf formuliert. So gibt es weder eine Verpflichtung für den Staat, Schutz vor Überschwemmungen oder Erosion zu gewährleisten noch bezüglich der Einhaltung eines bestimmten Schutzniveaus bzw. eines bestimmten Sicherheitsstandards für unterhaltene Küstenschutzmaßnahmen. Die (Haupt-) Verantwortung für den Schutz von Land und Besitz vor Naturgefahren – und damit auch vor Sturmfluten – liegt beim Eigentümer (PPS 25).

Im Vereinigten Königreich ist am 24.11.1949 das Küstenschutzgesetz (Coast Protection Act, CPA 1949) in Kraft getreten. In diesem Gesetz werden die Zuständigkeiten im Küstenschutz für das Vereinigte Königreich, also für England, Schottland und Wales, geregelt. Hierin werden die Gemeinderäte der an der Küste gelegenen Districts<sup>3</sup> als Küstenschutzbehörden ermächtigt, Küstenschutzmaßnahmen durchzuführen. Das Hauptinstrument für die Durchführung von Küstenschutzmaßnahmen sind Shoreline Management Plans, welche von den lokalen Behörden (Districts) in Zusammenarbeit mit den Coastal Groups und der Umweltbehörde (Environment Agency, EA) aufgestellt werden (CPA 1949).

Die Verantwortung für die politische Zielsetzung des Managements von Küstenschutz und -erosion trägt auf den britischen Inseln das Ministeri-

<sup>3</sup> Insgesamt gibt es 354 Districts in England, die von der Größe her mit einem deutschen Landkreis, von deren Aufgaben her aber eher mit einer deutschen Gemeinde zu vergleichen sind.

um für Umwelt, Ernährung und ländliche Räume (DEFRA, Department for Environment, Food and Rural Affairs). Die Ausführung der Maßnahmen vor Ort fällt in den Verantwortungsbereich der ausführenden Behörden, namentlich der Umweltbehörde (die EA arbeitet dem DEFRA zu, vergleichbar mit einer deutschen Körperschaft öffentlichen Rechts), den lokalen Behörden und – wo erforderlich – der Entwässerungsbehörden.

### 8.2.2 Making Space for Water

Beginnend im Sommer 2003 hat das DEFRA unter dem Namen „Making Space for Water“ eine neue Strategie für das Küstenschutzmanagement eingeführt. Dabei handelt es sich um einen ganzheitlichen Ansatz, mit dem alle Formen von Überflutungen (d.h. Überflutungsgefahren, die von Flüssen, der Küste, Grundwasser, Oberflächenabfluss und Abwasserkanälen ausgehen) und Küstenerosion geregelt werden sollen. Oberstes Ziel dieses umfassenden Ansatzes ist die nachhaltige Entwicklung des Landes. Daher sind nahezu alle im Folgenden erläuterten Programme und Maßnahmen Teil dieses übergeordneten, holistischen Ansatzes.

### 8.2.3 Shoreline Management Plans

Das Hauptinstrument für das Küstenmanagement in England sind Shoreline Management Plans (SMP). Diese wurden ab dem Jahr 1993 für die gesamte englische und walisische Küste aufgestellt<sup>4</sup>, um ein besseres Verständnis für die Vorgänge an der Küste zu entwickeln und so eine langfristige, strategische Planung sicherzustellen. Somit konnte bis heute eine großmaßstäbliche Bewertung der Risiken an der Küste betrieben werden. Zudem werden die SMPs

genutzt, um alle vom Küstenmanagement betroffenen Organisationen und die Öffentlichkeit einzubinden. Mit ihnen soll ein langfristiges und nachhaltiges Management der Küsten erreicht werden (DEFRA SMP).

Für die Aufstellung der SMPs sind die lokalen Behörden in Zusammenarbeit mit den Coastal Groups und der Umweltbehörde zuständig. Derzeit werden die in den 1990er Jahren aufgestellten SMPs der ersten Generation überarbeitet. Hauptgründe für die Revision der Pläne der ersten Generation sind, dass in Bezug auf die zukünftige Entwicklung der Küsten noch erheblicher Forschungsbedarf besteht und dass die ersten SMP's einen zeitlichen Horizont von lediglich 50 Jahren haben. Dieser soll mit der Revision auf einen 100-jährigen Zeithorizont ausgedehnt werden (DEFRA SMP).

Im Rahmen der SMPs wird die Küstenlinie in kurze Abschnitte unterteilt, an denen nach einer der vier folgenden Optionen verfahren wird:

- Nicht eingreifen (beobachten und überwachen)
- Halten der gegenwärtigen Küstenlinie
- Seewärtige Verlagerung der Verteidigungslinie
- Landwärtige Verlagerung der Verteidigungslinie

Hierbei ist zu beachten, dass in natürliche Prozesse grundsätzlich nur dann eingegriffen werden darf, wenn Menschenleben oder Vermögenswerte in Gefahr sind. Zudem müssen die zu ergreifenden Maßnahmen ökonomisch machbar und umweltverträglich sein. Dies bedeutet, dass nur Siedlungsschwerpunkte geschützt werden, während unbesiedelte Küstenabschnitte der natürlichen Entwicklung überlassen werden. Dabei

<sup>4</sup> In ähnlicher Form auch für die schottische Küste

wird die Zerstörung einzelner Häuser, kleinerer Siedlungen oder Campingplätzen ebenso in Kauf genommen wie der Verlust von landwirtschaftlichen Nutzflächen.

### 8.3 Bemessung

#### 8.3.1 Sicherheitsstandard

Der erforderliche Sicherheitsstandard für einen Küstenabschnitt wird anhand der gefährdeten Vermögenswerte festgelegt, so dass es sich um ein risikobasiertes Küstenschutzsystem handelt. Dazu wird das Land in Landnutzungskategorien unterteilt, für die vom Umweltministerium jeweils ein Sicherheitsstandard empfohlen wird (s. Tab. 11). Aus dieser Empfehlung lässt sich allerdings kein Anspruch auf die Einhaltung eines bestimmten Sicherheitsstandards ableiten, da es sich lediglich um eine Bewertungshilfe für die Behörden handelt.

Da für Küstenschutzmaßnahmen nur sehr begrenzte Mittel zur Verfügung stehen, muss genauestens abgewogen werden, wie und wo die Mittel verwendet werden. Ziel ist es, das bestmögliche, finanzierbare Ergebnis zu erreichen. Daher wird mittels einer Kosten-Nutzen-Analyse ermittelt, welche Maßnahme aus einer Vielzahl von Möglichkeiten die ökonomischste von allen ist. Für jeden Küstenabschnitt ist anhand eines vorgegebenen Verfahrens festzustellen, ob der jeweilige Sicherheitsstandard auch wirtschaftlich tragbar ist. Damit dies der Fall ist, müssen die zur Aufrechterhaltung des Sicherheitsstandards erforderlichen Kosten geringer sein, als die potenziellen, mit den Küstenschutzmaßnahmen vermiedenen Schäden (FCDPAG3 1999).

Land-kategorie	Wohneinheiten pro km Küstenlinie	Beschreibung der Landklasse	Empfohlener Sicherheitsstandard (Wiederkehrperiode in Jahren)
A	≥ 50	Dicht besiedelte, städtische Gebiete	100–300
B	≥ 25 bis < 50	Dünn besiedelte, städtische Gebiete mit hochwertigen landwirtschaftlichen Flächen und/oder ökologisch wichtigen Flächen von internationaler Bedeutung	50–200
C	≥ 5 bis < 25	hochwertige landwirtschaftliche Flächen und/oder ökologisch wichtige Flächen von nationaler Bedeutung mit einigen Vermögenswerten	10–100
D	≥ 1,25 bis < 5	Gemischte landwirtschaftliche Flächen mit wenigen Vermögenswerten	2,5–20
E	> 0 bis < 1,25	Geringwertige landwirtschaftliche Flächen oder Grünland mit vereinzelt oder saisonalen Vermögenswerten	< 5

Tab. 11: Landkategorien und empfohlene Sicherheitsstandards (FCDPAG3 1999)

### 8.3.2 Meeresspiegelanstieg

Der globale Meeresspiegel wird weiter ansteigen, der relative Meeresspiegel in England verhält sich allerdings nicht einheitlich, da das Land anhaltenden glaziosostatischen Ausgleichsprozessen im Zuge der Gletscherschmelze nach der letzten Eiszeit vor etwa 20.000 Jahren unterliegt. Während das Land im Norden und Westen ansteigt, sinkt es im Süden ab (FCDPAG3 Note 2006; PPS 25).

Es werden regionale Werte für die einzukalkulierenden Meeresspiegelschwankungen bzw. -veränderungen als Ausgangspunkt für Planungen angegeben, die in ihrem zeitlichen Verlauf einer exponentiellen Kurve entsprechen. Ent-

halten sind die durch Gletscherschmelze und thermische Ausdehnung des Wasserkörpers bedingten Meeresspiegelschwankungen sowie die glaziosostatischen Ausgleichsbewegungen. Die Werte für den Meeresspiegelanstieg bis 2080 beruhen dabei auf den maximalen angenommenen Werten des IPCC-Reports 2001, die Werte für 2115 wurden aus denen für 2020, 2050 und 2080 extrapoliert (s. Tab. 12) (FCDPAG3 Note 2006; PPS 25).

Zwei Beispiele für die Berechnung des Meeresspiegelanstieges für einen bestimmten Zeitpunkt sind in Tab. 13 wiedergegeben, Bezugsjahr ist stets 1990.

Region	Vertikale Landbewegung [mm/a]	Relativer Meeresspiegelanstieg [mm/a]			
		Bezugsjahr: 1990			
		1990–2025	2025–2055	2055–2085	2085–2115
Ost- und Südostengland, East Midlands, London (südlich Flamborough Head)	-0,8	4,0	8,5	12,00	15,0
Südwestengland	-0,5	3,5	8	11,5	14,5
Nordengland (nördlich Flamborough Head)	+0,8	2,5	7,0	10,0	13,0

Tab. 12: Meeresspiegelanstiegswerte für England (FCDPAG3 Note 2006)

Region	Jahr	Rechenweg
Südwestengland	2020	3,5 mm/a x 30 a [1990-2020] = 105 mm
Nordostengland	2065	2,5 mm/a x 35 a [1990-2025] = 87,5 mm
		7 mm/a x 30 a [2026-2055] = 210 mm
		10 mm/a x 10 a [2056-2065] = 100 mm
		$\Sigma = 397,5$ mm

Tab. 13: Beispiele für die Berechnung des Meeresspiegelanstieges für eine Region und einen Zeitpunkt in England (FCDPAG3 Note 2006)

### 8.3.3 Meteorologische und hydrologische Parameter

Für die zukünftige Entwicklung von Wellenhöhen und Windgeschwindigkeit werden analog zum beim Meeresspiegel angewandten Verfahren Werte prognostiziert, da auch sie sich nicht linear verändern werden (s. Tab. 14) (FCDPAG3 Note 2006).

Ästuargebiete können in besonderer Weise vom Klimawandel betroffen sein, da sowohl der steigende Meeresspiegel mit zunehmender Sturmaktivität und Wellenhöhe auf dem Meer als auch extreme Abflüsse in den Flussläufen gefährlich werden können. Zusätzlich ist noch eine Kombination beider Faktoren zu berücksichtigen (FCDPAG3 Note 2006).

Zuhilfenahme von regionalen und strategischen Bewertungsmitteln (PPS 25).

Das Risikomanagement bezieht sich vor allem auf die Zukunft, indem ein Rahmenprogramm für die Gebiete aufgestellt wird, in denen aktuelle Bauvorhaben laufen. So sollen Überflutungsrisiken für Mensch und Besitz wo immer möglich vermieden werden, während verbliebene Restrisiken unter Berücksichtigung der Auswirkungen des Klimawandels gemanagt werden. Zudem sollen Bau- oder Entwicklungsprojekte in überflutungsgefährdeten Gebieten nur zugelassen werden, wenn keine weniger flutgefährdeten Areale verfügbar sind und die Nutzen der Vorhaben deren Risiken aufwiegen. Wenn immer möglich, sind Projekte im überflutungsfreien Raum umzusetzen.

	1990–2025	2025–2055	2055–2085	2085–2115
Maximale Niederschlagsintensität	+5 %	+10 %	+20 %	+30 %
Maximaler Abfluss	+10 %	+20 %		
Windgeschwindigkeit vor der Küste	+5 %	+10 %		
Extreme Wellenhöhe	+5 %	+10 %		

Tab. 14: Änderungen der meteorologischen Einflussfaktoren für England (PPS 25, verändert)

### 8.4 Zukünftige Entwicklung: Risikomanagement

Das Dokument „Planning Policy Statement 25“ (PPS 25) ist Teil des ganzheitlichen Ansatzes zum Risikomanagement im Rahmen des englischen Programms „Making space for water“. Darin ist vorgesehen, dass die Behörden Planungsstrategien vorbereiten und anwenden, welche nach folgendem Muster eine nachhaltige Entwicklung ermöglichen sollen. Die Planungsstrategien basieren auf der Identifikation der überflutungsgefährdeten Gebiete und des von Nordsee und Flüssen ausgehenden Überflutungsrisikos unter

Eine weitere Reduktion der Risiken soll erreicht werden, indem für das Überflutungsmanagement (z. B. als Überschwemmungsgebiete) oder Küstenschutzmaßnahmen notwendiges Land von der Bebauung oder anderweitiger Nutzung ausgenommen wird. Ein möglichst überschwemmungsresistenter Entwurf der Bauwerke sowie durch die Anwendung nachhaltiger Drainagetechniken soll Überflutungsrisiken reduzieren (PPS 25; PPS 25 PRACTICE GUIDE).

Das Hauptanliegen in der strategischen Neuausrichtung des englischen Küstenschutzes ist es

somit, die möglichen Konsequenzen bei einer Überflutung zu minimieren. Als Mittel zur Umsetzung des Risikomanagements dient ein zweigliedriges Prüfverfahren, welches aus Sequenz- und Ausnahmetest besteht.

#### 8.4.1 Sequenztest

Die Untersuchung von flutgefährdeten Gebieten in Bezug auf Eignung zur Bebauung mittels eines sequenziellen, risikobasierten Ansatzes ist ein zentrales Element der Entwicklungsstrategie. Daher soll der sequenzielle Ansatz in allen Ebenen der Planungen eingesetzt werden wie beispielsweise bei der Definition von regionaler Landnutzungen oder der Identifikation lokaler Baugebiete in überflutungsgefährdetem Gelände (PPS 25).

**Sequenztest:**  
**→ Lenkung von Bauvorhaben in  
 möglichst ungefährdete Areale**

Für das Testverfahren werden Überflutungszonen (Flood Zones, s. Tab. 15) definiert, welche den Startpunkt für den Sequenztest darstellen. Hauptziel ist es, neue Bauprojekte nach Möglichkeit in die am wenigsten überflutungsgefährdete Zone 1 zu lenken. Nur wenn dies nicht möglich ist, soll in Zone 2 gebaut werden dürfen. Ist sowohl in Zone 1 als auch in Zone 2 kein Platz mehr, kann ausnahmsweise in Zone 3 gebaut werden. Darüber hinaus sollten auch innerhalb jeder Flood Zone zuerst die am wenigsten flutgefährdeten Bereiche bebaut werden (PPS 25).

<b>Zone 1: Geringe Wahrscheinlichkeit</b>
<p><b>Definition:</b> Überflutungsrisiko &lt; 1:1.000</p> <p><b>Angemessene Landnutzungen:</b> Alle</p> <p><b>Notwendigkeit der Bewertung des Überflutungsrisikos:</b> Nur bei Projekten von mehr als 1 ha Fläche erforderlich.</p> <p><b>Strategische Ziele:</b> Eine grundsätzliche Reduktion des Überflutungsrisikos durch den Entwurf der Bauprojekte und die Anwendung nachhaltiger Drainagetechniken sollte angestrebt werden.</p>
<b>Zone 2: Mittlere Wahrscheinlichkeit</b>
<p><b>Definition:</b> Überflutungsrisiko 1:200 bis 1:1.000</p> <p><b>Angemessene Landnutzungen:</b> Die in Tab. 16 als stark, weniger und ungefährdet bezeichneten Bauungsarten sowie die lebenswichtigen Infrastrukturen.</p> <p>Hochgradig gefährdete Bauungsarten können zugelassen werden, wenn sie den Ausnahmetest bestehen.</p> <p><b>Notwendigkeit der Bewertung des Überflutungsrisikos:</b> Alle Projekte sollten einer Bewertung des jeweiligen Überflutungsrisikos unterzogen werden.</p> <p><b>Strategische Ziele:</b> Eine grundsätzliche Reduktion des Überflutungsrisikos durch den Entwurf der Bauprojekte und die Anwendung nachhaltiger Drainagetechniken sollte angestrebt werden.</p>

### **Zone 3a: Hohe Wahrscheinlichkeit**

Definition: Überflutungsrisiko > 1:200

Angemessene Landnutzungen: Die in Tab. 16 als weniger und ungefährdet bezeichneten Bebauungsarten. Hochgradig gefährdete Bebauungsarten sollten in dieser Zone grundsätzlich nicht zugelassen werden. Stark gefährdete Bebauungsarten und lebenswichtige Infrastrukturen können zugelassen werden, wenn sie den Ausnahmetest bestehen. Eine sichere Benutzung der Infrastruktur sollte auch während Überschwemmungen gewährleistet sein.

Notwendigkeit der Bewertung des Überflutungsrisikos: Alle Projekte sollten einer Bewertung ihres jeweiligen Überflutungsrisikos unterzogen werden.

Strategische Ziele: In dieser Zone sollten Bauträger und Behörden dafür Sorge tragen, dass:

- das Überflutungsrisiko durch den Entwurf der Bauprojekte und die Anwendung nachhaltiger Drainagetechniken grundsätzlich reduziert wird.
- bestehende Einrichtungen in weniger überflutungsgefährdeten Zonen verlegt werden.
- durch den Erhalt von Überschwemmungsgebieten und Abflusswegen Raum für Überflutungen geschaffen wird.

### **Zone 3b: Überschwemmungsgebiete**

Definition: Landflächen, die bei Überschwemmungen mit einem Überflutungsrisiko von > 1:20 von Wasser bedeckt sind oder als Überschwemmungsgebiete für Extremereignisse mit einer Wahrscheinlichkeit von > 1:1000 dienen.

Angemessene Landnutzungen: Lediglich die in Tab. 16 als ungefährdet bezeichneten Bebauungsarten sowie die lebenswichtigen Infrastrukturen sollten in dieser Zone zugelassen werden.

Zudem sollten sie nach folgenden Kriterien konstruiert sein:

- Während Überschwemmungen müssen sie benutzbar und sicher bleiben
- Keine Verringerung der Überschwemmungsflächen durch sie
- Keine Behinderung des Wasserflusses
- Keine Erhöhung des Überflutungsrisikos andernorts

Die lebenswichtigen Infrastrukturen sollten durch den Ausnahmetest überprüft sein.

Notwendigkeit der Bewertung des Überflutungsrisikos: Alle Projekte sollten einer Bewertung ihres jeweiligen Überflutungsrisikos unterzogen werden.

Strategische Ziele: In dieser Zone sollten Bauträger und Behörden dafür Sorge tragen, dass:

- das Überflutungsrisiko durch den Entwurf der Bauprojekte und die Anwendung nachhaltiger Drainagetechniken grundsätzlich reduziert wird.
- bestehende Einrichtungen in weniger überflutungsgefährdeten Zonen verlegt werden

Tab. 15: Überflutungsrisiken der verschiedenen Überflutungszonen (PPS 25)

Lebenswichtige Infrastruktur	Bedeutende Transportwege (Evakuierungswege, das gefährdete Gebiet kreuzende Wege) Versorgungsinfrastruktur (inkl. Elektrische Versorgung)
Hochgradig gefährdet	Polizei-, Feuerwehr- und Rettungsstationen, Kommandozentralen und notwendige Telekommunikationseinrichtungen Kellerwohnungen Caravans, Wohnwagen und Stellplätze für permanente Nutzung Gefahrgut benötigende Einrichtungen
Stark gefährdet	Krankenhäuser Wohneinrichtungen wie Kinder- oder Altenheime sowie Gefängnisse Wohnhäuser, Gaststätten, Internate, Nachtclubs und Hotels Kindergärten, Ärztehäuser und Erziehungseinrichtungen Deponien und Entsorgungsbetriebe für Gefahrgüter Campingplätze für kurzzeitige Nutzung, unterliegen speziellen Warn- und Evakuierungsplänen
Weniger gefährdet	Geschäfte, Restaurants und Cafes, Imbisse, Büros etc. [...] Land- und forstwirtschaftlich genutzte Gebäude Sonstige Abfallbeseitigung Mineralstoffabbau (außer Sand und Kies) Trinkwasseraufbereitung Abwasseraufbereitungsanlagen
Ungefährdet	Wasserversorgung Abwasserentsorgung Sand- und Kiesabbau Hafenanlagen Navigationshilfen Militärische Einrichtungen Schiffbau und -reparatur, Fischverarbeitung Wasserbezogene Erholungseinrichtungen (ausgenommen Übernachtungseinrichtungen)

Tab. 16: Gefährdungsklassifikationen durch Überflutungen (PPS 25)

### 8.4.2 Ausnahmetest

Sollte es nicht möglich sein, bestimmte Entwicklungsprojekte in Zonen niedriger Überflutungswahrscheinlichkeit zu platzieren, kann mittels Ausnahmetest (Exceptiontest) eine Lösung gefunden werden. Für dessen positiven Abschluss müssen folgende Kriterien erfüllt sein (PPS 25):

- Das Vorhaben muss der Gesellschaft nachhaltigen Nutzen erbringen, der die Überflutungsrisiken überwiegt.
- Das Vorhaben muss auf entwicklungsfähigem, bereits vorher entwickeltem Land erfolgen; das Projekt darf nur dann andernorts umgesetzt werden, wenn kein entwicklungsfähiges, bereits vorher erschlossenes Land verfügbar ist.
- Es ist nachzuweisen, dass durch das Vorhaben die Überflutungsrisiken andernorts nicht zunehmen und – wenn möglich – das generelle Überflutungsrisiko reduziert wird.

17 wiedergegeben. Hier wird auch deutlich, in welchen Fällen der Ausnahmetest durchzuführen ist.

### 8.5 Fazit

Mit dem „Coast Protection Act“ von 1949 gibt es in Großbritannien ein Küstenschutzgesetz, aus dem sich aber für die Anwohner kein Anrecht auf vom Staat unterhaltene Küstenschutzmaßnahmen ableiten lässt.

In England wird nicht auf eine starre Verteidigung der Küstenlinien gesetzt, sondern auf Anpassung. Dies lässt sich schon am Namen des strategischen Überflutungs- und Erosionsmanagementprogramm „Making Space for Water“ erkennen. Das Ziel des britischen Küstenschutzes ist es, das Gesamtrisiko besonders durch die Reduktion der aus Überschwemmungen resultierenden Konsequenzen zu verringern.

Klassen (s. Tab. 16)		Lebenswichtige Infrastruktur	Hochgradig gefährdet	Stark gefährdet	Weniger gefährdet	Ungefährdet
Überflutzungszone (s. Tab. 15)	1	✓	✓	✓	✓	✓
	2	✓	Ausnahmetest nötig	✓	✓	✓
	3a	Ausnahmetest nötig	✗	Ausnahmetest nötig	✓	✓
	3b	Ausnahmetest nötig	✗	✗	✗	✓

Tab. 17: Gefährdungsklassifikationen durch Überflutungen in Kombination mit den Überflutzungs-zonen (PPS 25)

Die sich aus den in Tab. 15 dargestellten Überflutzungs-zonen und den in Tab. 16 aufgelisteten Gefährdungsklassen ergebenden möglichen Kombinationen sind zusammenfassend in Tab.

Der englische Küstenschutz beruht auf einem risikobasierten Ansatz. Anhand der Shoreline Management Plans (SMP) wird die gesamt Küsten hoch auflösend erfasst und für jeden Abschnitt

eine Verfahrensweise ausgewählt. Die Sicherheitsstandards liegen – je nach bedrohten Werten – zwischen 1:5 und 1:300. Allerdings sind diese lediglich als Empfehlung zu verstehen und haben somit keinen verbindlichen Charakter. Die Ermittlung der Bemessungswasserstände erfolgt uneinheitlich.

## 9 VEREINIGTES KÖNIGREICH (LONDON UND DIE THEMSE)

### 9.1 Historischer und geographischer Überblick

Die Themse mit der daran liegenden Metropole London nimmt einen Sonderstatus im englischen Küstenschutz ein. London ist mit etwa 8 Mio. Einwohnern die bevölkerungsreichste Stadt Europas und eines der wichtigsten Kultur-, Finanz- und Handelszentren der Welt. Das etwa 50 km von der Nordsee entfernt liegende London wurde in der Vergangenheit häufiger von Sturmfluten heimgesucht; die früheste überlieferte Sturmflut in London geht auf das Jahr 1099 zurück. Bei der Sturmflut vom 31.1./1.2.1953 kamen im Themseästuar mehr als 300 Menschen ums Leben. Als Folge dieser Sturmflut wurde das Verlangen nach besserem Schutz dringlicher. Heute gilt es, ca. 35.000 ha Land vor Sturmfluten zu schützen, in denen 1,25 Mio. Menschen leben, und sich Werte von etwa 100 Milliarden € befinden (LAVERY & DONOVAN 2005; [www.environment-agency.gov.uk](http://www.environment-agency.gov.uk)).

### 9.2 Juristische Grundlagen

Die juristischen Grundlagen für den Küstenschutz in London beziehen sich in erster Linie auf einen speziellen „Thames Barrier and Flood Prevention Act“. Dieser wurde 1972 erlassen und regelt den Bau des Sperrwerkes und der übr-

gen Küstenschutzmaßnahmen an der Themse. Der Bau eines Sturmflutsperrwerkes in Kombination mit der Erhöhung der Deiche und einem Sturmflutwarnsystem wurde als beste Lösung zum Schutz Londons angesehen. Das Sperrwerk wurde im Jahr 1982 fertig gestellt. Etwa  $\frac{3}{4}$  der Kosten in Höhe von 535 Mio £ wurden vom Staat getragen, der Rest von anliegenden Grundstückseignern (LAVERY & DONOVAN 2005; [www.environment-agency.gov.uk](http://www.environment-agency.gov.uk)).

### 9.3 Das Themsesperrwerk

Das Themsesperrwerk liegt kurz unterhalb der Londoner City, so dass die stromab gelegenen Niederungen nicht geschützt sind. Daher sind neben dem eigentlichen Themsesperrwerk acht weitere Sperrwerke an Nebenflüssen der Themse, 36 große Sturmflutschutztore, 400 kleinere bewegliche Schutzbauwerke sowie 337 km Deiche zum Schutz der tief liegenden Gebiete erforderlich. Konstruktiv ist das Themsesperrwerk in seiner Lebensdauer auf das Jahr 2030 ausgelegt.

Ausschlaggebend für die Schließung des Themsesperrwerkes sind der Oberwasserabfluss in Teddington und/oder der Pegelstand in Southend. Bei einer bestimmten Kombination von Oberwasser und Tide (z.B. ein Pegelstand von 5 m bei einem Abfluss von 1.000 m<sup>3</sup>/s) wird das Sperrwerk geschlossen. Bereits bei der Planung des Sperrwerkes wurde berücksichtigt, dass die Anzahl der Schließungen pro Jahr bedingt durch Meeresspiegelanstieg und glazialisostatische Absenkung des Festlandes mit der Zeit zunehmen werden. So wurden für den Verlauf des Jahres 2030 insgesamt 30 Schließungen kalkuliert (LAVERY & DONOVAN 2005).

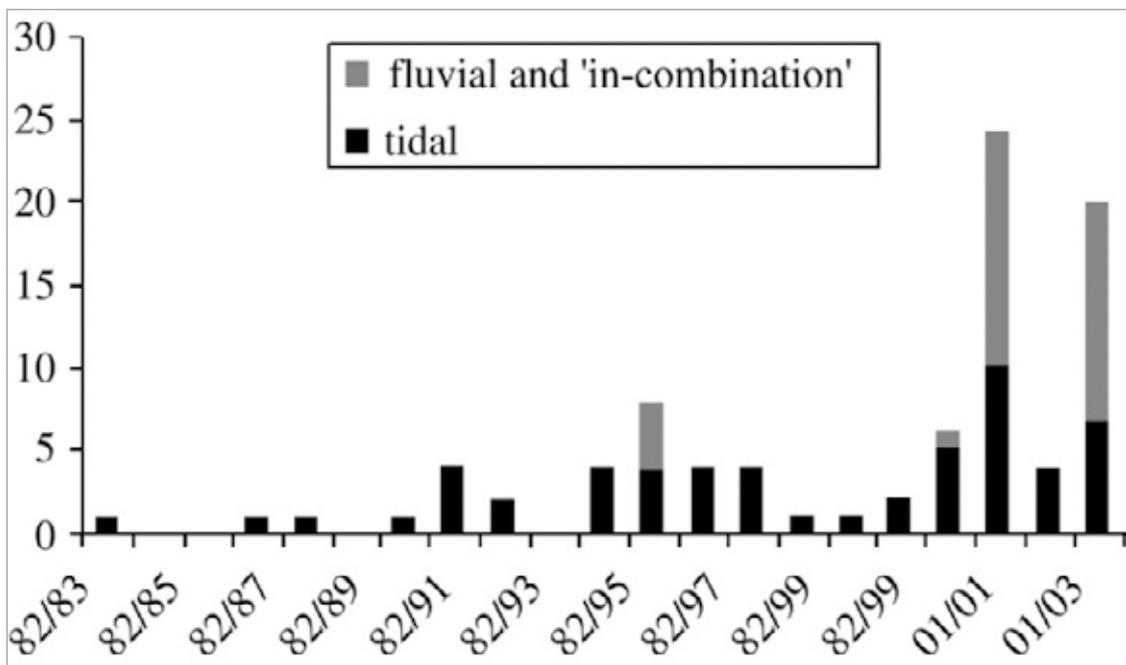


Abb. 8: Anzahl der Schließungen des Themsesperrwerks unterteilt in Schließungen aufgrund von Sturmfluten (schwarz) und Kombination aus Tide und Oberwasser (grau) (LAVERY & DONOVAN 2005)

Das Themsesperrwerk ist nicht nur dazu ausgelegt, Sturmfluten abzuwehren, sondern auch bei besonders hohen Oberwasserabflüssen in der Lage, im Londoner Stadtgebiet den Einfluss der Tide und somit die Pegelstände insgesamt zu reduzieren. Das Themsesperrwerk wird – mit zunehmender Tendenz – durchschnittlich 3,3-mal pro Jahr geschlossen. Abb. 8 gibt die Anzahl der jährlichen Schließungen wieder, wobei zwischen Schließungen aufgrund einer Sturmflut (schwarz) und aufgrund von Themsehochwasser bzw. einer Kombination aus beiden (grau) unterschieden wird.

Bemerkenswert sind die Jahre 2001 und 2003, in denen das Sperrwerk 24 bzw. 19 Mal geschlossen wurde, meistens aufgrund der Kombi-

nation von Tide und Oberwasser. Das Auftreten hoher Oberwasserabflüsse ist deutlich zufälliger und somit schwieriger vorherzusagen (LAVERY & DONOVAN 2005).

#### 9.4 Sicherheitsstandard und Meeresspiegelanstieg

Der derzeitige Sicherheitsstandard für die Themse beruht auf den in den 1960er und 70er Jahren durchgeführten Berechnungen und basiert auf einem aus der Sturmflut von 1953 abgeleiteten „Worst-Case-Scenario“. Der Sicherheitsstandard beträgt 1:1.000 im Jahre 2030. In diesem Sicherheitsstandard sind sowohl die Einflüsse der Gezeiten als auch des Oberwassers der Themse berücksichtigt.

**Sicherheitsstandard:  
1:1.000**

Zudem wird ein jährlicher Meeresspiegelanstieg von 8 mm/Jahr bzw. von bis zu 75 cm/Jahrhundert einkalkuliert (LAVERY & DONOVAN 2005; [www.environment-agency.gov.uk](http://www.environment-agency.gov.uk)).

**Kalkulierter Meeresspiegelanstieg:  
8 mm / Jahr**

### **9.5 Zukünftige Entwicklung: „Thames Estuary 2100“**

Durch den Klimawandel nehmen die bestehenden Risiken mit der Zeit zu, so dass der Sicherheitsstandard abnimmt. Zudem ist der Entwicklungsdruck in der Metropolregion London – und damit der Landbedarf – sehr hoch. Aus diesen Gründen arbeitet die Umweltbehörde seit 2004 an einem langfristigen Plan namens „Thames Estuary 2100“, der bis 2010 fertig gestellt wurde. Bereits fest steht, dass der bestehende Sicherheitsstandard von 1:1.000 beibehalten werden soll. Das bedeutet, dass die Küstenschutzmaßnahmen unter der Maßgabe des steigenden Meeresspiegels ausgebaut werden müssen, um den bestehenden Sicherheitsstandard halten zu können. Darüber hinaus sollen als Kernpunkte des Planes festgelegt werden, welche Küstenschutzmaßnahmen im Themseästuar an welchen Orten und zu welchen Zeitpunkten im kommenden Jahrhundert notwendig werden. Besondere Betrachtungsschwerpunkte liegen daher auf dem Klimawandel und der Entwicklung der Meeresspiegelstände. So rechnet man

bis zum Jahr 2080 mit um 120 cm höher auftretenden Extremereignissen als heute. Des Weiteren sind europäische Richtlinien wie Wasserrahmenrichtlinie, Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie und Vogelschutz-Richtlinie einzuarbeiten (FUTURE WATER 2008; LAVERY & DONOVAN 2005).

### **9.6 Fazit**

Gesetzliche Grundlage für den Sturmflutschutz an der Themse bildet das „THAMES BARRIER AND FLOOD PREVENTION ACT“ von 1972. Für die Metropolregion London wurde für den derzeitigen und zukünftigen Hochwasserschutz ein Sicherheitsstandard von 1:1.000 festgelegt. Die dazugehörigen Bemessungswasserstände werden statistisch ermittelt.

Wichtigstes Bauwerk ist das Themsesperrwerk, welches den Sicherheitsstandard für die Londoner City gewährleistet. Da dieses für einen Betrieb bis ins Jahr 2030 ausgelegt wurde, ist mit dem Programm „Thames Estuary 2100“ bereits eine Strategie für die Zeit danach in Vorbereitung, deren Konzipierung bis zum Jahr 2010 abgeschlossen wurde.

## 10 DÄNEMARK

### 10.1 Geographischer Überblick

Die dänische Küstenlinie ist insgesamt 7314 km lang, wovon allerdings lediglich ca. 580 km auf die Nordseeküste entfallen. Zwischen Skagen und der Halbinsel Skallingen (nordwestlich von Esbjerg gelegen) ist die dänische Nordseeküste eine Ausgleichsküste; Nehrungen trennen ehemalige Buchten von der Nordsee ab, die somit zu Strandseen wurden. Die gesamte Küste wird von Dünen oder Steilküsten gesäumt und ist größtenteils erosionsgefährdet. Die Erosionsraten können ohne durchgeführte Küstenschutzmaßnahmen ortsbedingt 1 bis 8 m/Jahr betragen. Südlich von Skallingen wird die Ausgleichsküste durch ein System von vorgelagerten Barriereinseln mit Rückseitenwatten abgelöst, was sich im Bereich der schleswig-holsteinischen Westküste fortsetzt. Zu erklären ist der Übergang von einer Ausgleichsküste in eine Küste mit Barriereinseln durch den zum Inneren der Deutschen Bucht gerichteten Sedimentausgleichsstrom (nördlicher Teil des Wattenmeers).

### 10.2 Juristische Grundlagen

#### 10.2.1 Küstenschutzgesetz

Das dänische Parlament verabschiedete im Jahr 1988 ein Gesetz für den Küstenschutz, für dessen Umsetzung und Durchführung das Kystdirektoratet (Danish Coastal Authority – DCA) verantwortlich ist. Dieses Gesetz soll eine verbesserte Koordination des Küstenschutzes mit anderen Küstenaktivitäten sowie die Integration naturschutztechnischer Belange in ein Erosionsmanagement gewährleisten.

Das Küstenschutzgesetz ermächtigt die Kommunen, Küstenschutzmaßnahmen durchzuführen.

Ein unmittelbares Recht für Eigentümer auf Schutz ihres Besitzes durch Küstenschutzmaßnahmen lässt sich hierdurch allerdings nicht ableiten. Grundsätzlich hat derjenige die Verantwortung für Bau und Unterhalt von Küstenschutzmaßnahmen zu tragen, der davon profitiert. Für den Bereich der Nordseeküste gibt es allerdings zwei Ausnahmen: Für den Bereich der zentralen Westküste Dänemarks wurde ein spezieller Masterplan aufgestellt, um der besonders hohen Belastung der Küste Rechnung zu tragen. Einen weiteren Sonderstatus nimmt – ebenfalls aufgrund extremer Bedingungen und des daraus resultierenden öffentlichen Interesses – die dänische Wattenmeerküste ein. Hier müssen Deichverbände und die Gemeinden die Initiative ergreifen, die erforderlichen Küstenschutzmaßnahmen werden durch eine Mischfinanzierung von Gemeinden und Staat getragen. Diese Sonderfälle werden an späterer Stelle genauer erläutert.

Zu bemerken ist, dass mit der Kommunalreform vom 1. 1. 2007 die Zuständigkeit für den Küstenschutz von den bisherigen Ämtern auf die neuen Gemeinden überging. Im Zuge dieser Reform wurden die bis dahin bestehenden 13 Ämter und 270 Gemeinden durch fünf Regionen und 98 Gemeinden ersetzt. Damit einhergehend wurde das Küstenschutzgesetz aktualisiert. In die neue Fassung wurden erstmals Gründe für die Notwendigkeit von Küstenschutzmaßnahmen aufgenommen. Sollten die Kommunen keine ausreichende fachliche Kompetenz haben, um Küstenschutzmaßnahmen durchzuführen, kann das Kystdirektoratet zur Unterstützung herangezogen werden.

### 10.2.2 Durchführung von Küstenschutzmaßnahmen

Das dänische Küstenschutzgesetz sieht vor, dass die Initiative zum Bau einer Küstenschutzmaßnahme entweder von Privatleuten oder der Gemeinde oder auch beiden zusammen ausgeht. Diese beantragen den Bau der geforderten Maßnahme, der anschließend vom Kystdirektorat auf Vereinbarkeit mit dem Küstenschutzgesetz überprüft wird. Die Küstenschutzmaßnahmen müssen folgende Kriterien erfüllen:

- Notwendigkeit der Maßnahme, d.h. erhebliche Werte im Hinterland müssen durch Erosion oder Sturmflutwasserstände innerhalb von 25 Jahren bedroht sein.
- Naturschutz, insbesondere der natürlichen Entwicklung der Küste, wird hohe Priorität beigemessen.
- Erosionsverhindernde Maßnahmen sollen prinzipiell nicht an unbesiedelten Küstenabschnitten (inklusive Sommerhausgebieten) ausgeführt werden.
- Bereits vorhandene und durch den Bau nicht mehr erforderliche Küstenschutzbauwerke müssen vollständig zurückgebaut werden
- Küstenschutzbauwerke sind technisch zu optimieren und in die Landschaft einzupassen

An der jütländischen Westküste wurden bis in die 1970er Jahre ausschließlich „harte“ Küstenschutzmaßnahmen (Buhnen und Wellenbrecher) gebaut; „weiche“ Küstenschutzmaßnahmen, besonders Strandvorspülungen, setzten sich seit den 1980er Jahren als hauptsächliche Küstenschutzmaßnahme gegen Erosion durch (VESTKYSTEN '08).

### 10.3 Bemessung

#### 10.3.1 Sicherheitsstandards

In diesem Kapitel wird das in Dänemark allgemein gängige Vorgehen bei der Bemessung von Küstenschutzmaßnahmen geschildert, während in Abschnitt 10.4 auf den Bereich der Westküste eingegangen wird, der einem zentralen Management unterliegt.

Die Bemessung der dänischen Küstenschutzmaßnahmen erfolgt statistisch über ein Extremwertverfahren. Die Sicherheitsstandards entlang der dänischen Küsten sind allerdings uneinheitlich und nicht per Gesetz definiert. Vielmehr fließen Aspekte von Kosten und Nutzen in die Bemessung von Küstenschutzmaßnahmen ein, womit auch das zu schützende Hinterland eine maßgebende Rolle spielt. Einige Beispiele sind in Tab. 18 wiedergegeben.

Ort	Sicherheitsstandard
Thyborøn	1:1.000
Sonstige zentrale Westküste	1:100
Wattenmeer bei Ribe	1:200
Wattenmeer Grenzdeich zu Deutschland	1:500
Übriges Wattenmeer	Je nach zu schützenden Werten, minimal 1:50
Übrige Küste	Je nach zu schützenden Werten, minimal 1:50

Tab. 18: Sicherheitsstandards an der dänischen Nordseeküste

Grundsätzlich obliegt es demjenigen für die Finanzierung einer Küstenschutzmaßnahme aufzukommen, der den Nutzen davon trägt. Demzufolge richtet sich der Sicherheitsstandard oft nach den finanziellen Möglichkeiten. Ausnahmen stellen die durch Mischfinanzierung von Staat und Gemeinden erstellten Küstenschutzmaßnahmen der zentralen Westküste und der Wattenmeerküste dar. Der dänische Küstenschutz ist somit als eingeschränkt risikobasierter Ansatz zu beschreiben; eine flächendeckende Vulnerabilitätsanalyse wurde bisher nur im Rahmen des COMRISK-Projektes für einen Deichabschnitt bei Ribe durchgeführt.

Es gibt keinen gesetzlichen Mindestsicherheitsstandard. Durch den 1990 eingerichteten staatlichen Sturmflutfonds können Sturmflutbetroffene finanzielle Entschädigungen erhalten. Diese Zahlungen sind an folgende Bedingungen geknüpft:

- Orkanartige Winde
- Wasserstände mit einer statistischen Wiederkehrperiode von 20 Jahren
- Überflutungen in einem größerem Bereich
- Außergewöhnlich hohe Wellen

Somit ergibt sich eine indirekte Mindestforderung an Küstenschutzbauwerke, einer 20-jährigen Sturmflut standhalten zu können, um so Ansprüche an den Sturmflutfonds geltend machen zu können. Einen weiteren Fonds zur Finanzierung von Küstenschutzmaßnahmen richtete das Kystdirektoratet im Jahr 2008 ein, der umgerechnet etwa ½ Mrd. € umfasst. Die Mittel des Fonds werden ausschließlich für Sanierungsarbeiten, Neu- oder Rückbaumaßnahmen der Küstenschutzbauwerke verwendet.

### 10.3.2 Bemessungswasserstände

Im Jahr 2007 haben das Kystdirektoratet und das dänische Transportministerium die jüngste Version ihrer „Hochwasserstatistiken“ veröffentlicht, welche die Berechnung von Extremwasserständen für 55 dänische Pegel beinhaltet (s. Abb. 9). Dieser Bericht erscheint alle fünf Jahre und dient als Basis für die Bemessung von Küstenschutzmaßnahmen. Die Ergebnisse basieren ausschließlich auf Pegelmessreihen, deren Zeitreihen zwischen 11 und 133 Jahre in die Vergangenheit zurückreichen (HØJVANDS-STATISTIKKER 2007).

Der höchste Pegelstand während eines Sturmes wird als Extremwert bezeichnet, wenn er einen bestimmten Grenzwert am jeweiligen Pegel überschreitet. Bei besonders langen Stürmen mit mehreren Scheitelwerten müssen mindestens 36 Stunden zwischen zwei Scheiteln liegen, damit diese einzeln aufgenommen werden dürfen. Aus der Reihe der Extremwerte werden die Statistiken in Form einer „Points over Threshold“-Analyse (POT) unter Benutzung der „x3m S-Plus“-Software berechnet. Die Pegel werden in lokale Gruppen zusammengefasst, innerhalb derer angenommen wird, dass die Extremwerte derselben Verteilung folgen. Für Wattenmeer und Limfjord werden die besten Ergebnisse mit einer Log-Normal-Verteilung erreicht, während für die an der offenen Küste gelegenen Pegel mit der Weibull-Verteilung gearbeitet wird.

Für jeden Pegel werden die Extremwasserstände mit Eintrittswahrscheinlichkeiten von 20, 50 und 100 Jahren bestimmt. Grundsätzlich lassen sich Extremwasserstände mit praktisch jeder Eintrittswahrscheinlichkeit errechnen, allerdings

wird von Angaben zu Jährlichkeiten, welche über die Dauer von 500 Jahren hinausgehen aufgrund der hohen Streuung abgesehen. Die Statistiken berücksichtigen weder zukünftige Landsenkungen oder Landhebungen noch den Meeresspiegelanstieg (HØJVANDSSTATISTIKKER 2007).

### 10.3.3 Meeresspiegelanstieg

In den Hochwasserstatistiken werden als zu berücksichtigenden Meeresspiegelanstieg die Werte aus dem IPCC-Report übernommen, die 10 bis 20 cm bis 2050 und 18 bis 59 cm bis 2100 veranschlagen (HØJVANDSSTATISTIKKER 2007).



Abb. 9: Für die Nordsee relevante Pegel aus den „Hochwasserstatistiken“. Die roten Werte geben 50-jährige Extremwasserstände an, dunkelblaue Punkte stehen für Orte mit guter Messdatenlage, hellblaue für Orte mit unsicherer Datenlage aufgrund kürzerer oder lückenhafter Messreihen (< 15 Jahre) (HØJVANDSSTATISTIKKER 2007)

**Kalkulierter Meeresspiegelanstieg:**  
**8 mm / Jahr**

### 10.4 Beispiel Managementplan Westküste

Ein 110 km langer Abschnitt der Westküste unterliegt einer zentralen Planung. Die hierfür erforderliche Zusammenarbeit zwischen Staat, dem damaligen Amt Ringkøbing und den fünf betroffenen Kommunen Thyborøn-Harboøre, Lemvig, Ulfborg-Vemb, Ringkøbing und Holmsland geht auf das Jahr 1981 zurück. Auslöser war die Sturmflut vom 24.11.1981, welche für die dänische Westküste die schwerste der letzten 80 bis 100 Jahre war. Stellenweise gingen bis zu 15 m Küste verloren. Die seit den 1980er Jahren deutlich zunehmende Anzahl von Sturmfluten an der Westküste Jütlands ließ die Aufstellung eines Masterplanes als Grundlage für einen intensiveren Küstenschutz umso dringlicher erscheinen, zumal die zentrale Westküste einer besonders hohen Belastung unterliegt und erhebliche Werte bedroht sind. Das Planungsdokument für den zentralen Bereich der dänischen ist der Managementplan „VESTKYSTEN '08“ (s. Abb. 10; VESTKYSTEN '02; VESTKYSTEN '08).

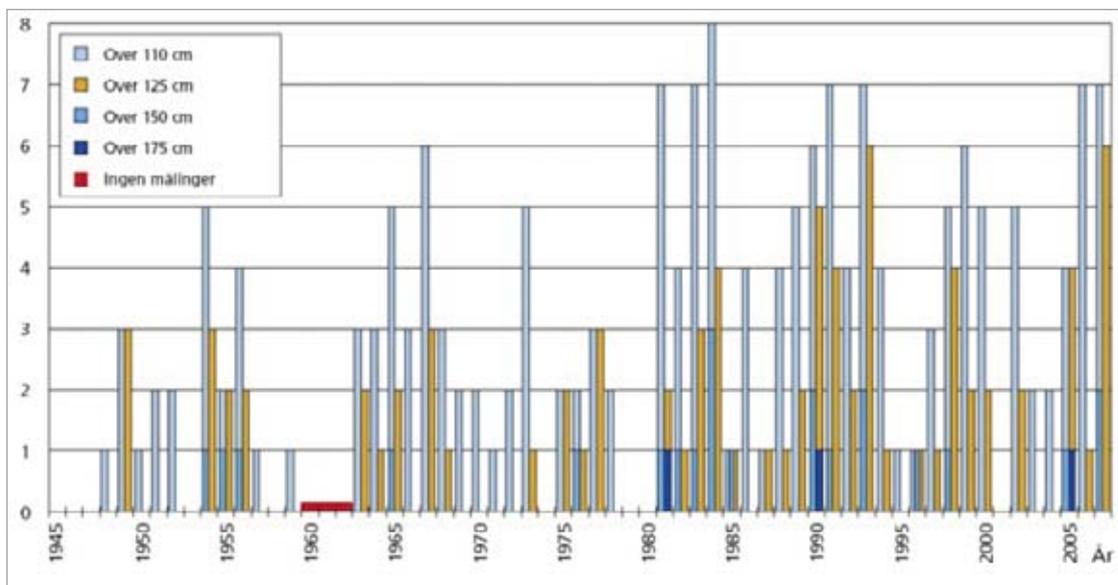


Abb. 10: Sturmflutereignisse in Thyborøn in den Jahren 1945 bis 2000 (VESTKYSTEN '08)

Seit Inkrafttreten der zentralen Planung wurde der Küstenschutz erheblich ausgebaut. Der Großteil der hierfür notwendigen Gelder wurden vom Staat bereitgestellt (s. Abb. 11, blaue Signatur), ein kleinerer Teil stammt vom Amt Ringkøbing bzw. den Kommunen (rote Signatur) (VESTKYSTEN '02)

#### 10.4.1 Sicherheitsstandard

Der der zentralen Planung unterliegende, etwa 110 km lange Abschnitt an der dänischen Westküste wurde in neun Hauptabschnitte unterteilt, die ihrerseits wiederum aus Teilabschnitten bestehen. Haupt- und Teilabschnitte wurden in Bezug auf Erosionsgefährdung und Überflutungsgefahr untersucht. In ihrem derzeitigen Bauzustand

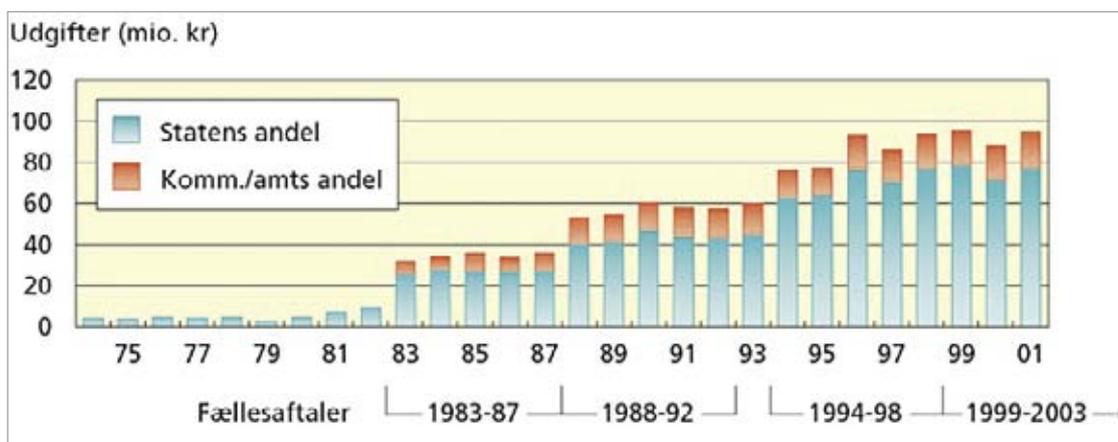


Abb. 11: Staats- und Kommunalanteil an den Ausgaben für den Küstenschutz an der Westküste (VESTKYSTEN '02)

soll die Küste gegen Wasserstände bis zu einer 100-jährigen Eintrittswahrscheinlichkeit geschützt werden. Die Küstenschutzbauwerke in Thyborøn sind sogar für 1.000-jährige Pegelstände ausgelegt, da die Gefahr am Thyborøn-Kanal, der die Nordsee mit dem Limfjord verbindet, besonders hoch ist (VESTKYSTEN '08).

**Sicherheitsstandard:  
1:100 +  
Thyborøn 1:1.000**

#### 10.4.2 Meeresspiegelanstieg

Im Plan VESTKYSTEN '08 wird ein Meeresspiegelanstieg von 42 cm bis zum Jahr 2100 veranschlagt. Er resultiert aus dem Mittelwert zugrunde gelegter Studien, die einen Anstieg von 15 bis 75 cm prognostizieren.

**Kalkulierter Meeresspiegelanstieg:  
29 bis 34 cm bis 2100**

#### 10.4.3 Heutiger Stand an der Westküste

Die Sandvorspülungen zeigen deutliche Wirkung. Gingen früher bis zu 2 m/Jahr verloren, ist die Küste heute überwiegend stabil. Auch der vorgegebene Schutzstandard von 1:100 ist erfüllt bzw. vielerorts sogar übertroffen; erst in etwa 20 Jahren (gerechnet ab 2003) kann das Sicherheitsniveau von 1:100 unterschritten werden, wenn die vorgenommenen Küstenschutzmassnahmen im jeweiligen Küstenabschnitt unverändert bleiben. Wo die vorhandenen Dünen nicht ausreichen, wurden Deiche und Küstenlängs- und Querbauwerke gebaut (VESTKYSTEN '08).

Zudem wurden an der dänischen Westküste „kritische Wasserstände“ definiert, die zwischen 2,80 m und 3,20 m liegen. Die Zeit bis zum Erreichen der kritischen Wasserstände wurde in drei Bereitschaftsgrade unterteilt, mit denen ein Katastrophenmanagement sichergestellt werden soll. Dabei wird eine Stunde vor Erreichen des kritischen Wasserstandes als letzter Bereitschaftsgrad die „Alarmbereitschaft“ ausgerufen, was normalerweise die Evakuierung der Bevölkerung beinhaltet. Ein ähnliches System gibt es auch für die Wattenmeerküste ([www.kyst.dk](http://www.kyst.dk)).

#### 10.5 Fazit

Das dänische Küstenschutzgesetz ermächtigt die Kommunen, Küstenschutzmaßnahmen durchzuführen, einen Anspruch der Anlieger auf Küstenschutz lässt sich aber daraus nicht ableiten. Die Kosten der Maßnahmen hat grundsätzlich derjenige zu tragen, der davon profitiert. Mit Ausnahme eines 110 km langen Abschnittes an der Westküste gibt es kein einheitliches Konzept für das Küstenmanagement.

Die Sicherheitsstandards der Küstenschutzanlagen variieren zwischen 1:50 und 1:1.000. Als Bemessungsgrundlage wird alle fünf Jahre ein Bericht veröffentlicht, der die Extremwasserstände mit Eintrittswahrscheinlichkeiten von 1:20, 1:50 und 1:100 für insgesamt 55 verschiedene dänische Pegel beinhaltet, deren Ermittlung auf statistischen Methoden basiert.

# ANHANG

## NL - 1 DAS BEMESSUNGSVERFAHREN IN DEN NIEDERLANDEN

Im folgenden Anhang werden detaillierte Angaben zu den Sicherheitsstandards sowie der Bestimmung der hydraulischen Randbedingungen und der Bemessungswasserstände in den Niederlanden gemacht.

### NL - 1.1 Sicherheitsstandard

Der Sicherheitsstandard wird dem niederländischen Küstenschutzgesetz entsprechend als jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeit der höchsten Wasserstände, denen die Deiche standhalten können müssen, definiert. Weiter differenziert wird im niederländischen Küstenschutz zwischen Überschreitungswahrscheinlichkeit und Überströmungswahrscheinlichkeit.

Die Überschreitungswahrscheinlichkeit bezieht sich auf einen Deichabschnitt. Sie entspricht der Wahrscheinlichkeit, dass ein Deich für einen Extremwasserstand nicht hoch genug ist. Ein solcher Wasserstand überschreitet somit den Bemessungswasserstand, für den der Deich dimensioniert ist. In den Niederlanden werden Küstenschutzmaßnahmen auf der Basis von Überschreitungswahrscheinlichkeiten entworfen. So bedeutet beispielsweise eine Überschreitungswahrscheinlichkeit von 1:2.000, dass der Deich hoch genug sein muss, um allen Kombinationen aus Wasserstand und Wellen standhalten zu können, die eine Wahrscheinlichkeit von 1:2.000 pro Jahr haben. Theoretisch kann demzufolge nur ein noch höherer (und weniger wahrscheinlicher) Wasserstand zum Überströmen des Deiches führen.

Die Überströmungswahrscheinlichkeit bezieht sich auf den gesamten Deichring. Mit ihr wird

die Wahrscheinlichkeit bezeichnet, dass ein Deichring überflutet wird. Daher sind neben den hydraulischen Bedingungen auch Höhe und Standsicherheit des Deiches in der Überströmungswahrscheinlichkeit enthalten. So bedeutet eine Überströmungswahrscheinlichkeit von 1:1.000 pro Jahr, dass jedes Jahr eine Wahrscheinlichkeit von 0,01 % besteht, dass der Deich überströmt wird, was allerdings nicht heißt, dass dies auch passieren muss. Bezeichnend für die Überströmungswahrscheinlichkeit ist, dass in ihr verschiedene Versagensmöglichkeiten enthalten sind.

Somit entspricht die Überschreitungswahrscheinlichkeit einer Wahrscheinlichkeit, dass ein bestimmter Wasserstand eintritt, während die Überströmungswahrscheinlichkeit etwas über die Stärke der Küstenschutzmaßnahme aussagt. Sie beinhaltet somit nicht wie die Überschreitungswahrscheinlichkeit lediglich extrem hohe Wasserstände, sondern zusätzlich noch andere Versagensmechanismen wie die Stabilität des Deiches oder das versehentliche Offenlassen von Sieltoren. Die Überschreitungswahrscheinlichkeit ist Bestandteil der Überströmungswahrscheinlichkeit. Folglich ist die Überströmungswahrscheinlichkeit, wenn die Deiche ihre Sollhöhe haben, kleiner als die Überschreitungswahrscheinlichkeit. Der Aufwand für diese Art der Bemessung ist sehr hoch, weshalb auf die Überschreitungswahrscheinlichkeit zurückgegriffen wird.

### NL - 1.2 Bemessungswasserstände

In den Niederlanden wird bei der Ermittlung eines Bemessungswasserstandes unterschieden, ob er der turnusmäßigen Überprüfung bereits

bestehender Küstenschutzmaßnahmen dient, oder ob neue Küstenschutzbauten entworfen werden.

### **NL - 1.2.1 Überprüfung des Sicherheitsstandards**

Für die gemäß Artikel 4 des niederländischen Küstenschutzgesetzes alle fünf Jahre vorgeschriebene Überprüfung der Küstenschutzmaßnahmen ist ein umfangreiches Prüfschema entwickelt worden, welches je nach Lage und Art der Küstenschutzmaßnahmen variiert. Sämtliche Einzelelemente einer Küstenschutzmaßnahme werden auf ihren Sicherheitsstandard überprüft. Diese Überprüfung erfolgte erstmals 1996, derzeit läuft die dritte Überprüfung. Grundlage der laufenden Überprüfung 2006–2011 sind zwei Dokumente, anhand deren das Verfahren durchgeführt wird (HR 2006; VTV 2006):

- Hydraulische Rahmenbedingungen für primäre Küstenschutzmaßnahmen (HR 2006: Hydraulische Randvoorwaarden primaire Waterkeringen)
- Vorschrift zur Sicherheitsüberprüfung primärer Küstenschutzmaßnahmen (VTV 2006: Voorschrift Toetsen op Veiligheid primaire Waterkeringen)

Zur Bestimmung der hydraulischen Rahmenbedingungen wird angenommen, dass Wasserstände und Windgeschwindigkeiten zu einem großen Teil, aber nicht vollständig miteinander korrelieren. Grundsätzlich können Extrembelastungen einer Küstenschutzmaßnahme aus unendlich vielen Kombinationen aus Wasserstand und Wind resultieren, wobei nicht jede Kombination dieselbe Eintrittswahrscheinlichkeit hat. Die Anwendung dieses probabilistischen Ansatzes

soll dem möglichen Auftreten verschiedenster Kombinationen Rechnung tragen (HR 2006).

Die Bestimmung bzw. Modellierung der hydraulischen Rahmenbedingungen für harte Küstenschutzmaßnahmen<sup>5</sup> für jeden Ort der niederländischen Küste erfolgt mit einem probabilistischen Computermodell namens Hydra-K. Erforderlich hierfür sind Kenntnisse über Wasserstände und Seegang an einzelnen (Pegel-) Orten. Für die übrigen, zwischen den Pegeln gelegenen Orte werden die hydraulischen Rahmenbedingungen durch nichtlineare Interpolation der Wasserstände an den benachbarten Pegeln ermittelt. Eine Ausnahme bildet hier die Oosterschelde, für die aufgrund ihrer besonderen Anlage mit dem Oosterscheldesperrwerk ein gesondertes Computermodell genutzt wird (HR 2006).

In der Vergangenheit wurden verschiedene Verfahren angewendet, um Küstenschutzmaßnahmen zu entwerfen, was dazu führte, dass die Methode zur Ableitung der hydraulischen Rahmenbedingungen von Ort zu Ort variierte. In 2006 wurde erstmal ein einheitliches System zu deren Bestimmung an Nordsee und den Ästuaren eingeführt, lediglich das Wattenmeer ist ausgenommen. Hier wird zunächst eine Wellenmesskampagne durchgeführt, um auch dort die Methode in abgewandelter Form anwenden zu können (HR 2006).

#### **NL - 1.2.1.1 Basiswasserstände**

Zur Ermittlung des lokal gültigen Bemessungswasserstandes wird zunächst für neun Pegel an der niederländischen Küste ein „Basiswasserstand“ bestimmt. Dieser entspricht einem Wasserstand, der eine Überschreitungswahr-

<sup>5</sup> Beispiele für harte Küstenschutzmaßnahmen sind Deiche, Buhnen, Ufermauern, Deckwerke und Sperrwerke während mit weichen Küstenschutzmaßnahmen vor allem Sandvorspülungen sind.

scheinlichkeit von 1:10.000 pro Jahr hat. Bei der Ermittlung der Basiswasserstände werden – einem probabilistischen Ansatz folgend – folgende Faktoren mit einbezogen (HR 2006):

- Pegelmessdaten: Diese bestehen aus Abfolgen von Pegeldata über einen möglichst langen Zeitraum. Von den Hochwasserständen wird das zugehörige astronomische Hochwasser abgezogen, wodurch der Windstau bestimmt wird. Die Auswahl der Hochwasserstände wird mittels des Windstaus getroffen, um eine homogene und unabhängige Reihe zu gewährleisten.
- Zur Ermittlung des Basiswasserstandes werden zwei Herangehensweisen unterschieden:

1. Erstellen einer Extremwertverteilung, die durch Beobachtungen angepasst wird. Hierfür erforderlich sind Pegel mit relativ langen Messreihen (s. Tab. 19).

2. Ableitung von Beziehungen während extremer Hochwasserständen zwischen dem Pegel in Hoek van Holland und den anderen acht Pegeln mit Hilfe hydrodynamischer Computermodelle. Ein Datensatz wird durch die simulierte Manipulation dreier Stürme in den 1980er Jahren sowie des Sturmes von 1953 (für Vlissingen) erstellt. Die Manipulation besteht aus der Vergrößerung des Windfeldes sowie der Verschiebung der Tide. Ein zweiter Datensatz wird auf Basis der Simulation mit der räumlichen Verschiebung sowie erhöhten Windgeschwindigkeiten des Sturmes von 1953 erzeugt. Ausgehend vom Basiswasserstand im zentral gelegenen Hoek van Holland können anhand der zwei Datensätze mit einer statistischen Untersuchung

für die anderen acht Pegel Bezugslinien hergestellt werden.

Die Basiswasserstände für die neun Pegel werden als gemittelte Durchschnittswerte aus der Extremwertverteilung und den zwei Sätzen Bezugslinien berechnet. Sie sind in Tab. 19 wiedergegeben. Anhand der Bezugslinien zwischen den Pegeln mit bereits ermitteltem Basiswasserstand und anderen Pegeln und Modellpunkten wird mit einem hydrodynamischen Modell die räumliche Ausfüllung der Basiswasserstände entlang der gesamten niederländischen Küste vorgenommen. Für zwischen den Pegeln liegende Orte wird interpoliert (HR 2006).

Pegel	Basispeil 1985
Terneuzen	NN + 6,00 m
Hansweert	NN + 6,25 m
Vlissingen	NN + 5,45 m
Hoek van Holland	NN + 5,00 m
IJmuiden	NN + 5,10 m
Den Helder	NN + 4,40 m
Harlingen	NN + 5,00 m
Delfzijl	NN + 6,15 m
West Terschelling	NN + 4,30 m

Tab. 19: Basiswasserstände an der niederländischen Küste, die eine Überschreitungswahrscheinlichkeit von 1:10.000 haben (HR 2006)

Mit Hilfe der Basiswasserstände der Pegel und der aus den Messdaten abgeleiteten Werte werden Überschreitungslinien bestimmt. Aus diesen Überschreitungslinien wiederum werden Wasserstände mit anderen Überschreitungswahrscheinlichkeiten als 1:10.000 errechnet. Diese werden „Entwurfswasserstände“ genannt. Die Basiswasserstände mit ihren zugehörigen Überschreitungslinien sowie die daraus abgeleiteten

Entwurfswasserständen beziehen sich auf das Referenzjahr 1985.

### NL - 1.2.1.2 Wellenauflauf bzw. -überlauf

Für den Seegang werden mit der Wellenhöhe, der Wellenperiode und dem Winkel, mit dem die Wellen auf die Küste treffen, spezielle Wellenrahmenbedingungen bestimmt: Die hierfür erforderlichen Messdaten werden in relativ tiefem Wasser vor der Küste (ca. 20 m) gewonnen. Die Entwicklung der Wellen in flachem Wasser wird sodann mit dem numerischen Wellenmodell „SWAN“ (Simulating WAVes Nearshore) modelliert. Für die Modellierung der Seegangsentwicklung sind Kenntnisse über die Beschaffenheit des Meeresbodens – besonders direkt vor der Küste – von großer Bedeutung.

### NL - 1.2.1.3 Prüf- und Rechenwasserstand

Die eigentliche Überprüfung der primären Küstenschutzmaßnahmen ist von der Beschaffenheit der Küste bzw. der Küstenschutzmaßnahmen abhängig. Bei starren Küstenschutzmaßnahmen geschieht dies anhand des „Prüfwasserstandes“; bei Dünen mittels des empirisch aus dem Prüfwasserstand abgeleiteten „Rechenwasserstand“. Ausgangspunkt für beide ist der für das jeweilige Gebiet bzw. den geforderten Sicherheitsstandard errechnete Entwurfswasserstand (HR 2006; VTV 2006):

- Prüfwasserstand (für Deiche): Entwurfswasserstand + Anstieg des Mittleren Tidehochwassers; wird auf ganze dm aufgerundet.
- Rechenwasserstand (für Dünen): Prüfwasserstand +  $\frac{2}{3}$  der Differenz zwischen Prüfwasserstand und dem Wasserstand der 10mal geringeren Eintrittswahrscheinlichkeit des Prüfwasserstandes. Dies ist keine zusätzliche Si-

cherheitsmarge, sondern ein aus der Beurteilung der Dünenstandfestigkeit abgeleiteter Wert.

In der praktischen Anwendung werden Prüf- und Rechenwasserstand mit dem Rechenmodell HYDRA-K ermittelt, welches noch hinzuzufügende Zuschläge direkt mit einberechnet. Die Prüfwasserstände und Wellenrahmenbedingungen für einige Schlüsselorte in jedem Deichring sind in HR 2006 aufgelistet. Für dazwischen liegende Orte können daraus ebenfalls exakte Werte mit HYDRA-K berechnet werden.

### NL - 1.2.1.4 Wasserstandsverlauf an der Küste

Um den Wasserstandsverlauf während einer Sturmflut zu simulieren wird eine standardisierte Windstaukurve mit einer Dauer von 35 Stunden herangezogen (s. Abb. 12). Peil A entspricht dem gemittelten Wasserstand, Peil B dem Prüfwasserstand abzüglich dem mittleren Tidenhub für den betrachteten Ort. Der standardisierte Windstau wird so mit der Mittleren Tidekurve überlagert, dass der Zeitpunkt des Hochwassers der Mittleren Tidekurve mit dem Maximum des Windstaus zusammenfällt (HR 2006).

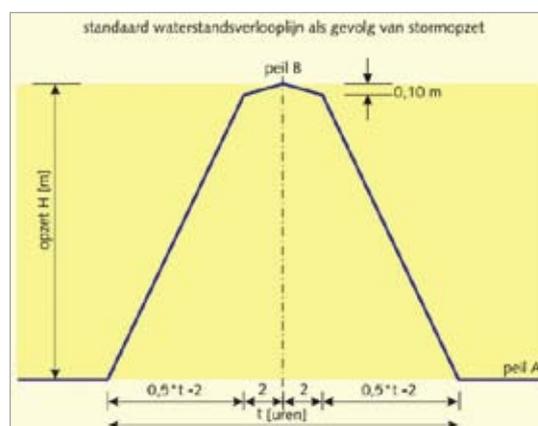


Abb. 12: Wasserstandsverlauf als Folge von Windstau (HR 2006)

### **NL-1.2.1.5 Unterläufe der Flüsse (Benedenrivieren)**

Für die Unterläufe von Rhein, Maas und Vechte<sup>6</sup> werden gesonderte Prüfungen angestellt, da hohe Wasserstände hier aus der Kombination hoher Abflüsse mit hohen Pegelständen in Hoek van Holland resultieren können. Auch der Stau durch Wind sowie der Betrieb der Sturmflutsperrwerke Maeslantkering und Hartelkering spielen eine Rolle. Grundsätzlich kann jeder Extremwasserstand aus einer Vielzahl an Kombinationen der genannten Einflüsse resultieren. Die Berechnungen der verschiedenen Möglichkeiten basieren auf neun verschiedenen Abflüssen, sechs Sturmflutwasserständen, 16 Windrichtungen und fünf Windgeschwindigkeiten, zwei Sperrwerkzuständen<sup>7</sup> sowie der jeweiligen Dominanz von Rhein<sup>8</sup> oder Maas.

Anhand einer probabilistischen Berechnung wird bestimmt, mit welcher Wahrscheinlichkeit pro Jahr ein bestimmter Wasserstand überschritten wird. Unterschieden wird zwischen einem Ereignis mit geringem und einem Ereignis mit hohem Abfluss. Bei geringem Abfluss wird die Häufigkeit von Sturmfluten kombiniert mit der Wahrscheinlichkeit eines Abflusses. Hieraus wird die Überschreitungshäufigkeit pro Jahr eines bestimmten Wasserstandes berechnet. Bei einem Ereignis mit hohem Abfluss wird der Verlauf des Abflusses betrachtet, wobei die Überschreitungswahrscheinlichkeit eines bestimmten Wasserstandes während der Zeit des hohen Abflusses bestimmt wird. Dies wird anhand von Häufigkeitslinien des Abflusses in eine jährliche

Überschreitungshäufigkeit umgerechnet (HR 2006).

Für die Berechnungen wird unterstellt, dass große Abflüsse und Sturmfluten unabhängig voneinander auftreten, während zwischen Sturmfluten und Windgeschwindigkeiten sehr wohl ein Zusammenhang besteht. Für alle Kombinationen der genannten Bedrohungen werden die Wasserstände mit dem eindimensionalen Wasserbewegungsmodell SOBEK berechnet. Die Berechnung der Werte zur Überprüfung der Höhen der Küstenschutzmaßnahmen erfolgt mit dem Computermodell HYDRA-B (HR 2006).

### **NL-1.2.1.6 Wasserstandverlauf Benedenrivieren**

Für die Simulation der Wasserstandsverläufe im Benedenrivierengebiet wird dieses in fünf Gebiete unterteilt, für die jeweils eine standardisierte Wasserstandsverlaufslinie gebildet wird (s. Teilgebiete 1 bis 5 in Abb. 13 bzw. die dazugehörigen Wasserstandsverlaufslinien 1 bis 5 in Abb. 14). Die Wasserstandsverlaufslinien basieren auf den standardisierten Abflusskurven für Rhein und Maas, welche die „maßgebenden Abflüsse“ enthalten. Mit maßgebender Abfluss wird ein Abfluss mit einer Überschreitungswahrscheinlichkeit von 1:1.250 pro Jahr bezeichnet (s. Abb. 15).

<sup>6</sup> Dieses Gebiet wird in den Niederlanden Benedenrivieren genannt.

<sup>7</sup> Entweder beide Sperrwerke geschlossen oder beide geöffnet

<sup>8</sup> Ein Fluss wird als dominant bezeichnet, wenn der Abfluss des anderen weniger als 50 % der Abflussrelation beträgt. Dies ist der Median der Abflüsse, die bei einem bestimmten Abfluss des dominanten Flusses erwartet werden.

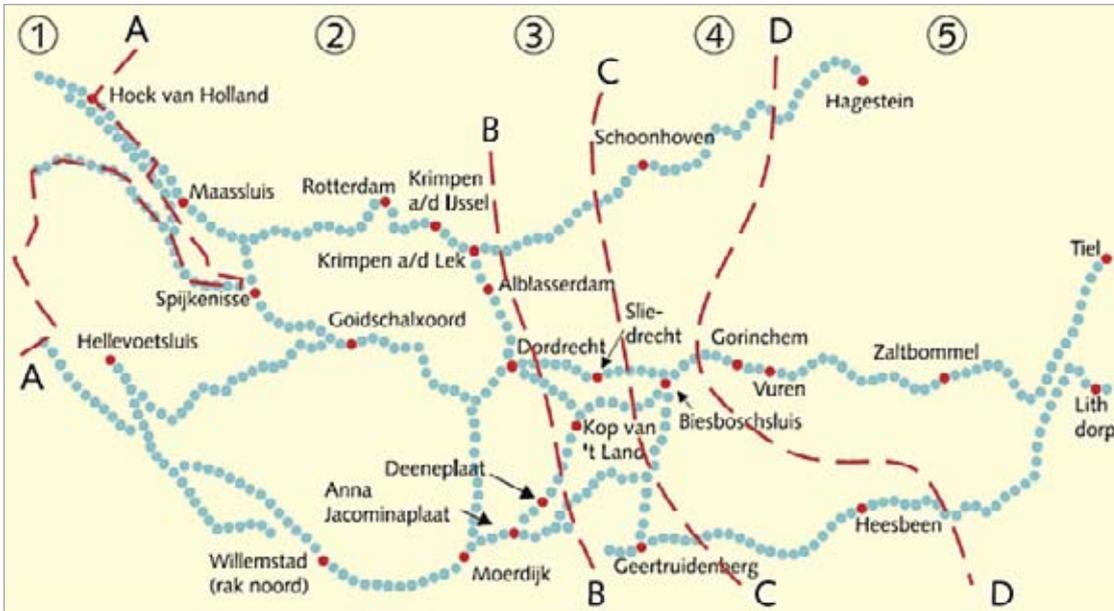


Abb. 13: Teilgebiete mit standardisierten Wasserstandsverläufen (HR 2006)

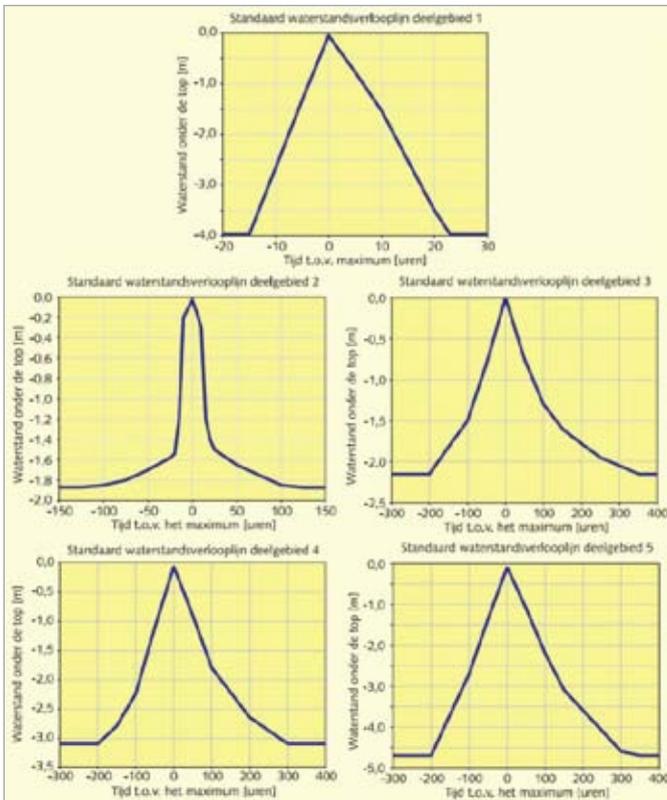


Abb. 14: Standardisierte Abflusskurven für die in Abb. 13 dargestellten Teilgebiete (HR 2006)

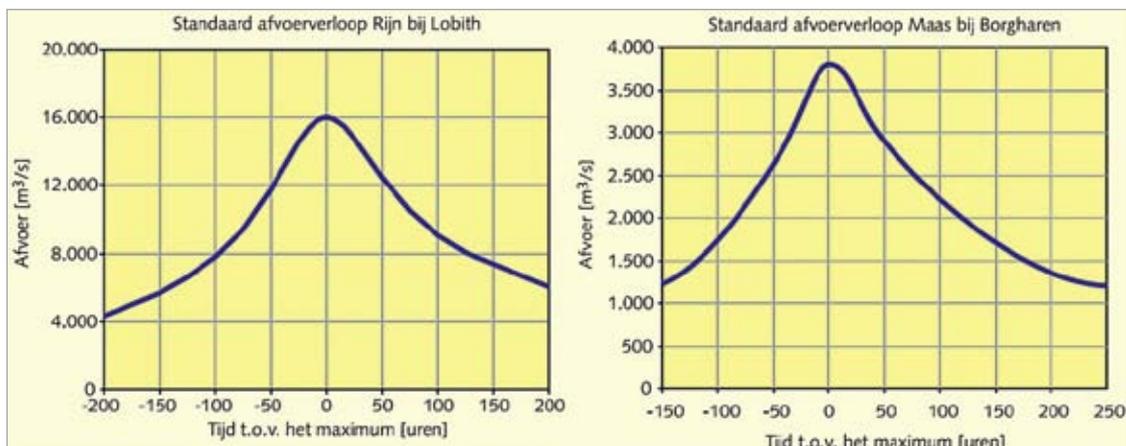


Abb. 15: Standardisierte Abflusskurven mit maßgebendem Abfluss (1:1.250 pro Jahr) für den Rhein in Lobith und die Maas in Borgharen (HR 2006)

### NL-1.2.2 Deichhöhe

Die Entwurfshöhe eines Deiches in den Niederlanden wird mit einem Einzelwertverfahren durch die Bildung der Summe aus folgenden Faktoren bestimmt (s. Abb. 16) (TAW 1999):

- (a) Maßgebender Hochwasserstand (MHW), entspricht dem Prüfwasserstand (resultiert aus gesetzlich vorgeschriebener Überschreitungswahrscheinlichkeit in Verbindung mit der beschriebenen deterministischen Modellierung und wird alle fünf Jahre aktualisiert)

- (b) Meeresspiegelanstieg über die jeweilige Planungsperiode
- (c) Zuschlag für Seiches, Windböen und -oszillationen sowie lokalen Stau
- (d) Wellenaufbauhöhe, die einem Überlauf von 1 l/m/s entspricht
- (e) Lokal erwartete Bodensenkung über die jeweilige Planungsperiode
- (f) Erwartete Setzung des Deiches durch Kompaktion des Deichkörpers über die jeweilige Planungsperiode

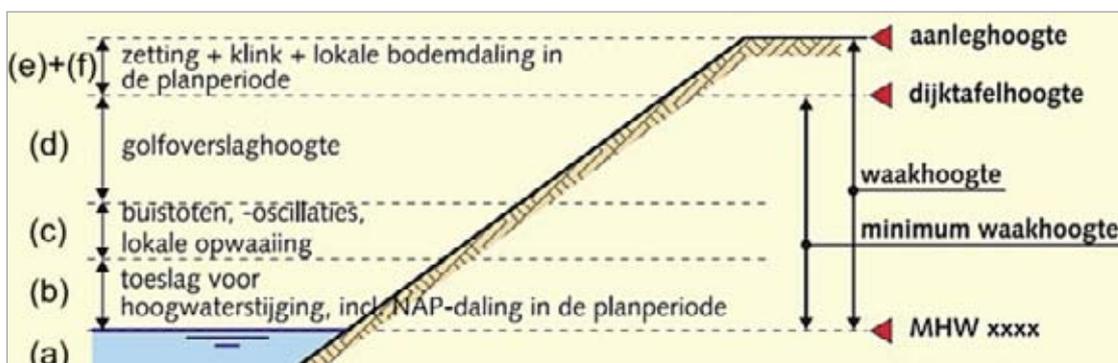


Abb. 16: Für die Entwurfshöhe eines Deiches relevante Größen (TAW 1999, verändert)

Die aufgeführten Größen (a), (b), (c) und (e) sind nicht weiter beeinflussbar. Die Wellenaufbauhöhe (d) hingegen ist abhängig von Winkel und Form der Außenböschung des Deiches sowie von der Morphologie des Vorlandes. Ebenfalls beeinflussbar sind zu erwartende Setzungen innerhalb des Deichkörpers (f).

Aus der Addition der Faktoren (b) bis (f) wird die „Waakhoogte“ (wörtlich etwa „Wachhöhe“) ermittelt (s. Abb. 16). Die „Waakhoogte“ darf niemals kleiner werden als die Summe aus (c) und (d), dies wird als „minimum Waakhoogte“ bezeichnet, wobei die Summe aus (c) und (d) einen Wert von 0,5 m nicht unterschreiten darf. Bemessungswasserstand (a) und „Waakhoogte“ ergeben somit die erforderliche Höhe des Deiches (TAW 1999).

## B-1 BELGIEN: KOSTEN-NUTZEN-ANALYSE FÜR DEN AKTUALISIERTEN SIGMAPLAN (SCHELDE)

### B-1.1 Evaluation der Maßnahmen

Für ein überarbeitetes Küstenschutzsystem für die Schelde standen verschiedene Kombinationen aus folgenden Maßnahmen zur Verfügung (BULCKAEN ET AL 2005; GAUDERIS ET AL. 2005):

- Erhöhung und Verstärkung der Deiche
- Bau eines Sturmflutsperrwerkes
  - Ein großes Sperrwerk unterhalb Antwerpens oder
  - Ein kleineres Sperrwerk in der Mündung des Nebenflusses Rupel
  - Mehr Raum für den Fluss, z. B. durch die
  - Anlage von Überflutungsflächen oder
  - Anlage von kontrolliert tidereduzierten Gebieten (GGG's)

Die für die Anlage von Überflutungsflächen geeigneten Areale entlang der Schelde und ihren Nebenflüssen belaufen sich insgesamt auf etwa 15.000 ha.

Die verschiedenen Küstenschutzkonzepte werden mithilfe einer Kosten-Nutzen-Analyse mit einer Referenzvariante verglichen. Diese Referenzvariante beruht auf dem baulichen Stand des ausgeführten, ursprünglichen Sigmaplans – allerdings ohne das Sperrwerk. Die optimale Lösung sollte auf der Schaffung eines Gleichgewichtes zwischen zusätzlichen Kosten zur Verwirklichung des höheren Sicherheitsstandards und erzielten Nutzen aus Einsparungen gegenüber der Referenzvariante werden. Tab. 20 zeigt die für die Kosten- bzw. Nutzenseite relevanten Bestandteile (BULCKAEN ET AL 2005; GAUDERIS ET AL. 2005):

Kosten	Nutzen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investitionskosten für die Küstenschutzmaßnahmen</li> <li>• Unterhalts- und Betriebskosten für die veranschlagte Lebensdauer von 100 Jahren</li> <li>• Kosten der mögl. Umsiedlung land- oder forstwirtschaftlicher Flächen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vermiedene Überflutungsrisiken</li> <li>• Vermiedene Investitionen</li> <li>• Natur und Erholung</li> </ul> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> <p>In monetäre Beträge umgerechnet!</p> </div>

Tab. 20: Für die Kosten-Nutzen-Analyse relevante Bestandteile

Die Überflutungsrisiken für die Schelde wurden mit einem hydrodynamischen 1D-Modell berechnet, welches den gesamten tidebeeinflussten Bereich des Scheldeinzugsgebietes inklusive aller Überflutungsflächen umfasst. Bei der Berechnung wird das gesamte Einzugsgebiet mit derselben Eintrittswahrscheinlichkeit betrachtet. Zusätzlich werden an den stromauf gelegenen Grenzen die zu berücksichtigten Oberwasserabflüsse miteinbezogen. Für jeden Entwurf wurde nach dieser Methode ein Satz von je 12 Karten erstellt, die den Stand der jeweiligen Eintrittsperiode ohne und mit Meeresspiegelanstieg von 60 cm (entsprechend für die Jahre 2000 und 2100) widerspiegeln (BULCKAEN ET AL 2005; GAUDERIS ET AL. 2005).

Durch Küstenschutzmaßnahmen werden Überflutungsrisiken vermieden (s. Tab. 20). Um dies in der Kosten-Nutzen-Analyse berücksichtigen zu können, müssen diese vermiedenen Überflutungsrisiken in Geldwerte umgerechnet werden, was unter Zuhilfenahme der Überflutungskarten geschieht. Nach dem Verfahren von NANNEUVILLE (2002) wird mit einer Funktion aus Landnutzung und Überflutungstiefe der Schaden pro Fläche ermittelt; mögliche Opfer werden durch eine Funktion von Fließgeschwindigkeit und Eintrittswahrscheinlichkeit eruiert. Das Durchschnittsrisiko [T] wird durch das Verhältnis Schaden/Eintrittswahrscheinlichkeit ausgedrückt. Diese Untersuchungen werden für die Jahre 2000 und 2100 durchgeführt.

Die Mehrkosten jeder analysierten Alternative gegenüber der Referenzvariante werden ermittelt, indem Investitions-, Wartungs- und Betriebskosten zuzüglich einer Sicherheitsreserve

von 15 % beginnend ab dem Jahr 2010 kalkuliert und mit denen der Referenzvariante abgeglichen werden. Die tatsächliche Dauer der Baumaßnahmen hängt allerdings von den jährlich bereitgestellten Mitteln ab und ist somit nur schwer kalkulierbar (BULCKAEN ET AL 2005).

### **B - 1.2 Bestimmung der bestmöglichen Lösung**

Für die Bestimmung der besten Lösung aus einer Auswahl von vielen Kombinationsmöglichkeiten zur Anfertigung eines neuen Sigmaplans wurde mit dem Top-Down- und Bottom-Up-Ansatz gearbeitet. Dabei handelt es sich um zwei komplementäre Herangehensweisen an Problemstellungen in einem Planungsverfahren: In einem ersten Schritt wird mit Top-down eine Rahmenplanung ohne Konkretisierung aufgestellt; in einem zweiten Schritt erfolgt die detaillierte Ausarbeitung des Planes mit Bottom-up (HOMBURG & KROHMER 2003).

### **B - 1.3 Rahmenplanung mit Top-Down-Ansatz**

Ausgehend von einer einheitlichen Bemessungsauslegung für den Küstenschutz (als Überschreitungswahrscheinlichkeit im Jahr 2050) werden verschiedene Lösungsansätze erarbeitet, die Schutz gegen Sturmfluten mit einer Wiederkehrperiode von 10.000, 4.000, 2.500 und 1.000 Jahren bieten. Einheitliche Sicherheitsstandards für das gesamte Einzugsgebiet der Schelde sind nur durch den Bau von Sperrwerken oder Überflutungsflächen jedoch nicht zu erreichen, so dass die Deiche an den Schwachstellen zu erhöhen sind. Die Lösung liegt in der Kombination verschiedener Maßnahmen. Tab. 21 gibt einen Überblick über die untersuchten Maßnahmen mit zugehörigen Wiederkehrperio-

den und Amortisationszeiten. Letztere sind Bestandteil der Kosten-Nutzen-Analyse und geben die Wirtschaftlichkeit der jeweiligen Maßnahme wieder (BULCKAEN ET AL 2005; GAUDERIS ET AL. 2005).

Eine Kombination aus lokalen Deicherhöhungen und der Einrichtung von Überflutungsflächen stellt für die flämischen Anforderungen die beste Lösung dar, weil sie aufgrund ihrer geringen Amortisationszeit die wirtschaftlichste Variante ist (BULCKAEN ET AL 2005).

Überflutungsflächen in den einzelnen Zonen bzw. den Zonen im Zusammenhang miteinander (BULCKAEN ET AL 2005; GAUDERIS ET AL. 2005).

Im ersten Schritt des Bottom-Up-Ansatzes wird nur Zone 1 der Schelde betrachtet. Hier werden verschiedene Kombinationen von Maßnahmen ermittelt und deren Kosten errechnet. Das Maßnahmenpaket mit dem besten Ergebnis in der Kosten-Nutzen-Analyse wird ausgewählt. Es liegt jetzt ein konkretes Maßnahmenpaket für

Maßnahmen	Wiederkehrperiode	Amortisationszeit
Bau eines Sturmflutsperrwerkes unterhalb Antwerpens	T 10.000	41 Jahre
Deicherhöhungen	T 4.000	28 Jahre
	T 2.500	27 Jahre
Deicherhöhungen + Rupelsperrwerk	T 4.000	20 Jahre
Kombination von lokalen Deicherhöhungen und Einrichtungen von Überflutungsflächen	T 4.000	24 Jahre
	T 2.500	22 Jahre
	T 1.000	17 Jahre

Tab. 21: Im Top-Down-Ansatz verglichene Maßnahmen und dazugehörige Wiederkehrperioden und Amortisationszeiten

**Rahmenplanung**  
**Kombination verschiedener Maßnahmen**  
**notwendig: Lokale Deicherhöhungen +**  
**Überflutungsflächen**

#### B-1.4 Optimierung mit Bottom-Up-Ansatz

Zur Ermittlung der optimalen Kombination der verschiedenen Maßnahmen wird das Untersuchungsgebiet in fünf Teilgebiete unterteilt (s. Abb. 17). Ausgangspunkt für den Bottom-Up-Ansatz ist die Referenzvariante (s.o.), Ziel der Untersuchung eine optimale Kombination zwischen Deicherhöhungen und der Anlage von

Zone 1 vor, dessen Kosten-Nutzen-Verhältnis das günstigste aller untersuchten Varianten ist. Im nächsten Schritt wird in gleicher Weise mit Zone 2 verfahren, allerdings in Kombination mit den Ergebnissen für Zone 1. Ergebnis ist die beste Lösung für die Zone 2 in Verbindung mit Zone 1. Dieser Prozess wird landeinwärts fortgesetzt, bis die optimale Lösung für alle Gebiete ermittelt wurde (s. Kasten) (GAUDERIS ET AL. 2005).

Mittels des Bottom-Up-Ansatzes wurde eine Kombination aus Deicherhöhungen und Überflutungsflächen ermittelt, die eine Amortisationszeit von 16 Jahren hat. Somit erzielt die op-

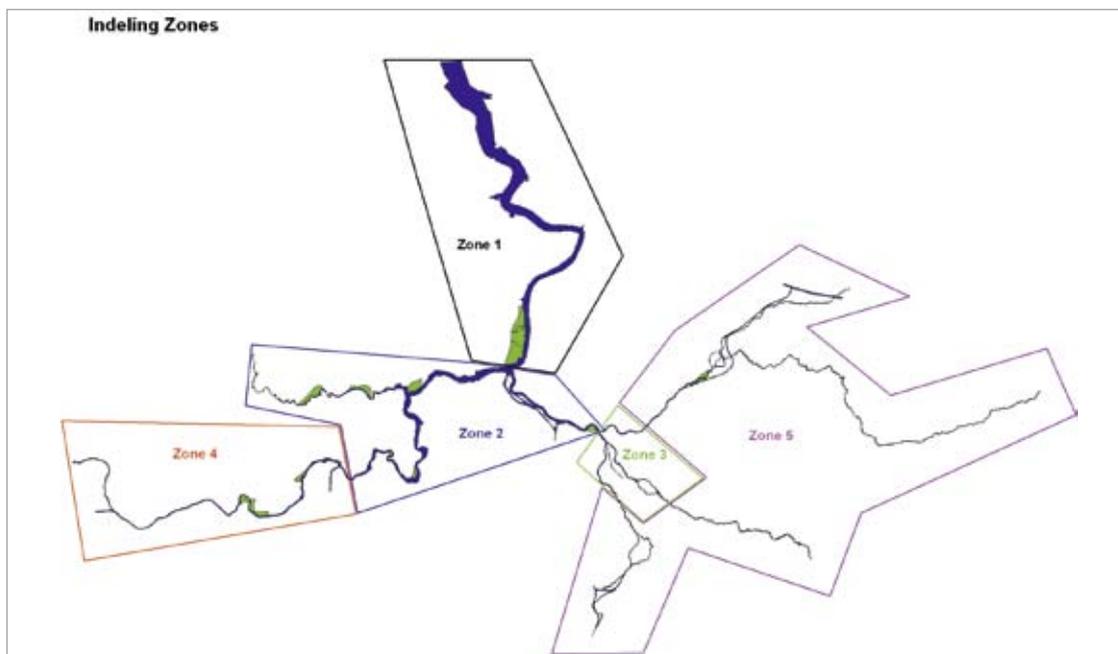
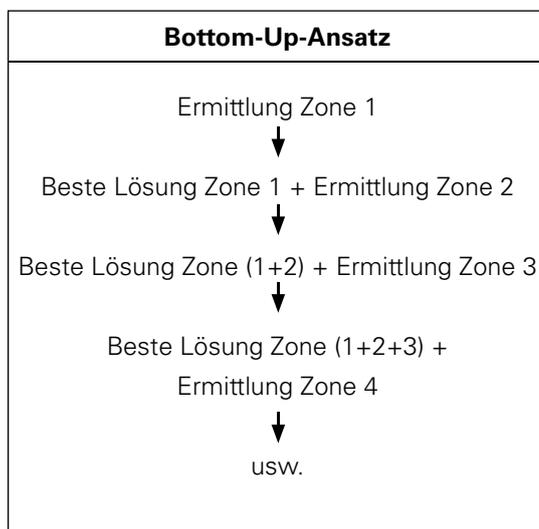


Abb. 17: In Zonen unterteiltes Einzugsgebiet der Schelde (GAUDERIS ET AL. 2005, verändert)

timale Lösung aus dem Bottom-Up-Ansatz eine größere Reduktion des Überflutungsrisikos bei geringeren Investitionskosten, als jede mit dem Top-Down Ansatz ermittelte (s. Tab. 21). Sie umfasst ein Investitionsvolumen von ca. 150 Mio. € und erfordert Flächen von 1.350 ha für die Anlage der Überflutungsflächen. Zusätzlich sind 23,9 km Deiche zu erhöhen. Darüber hinaus sind bis zum Jahr 2050 weitere Überflutungsflächen mit 656 ha einzurichten, um den Sicherheitsstandard halten zu können (s. Abb. 18) (GAUDERIS ET AL. 2005).



<p><b>„Neuer Sigmaplan“:</b>  <b>23,9 km Deicherhöhungen</b>  <b>1.350 ha Überflutungsflächen</b>  <b>+ 656 ha Überflutungsflächen in 2050</b></p>
--

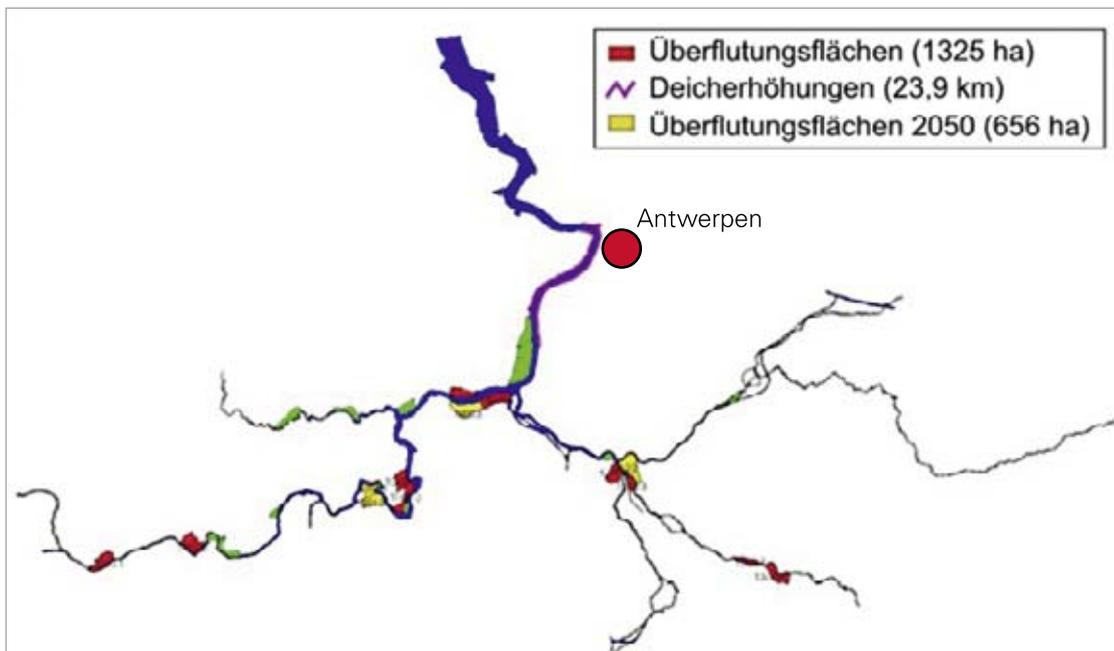


Abb. 18: Auszuführende Baumaßnahmen des neuen Sigmaplans (GAUDERIS ET AL. 2005, verändert)

## B-2 BELGIEN: BEMESSUNGSVERFAHREN (SCHELDE)

Das Bemessungsverfahren für die Seeschelde erfolgt anhand einer quasi-probabilistischen Methode mit synthetischen Stürmen. Die folgende Schilderung dieses Verfahrens basiert auf dem belgischen Originaldokument zur Bemessung der Wasserstände (IMDC 2003).

### B-2.1 Bemessungsverfahren

Schematisch ist das Verfahren in Abb. 19 zusammengefasst. Datengrundlage sind Pegel- und Winddaten (in Abb. 19 grau) aus dem an der Scheldemündung gelegenen Vlissingen.

Die Methode stützt sich auf zwei Prinzipien: Einerseits basiert sie auf der Anwendung eines hydrodynamischen Modells, in dem eine Zusammenstellung physikalisch realistischer,

synthetischer Sturmfluten durchgerechnet wird, während andererseits komplette Wahrscheinlichkeitsverteilungen berechnet werden. Dies vermeidet was eine wenig effiziente langfristige Simulation einer Datenreihe mit lediglich beschränkter Anzahl extremer Ereignisse.

#### B-2.1.1 Wind

Für jedes Sturmflutereignis wird eine gemittelte Windrichtung festgelegt. Dies ist notwendig, um eine aussagekräftige Windrichtung für jede Sturmflut zu erhalten, da die Windrichtung während einer Sturmflut in der Regel nicht gleich bleibt. Die Mittelung erfolgt unter Gewichtung der Windgeschwindigkeiten (s. Abb. 20).

Anschließend werden die ermittelten Windrichtungen statistisch mit der ML-Methode<sup>9</sup> auf ihre Eintrittswahrscheinlichkeit hin untersucht, so

<sup>9</sup> Die Maximum-Likelihood-Methode ist ein in der Statistik angewandtes parametrisches Schätzverfahren

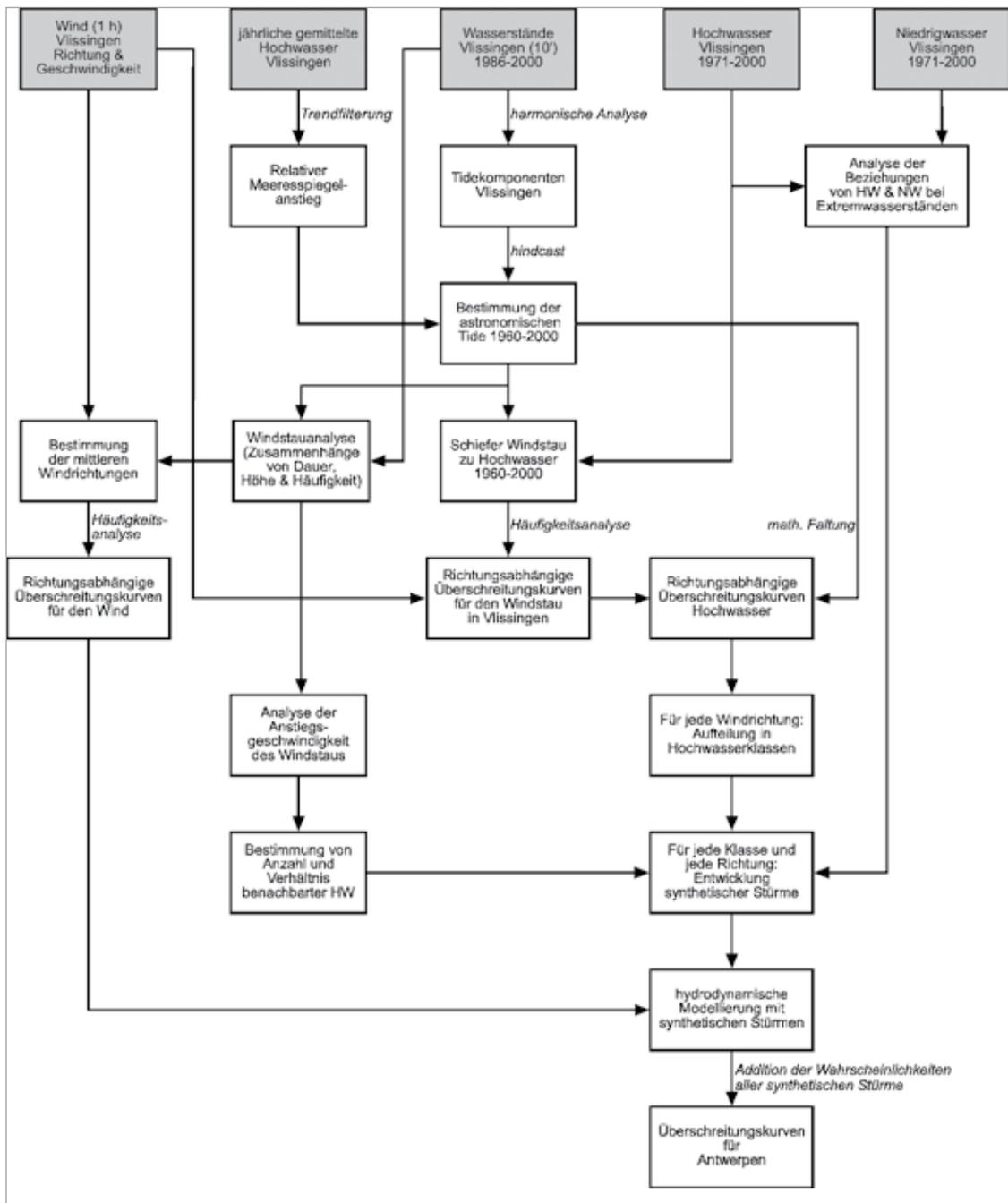


Abb. 19: Schematische Darstellung der Bemessungsmethode mit synthetischen Stürmen (nach IMDC 2003)

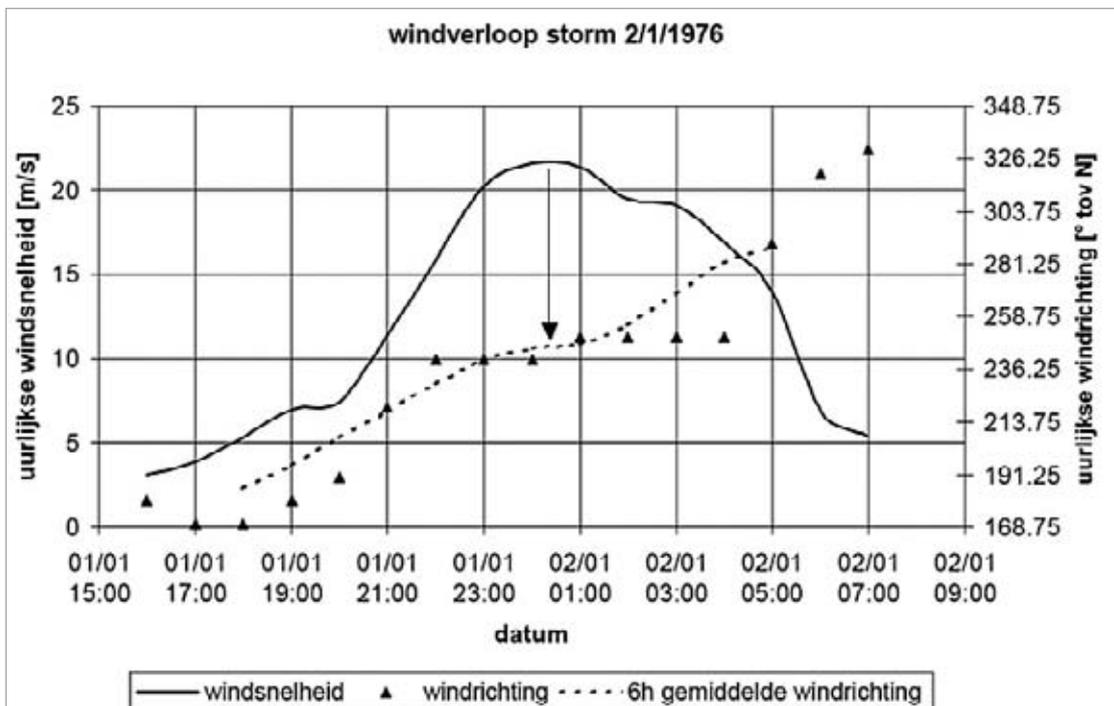


Abb. 20: Mittelung der Windrichtung unter Gewichtung der Windgeschwindigkeit (IMDC 2003)

dass für jeden Windsektor (22,5°: N, NNW, NW, WNW etc.) eine Häufigkeitsverteilung erstellt wird (s. Abb. 21).

Zu beachten ist, dass die Verteilung der Windgeschwindigkeit häufig einer Weibull-Verteilung mit subexponentiellem Verlauf folgt, was bedeutet, dass die Zunahme der Windgeschwindigkeit bei extremen Eintrittswahrscheinlichkeiten nicht mehr so groß ist, wie bei einer exponentiellen Verteilung (in einer logarithmischen Darstellung wird eine exponentielle Verteilung als Gerade wiedergegeben, die in Abb. 21 enthaltenen Graphen sind allerdings keine Geraden).

### B-2.1.2 Windstau

Ausgangsdaten für die Bemessung sind die Pegelraten, die im Wesentlichen aus drei Parametern bestehen:

- der astronomischen Tide (deterministischer Anteil)
- dem Windstau (stochastischer Anteil)
- dem Meeresspiegelstand

Die Analyse der durchgehend vorhandenen Gezeitenwerte (1986–2000) liefert einen Satz astronomischer Tidekomponenten (Amplituden und Phasenverschiebungen). Auf deren Basis werden die astronomischen Tiden für die Zeiträume bestimmt, für die keine durchgehenden Daten vorliegen, so dass die astronomischen Eintrittshöhen und -zeiten der Hochwasser bis 1960 zurück bestimmt werden können. Dies ist erforderlich,

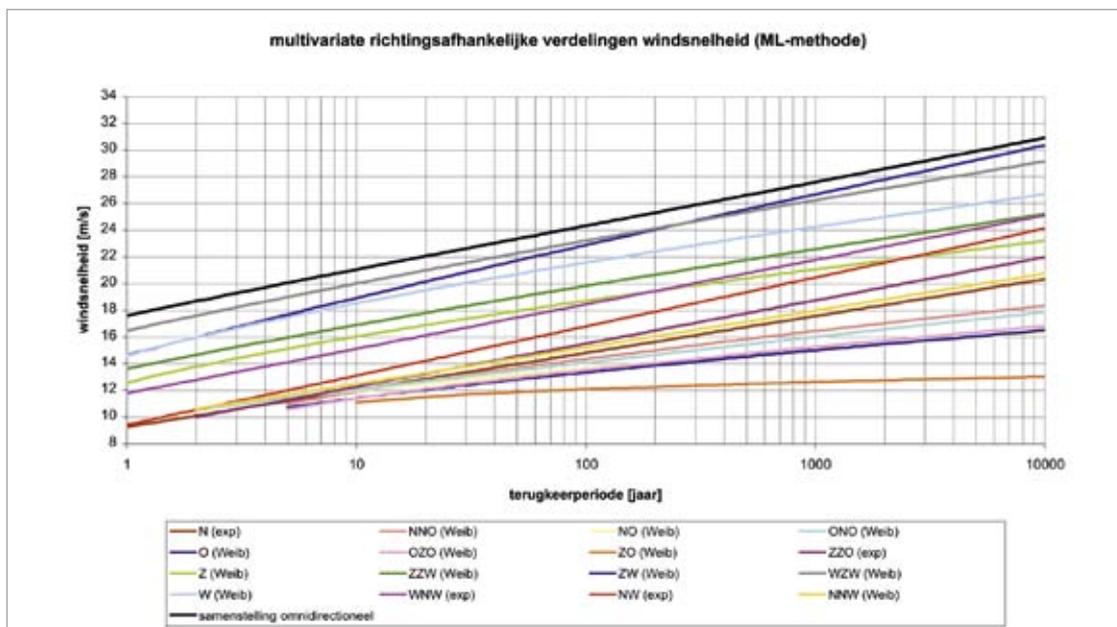


Abb. 21: Richtungsabhängige Extremwertverteilung der Windgeschwindigkeiten nach der ML-Methode (IMDC 2003)

um eine möglichst lange Zeitreihe untersuchen zu können. Zudem sind genaue Kenntnisse über den Meeresspiegelanstieg sowie über (bau)liche Veränderungen in der Morphologie des Ästuars im betrachteten Zeitraum unerlässlich, um deren Einflüsse bestimmen zu können. Die so errechneten astronomischen Gezeiten werden auf ihre Eintrittswahrscheinlichkeit hin untersucht.

Es folgt die Bestimmung des „schiefen Windstau“<sup>10</sup> durch Bildung der Differenz zwischen astronomischem und gemessenem Scheitelwasserstand. Die schiefen Windstau werden einer Häufigkeitsanalyse unterzogen, was zur Erstellung richtungsabhängiger Überschreitungskurven für den Windstau in Vlissingen führt.

Anschließend werden mittels einer mathematischen Faltungsfunktion aus den richtungsabhängigen Überschreitungskurven für den Windstau und den Verteilungskurven der Gezeiten richtungsabhängige Überschreitungskurven für das Hochwasser bestimmt (s. Abb. 22).

Aus den richtungsabhängigen Überschreitungskurven für das Hochwasser werden für jeden Windrichtungssektor 21 Hochwasserklassen gebildet. Diese haben eine Bandbreite von je 10 cm, so dass die Wasserstände zwischen 822 cm und 1032 cm NN abgedeckt sind<sup>11</sup>. Somit ergibt sich für jede Hochwasserkategorie eines Windrichtungssektors eine bestimmte Eintrittswahrscheinlichkeit.

<sup>10</sup> Es wird zwischen „geradem“ und „schiefer“ Windstau unterschieden. „Gerader Windstau“ meint die Differenz zwischen Tidehochwasser und astronomischem Wasserstand zu demselben Zeitpunkt, während mit „schiefer Windstau“ die Differenz zwischen eingetretenem und vorhergesagtem Tidehoch- bzw. Niedrigwasser beschrieben wird. Letztere Wasserstände treten nicht zeitgleich ein. Die Betrachtung des „schiefen Windstaus“ berücksichtigt die Möglichkeit, dass der maximale Windstau nicht zeitgleich mit Tidehochwasser eintreten muss.

<sup>11</sup> Dies entspricht 590 cm bis 800 cm TAW in Abb. 22.

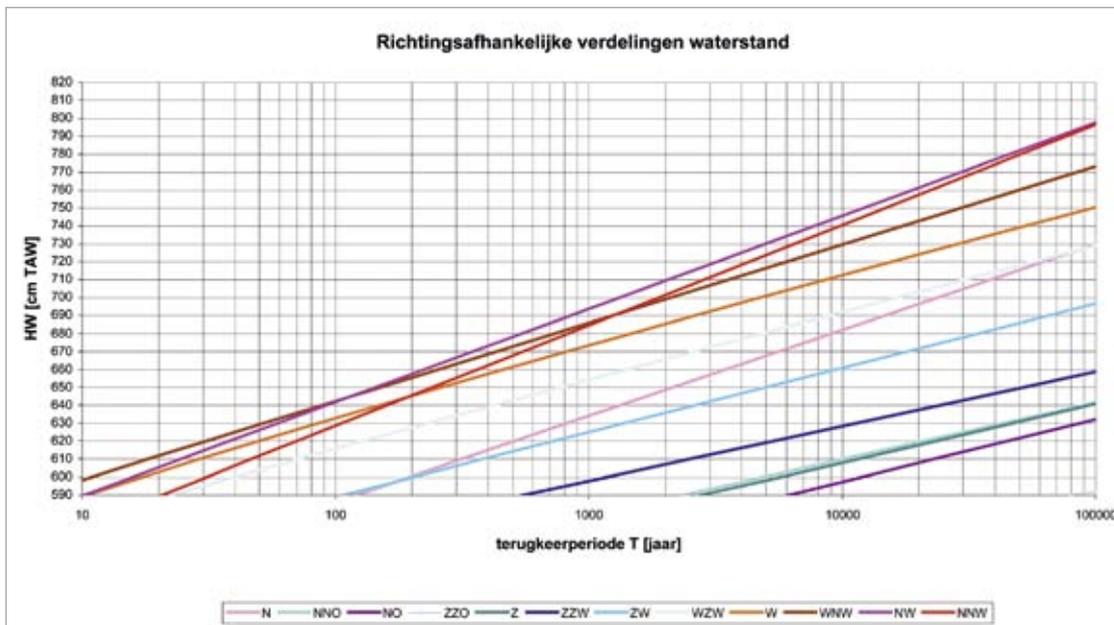


Abb. 22: Richtungsabhängige Extremwertverteilungen für Hochwasser in Vlissingen (IMDC 2003)

### B-2.1.3 Synthetische Sturmfluten

Zusätzlich wird der Windstau für den Zeitraum, für den 10-minütige Pegelraten (1986–2000) vorliegen, einer Analyse in Bezug auf die Zusammenhänge von Dauer, Höhe und Häufigkeit des Windstaus hin unterzogen, so dass Aussagen über die Anstiegsgeschwindigkeiten und über die richtungsabhängigen Verhältnisse zwischen den dem Extremereignis vorausgegangenen und nachfolgenden Hoch- und Niedrigwassern getroffen werden können. Zusätzliche Informationen über Beziehungen bzw. Wechselwirkungen zwischen Extremwasserständen und Scheitelwerten werden durch die Betrachtung der Hoch- und Niedrigwasserstände in Vlissingen gewonnen, um deren Einflüsse auf Dauer, Anstiegsgeschwindigkeit und Volumina der Sturmfluten benennen zu können.

Auf Grundlage der richtungsabhängigen Verhältnisse zwischen den dem Extremereignis vorausgegangenen und nachfolgenden Hoch- und Niedrigwassern sowie der mittleren Tidekurve werden für die 21 Hochwasserklassen synthetische Sturmfluten kreiert. Dabei hat jede dieser synthetischen Sturmfluten die Eintrittswahrscheinlichkeit, welche derjenigen der zugrunde liegenden Hochwasserklasse entspricht. Ein Beispiel für diese synthetischen Sturmfluten ist für die Windrichtung NW in Abb. 23 dargestellt. Für die Windrichtungen NO, NNO, S und SSO werden dieselben Sturmfluten wie für die Richtung N benutzt, da bei diesen Richtungen nicht genügend Sturmfluten für eine brauchbare Auswertung aufgetreten waren.

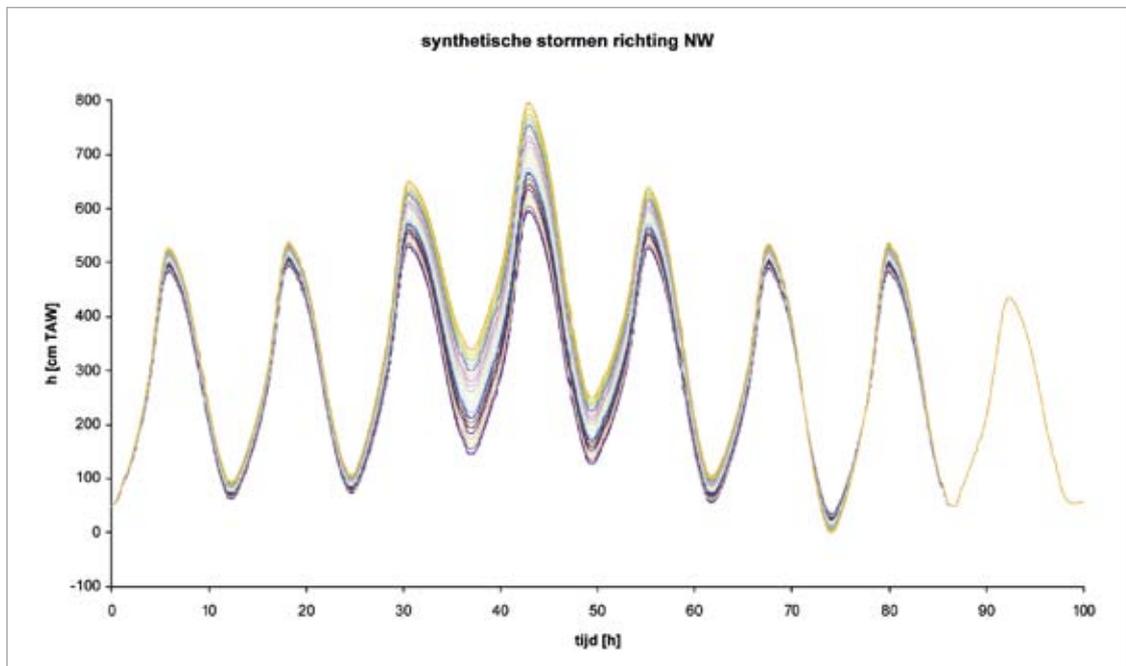


Abb. 23: Synthetische Sturmfluten für die 21 Hochwasserlassen aus der Windrichtung NW (IMDC 2003)

#### B-2.1.4 Modellierung

Die synthetischen Sturmfluten werden schließlich mit der Windgeschwindigkeit derselben Eintrittswahrscheinlichkeit in das hydrodynamische 1D-Modell „Mike 11“ eingebracht, so dass für das jeweilige Ereignis stromauf von Vlissingen die Wasserstände simuliert werden. Die wasserstandserhöhende Wirkung des Oberwassers ist in Antwerpen vernachlässigbar klein, so dass es nicht weiter berücksichtigt wird.

Für 12 Richtungssektoren und 21 Hochwasserlassen werden je drei verschiedene Windgeschwindigkeiten in dem hydrodynamischen Modell durchgerechnet, was zu insgesamt  $12 \times 21 \times 3 = 756$  synthetischen Sturmfluten führt.

Zusammengefasst werden die hydrodynamischen Simulationen mit den folgenden Randbedingungen durchgeführt:

- Hydrodynamisches Modell: Modell mit unendlich hohen Deichen (somit sind keine Überflutungen möglich) und mit einer möglichst aktuellen Bathymetrie mit zwei Szenarien:
  - Mit 13 kontrollierten Überflutungsflächen
  - Ohne kontrollierte Überflutungsflächen
- Stromab gültige hydrologische Randbedingungen: Stündliche Pegelstände der synthetischen Sturmfluten
- Stromauf gültige hydrologische Randbedingungen: konstanter Abfluss, abgeleitet vom gemittelten Winterabfluss.

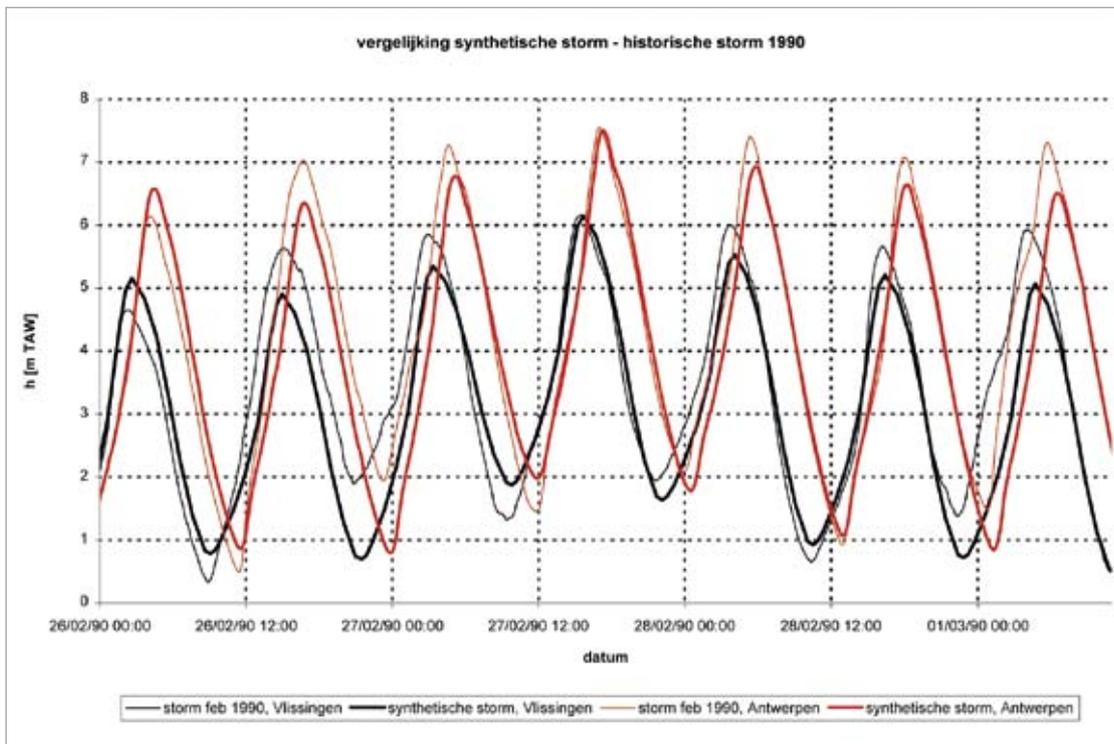


Abb. 24: Vergleich des tatsächlichen Verlaufes der Sturmflut vom Februar 1990 mit dem des synthetischen Verlaufes (IMDC 2003)

- Windrandbedingungen: konstante Windgeschwindigkeiten und -richtungen während des Sturmes.

Der Vergleich der Ergebnisse einer simulierten Sturmflut mit dem tatsächlichen Verlauf ist in Abb. 24 wiedergegeben. Bei den Vor- und Nachtiden treten deutliche Differenzen zum gelaufenen Wasserstand auf, die maximalen Wasserstände stimmen jedoch sehr gut überein.

### B-2.1.5 Bestimmung der Wahrscheinlichkeitsverteilung

Die Überschreitungshäufigkeiten der Pegelstände in Antwerpen basieren auf den Eintrittswahrscheinlichkeiten der synthetischen Sturmfluten, deren maximalen Pegelstände in Abb. 25 dargestellt sind. Zu verdeutlichen ist an dieser Stelle, dass für die Erstellung der in Abb. 25 wiedergegebenen Werte anhand der synthetischen Sturmfluten keinerlei statistische Werte für den Pegel Antwerpen benutzt werden. Diese sind nur zur Kontrolle dargestellt. Des Weiteren geht aus Abb. 25 deutlich der große Einfluss der Überflutungsfläche Kruikeke-Bazel-Rupelmonde auf die Pegelstände in Antwerpen hervor.

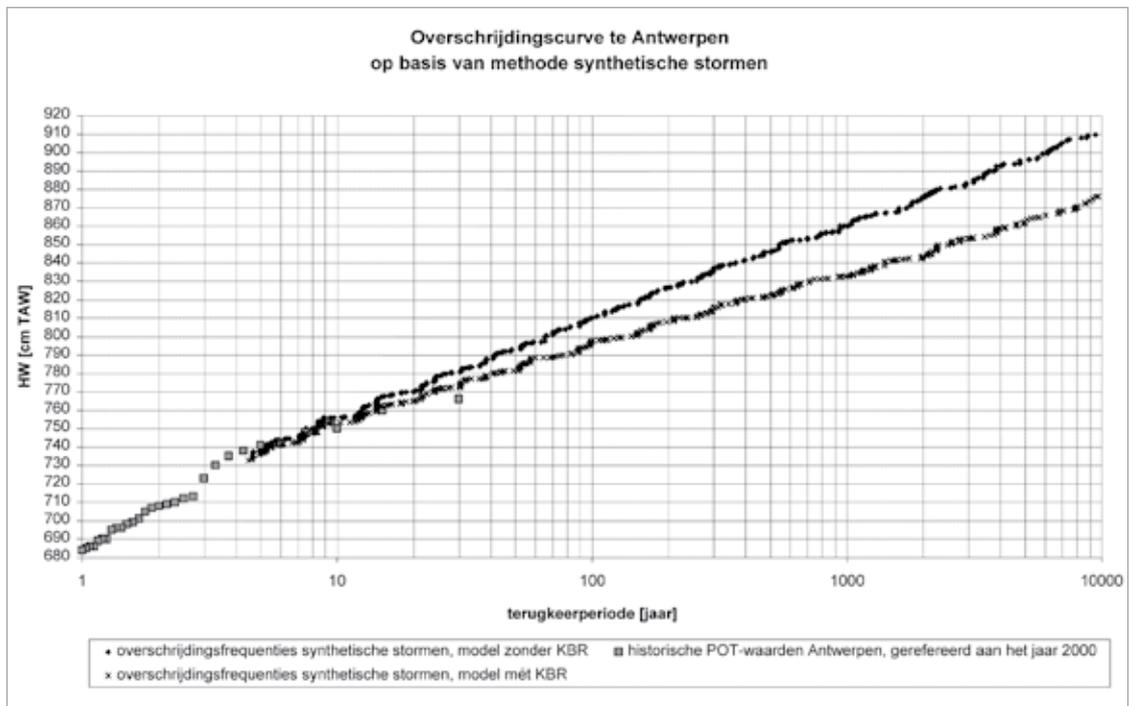


Abb. 25: Überschreitungskurven für Antwerpen mit der Überflutungsfläche KBR (untere Linie) und ohne (obere Linie) (IMDC 2003)

### B-2.1.6 Sensitivitätsanalyse

Die für die Berechnung der synthetischen Sturmfluten erforderlichen stochastischen Ausgangsgrößen werden auf ihre Verlässlichkeit hin untersucht. Dies ist erforderlich, weil es sich bei den Ausgangsgrößen stets um für die Berechnungen gemittelte Werte handelt, welche in der Realität (immer) anders eintreten. Aufgrund der schwierig durchzuführenden und zeitraubenden Bestimmung von Unsicherheitsgrenzen wird hier einem pragmatischen Ansatz gefolgt, bei dem der Frage nachgegangen wird, welche dieser Variablen die Überschreitungskurve für Antwerpen erheblich beeinflussen könnte.

Hierzu werden im Einzelnen folgende Verlässlichkeiten untersucht:

- Einfluss der Form der Tidekurve anhand einzelner Versuchsläufe mit modifizierten synthetischen Sturmfluten:
  - Vorhergehende und nachfolgende Hoch- und Niedrigwasser
    - Dauer des Flutastes
    - Form der Tidekurve
    - führt zu Differenzen von max. 6 cm
  - Einfluss von möglichen veränderten Windrichtungen auf der Westerschelde
    - führt zu Differenzen von max. 2 cm
  - Einfluss der Überflutungsfläche KBR
    - führt zu Differenzen von ca. 40 cm

Aus der Verlässlichkeitsuntersuchung dieser Einzelfaktoren lässt sich für die Überschreitungskurve für Antwerpen ein Intervall bestimmen,

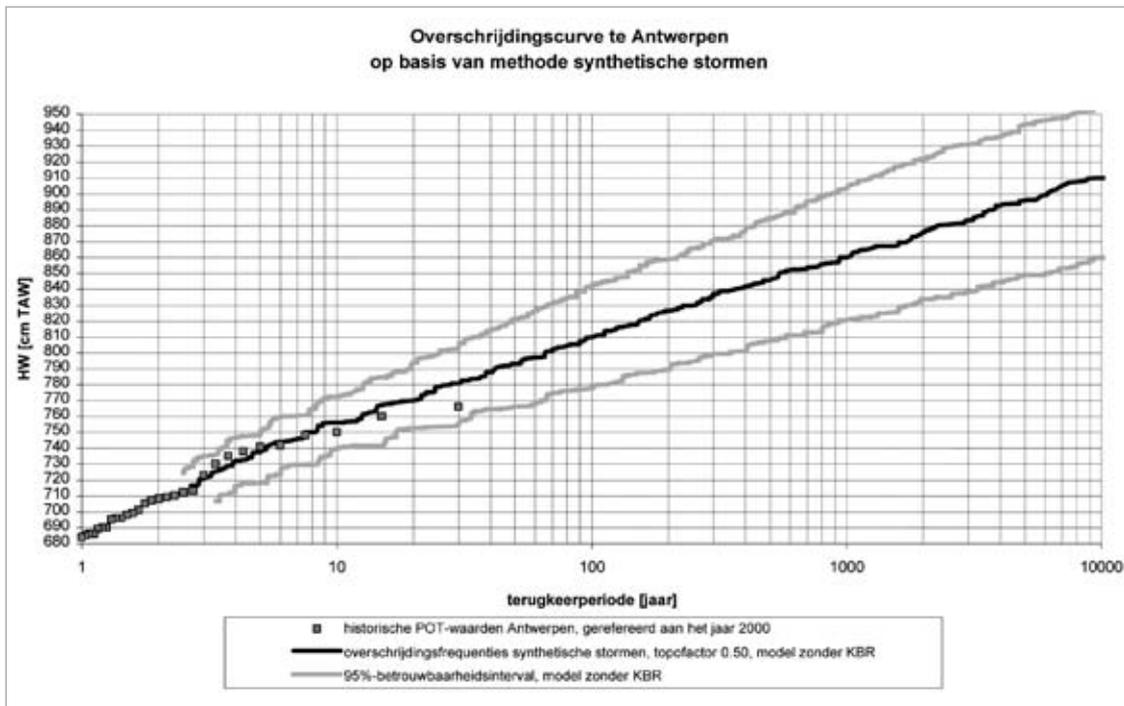


Abb. 26: Überschreitungskurve für Antwerpen mit 95%-igem Verlässlichkeitsintervall (IMDC 2003)

innerhalb dessen die Pegelstände mit 95%-iger Wahrscheinlichkeit liegen. Dieses Intervall ist in Abb. 26 dargestellt, woraus deutlich wird, dass dieses Intervall bei einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 1:10.000 etwa 100 cm beträgt.

### B-2.2 Vergleich mit anderen Methoden

Beim Vergleich der mittels der synthetischen Sturmfluten gewonnenen Überschreitungslinien mit denen auf den „klassischen statistischen“ Methoden beruhenden fällt auf, dass die erstgenannte Kurve (in Abb. 27 schwarz dargestellt) deutlich unter den anderen liegt. Die anderen liegen hingegen sehr dicht beieinander.

Wie auf Seite 69 beschrieben, stellt sich die statistische Verteilung der Windgeschwindigkeiten

fast immer als Weibull-Verteilung mit subexponentiellen Kurvenverlauf dar, der allerdings erst bei extremen Eintrittswahrscheinlichkeiten zum Ausdruck kommt, für die keine historischen Messdaten vorliegen. Folglich wird diese „Beschränkung“ im Verlauf der Windgeschwindigkeiten bei einer POT-Analyse nicht berücksichtigt, und findet auch in den klassischen Überschreitungslinien in Abb. 27 keinen Niederschlag, da die aus der Verteilung der Windgeschwindigkeiten gewonnenen (statistischen) Informationen bei der Extrapolation der klassischen Überschreitungslinien nicht berücksichtigt werden. Anders ist dies bei der Entwicklung der Sturmflutwasserstände auf Basis synthetischer Sturmfluten, für deren Erstellung die durch die Betrachtung des Windes verfügbaren Informationen mit

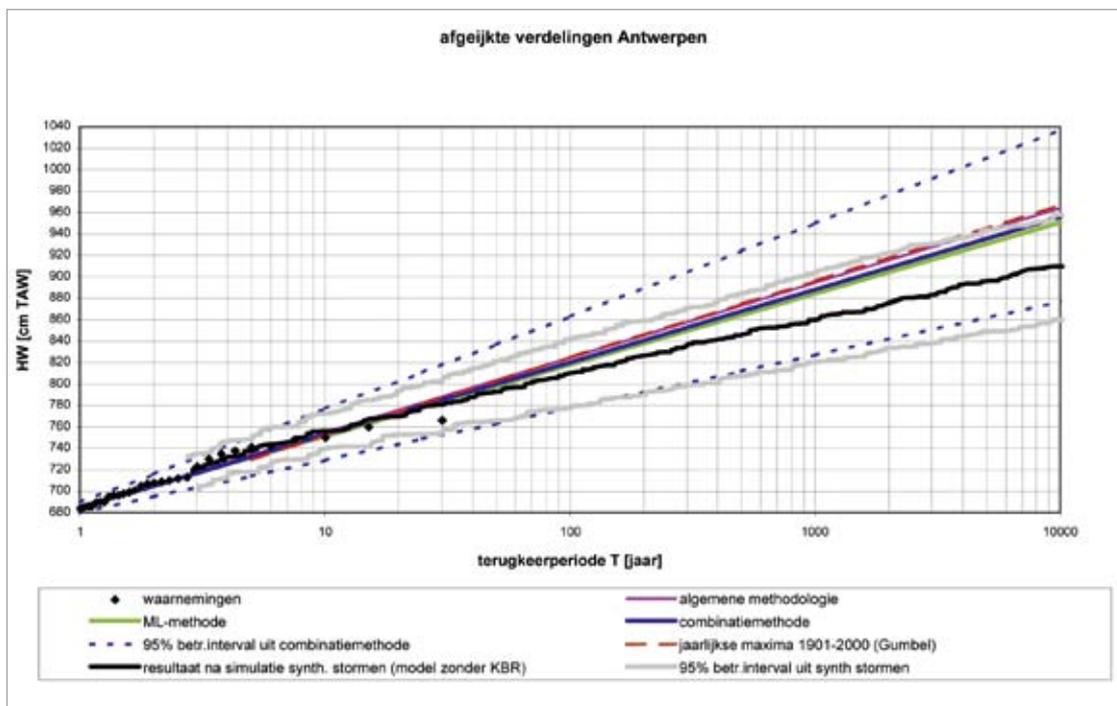


Abb. 27: Vergleich der Überschreitungslinie der synthetischen Sturmfluten (schwarz, mit grauem Verlässlichkeitsintervall) mit denen der „klassischen statistischen“ Methoden (IMDC 2003)

einbezogenen werden. Dies führt zu einer exakteren Bestimmung der Überschreitungslinie mittels synthetischen Sturmfluten, während es bei den mit den statistischen Methoden berechneten Quantilen zu einer Überschätzung kommt.

Bei der Betrachtung der größten tatsächlich gemessenen Pegelstände in Abb. 27 (schwarze Punkte) fällt allerdings auf, dass sich diese Ablenkung der besonders seltenen Extremwerte sehr wohl beobachten lässt. Bei der Anwendung statistischer Methoden fallen sie jedoch kaum ins Gewicht, weil ihre Anzahl zu gering ist.

### B-2.3 Anwendung

Mittels der beschriebenen Methode wurden

verschiedene, zur Auswahl stehende Szenarien bewertet. Die verschiedenen Szenarien bezeichnen unterschiedliche Bauvorhaben im Scheldeästuar wie beispielsweise eine Fahrrinnenvertiefung oder die Anlage von kontrollierten Überflutungsflächen. Für die einzelnen Szenarien sollen jeweils alle synthetischen Stürme durchgerechnet werden, um die so ermittelten Überschreitungslinien miteinander vergleichen zu können und hydrologische Rahmenbedingungen für die jeweiligen maßgebenden Eintrittswahrscheinlichkeiten (1:1.000, 1:2.500, 1:4.000, 1:10.000) zu schaffen.

Hierbei ist zu berücksichtigen, dass der Sturmflutwasserstand während eines Sturmes nicht

12 Für den Sturm vom 11.11.1992 hatte der Pegelstand in Antwerpen eine Eintrittswahrscheinlichkeit von 5 Jahren, während diese in Vlissingen 2 Jahre betrug.

im gesamten Einzugsgebiet dieselbe Eintrittswahrscheinlichkeit hat<sup>12</sup>, bei maßgebenden (besonders schweren) Stürmen bleibt die Eintrittswahrscheinlichkeit entlang des Flusses jedoch in etwa gleich, so dass sie praktisch für das betrachtete Gebiet allgemein gültig bleibt.

Stürme mit Winden aus der Richtung WNW eignen sich am besten für die Untersuchungen, weil bei ihnen die größte Wahrscheinlichkeit besteht, dass sie in Antwerpen auch tatsächlich zu hohen Wasserständen führen.

#### **B-2.4 Vor- und Nachteile**

Abschließend erfolgt eine Auflistung der größten Vor- und Nachteile dieser quasi-probabilistisch Methode mit synthetischen Stürmen. Vorteile:

- Die Methode rechnet mit Überflutungen der kontrollierten Überflutungsflächen sowie mit dem subexponentiellen Verhalten der Windgeschwindigkeiten, so dass der Fehler bei der Extrapolation minimiert wird. Durch die Wiederholung der hydrodynamischen Simulation der synthetischen Stürme mit einem angepassten hydrodynamischen Modell werden für die verschiedenen Szenarien die jeweiligen Extremwertverteilungen ermittelt.
- Die Trendfilterung wird am Pegel Vlissingen durchgeführt, der frei von Baggereinflüssen ist. Für den Pegel Antwerpen wiederum können so völlig trendfreie Extremwertverteilungen erstellt werden, die für das gewählte Referenzjahr (2000) repräsentativ sind. Zudem können ebenso einfach die Überschreitungskurven für alle Orte zwischen Vlissingen und Antwerpen bestimmt werden, ohne dass hierfür zusätzliche hydrodynamische Simulationen erforderlich sind. Für stromauf von Ant-

werpen gelegene Orte gilt dies indes nicht, da der Oberwassereinfluss hier deutlich zunimmt.

- Für die Ermittlung der Extremwertverteilung für eine bestimmte Entwurfsperiode genügt es, die Simulation unter Hinzufügung des Meeresspiegelanstieges zum synthetischen Sturm in Vlissingen für den entsprechenden Zeitraum zu wiederholen. Der Meeresspiegelanstieg ist hingegen nicht zur Überschreitungskurve für Antwerpen zu addieren, da der gestiegene Meeresspiegel eine veränderte Entwicklung der Tide im Scheldeästuar zur Folge hat.
- Die synthetischen Stürme können für eine schnelle Szenarioanalyse angepasst werden, um die Auswirkungen einer geplanten Baumaßnahme (bspw. Anlage einer kontrollierten Überflutungsfläche (GOG) oder Fahrrinnenvertiefung) beurteilen und bewerten zu können. Der Vorteil der synthetischen Stürme liegt in ihrer realistischen Gestalt, anders als die früher benutzten dreistufigen Tiden. Durch die Berechnung aller synthetischen Stürme können die gesamten Auswirkungen eines Eingriffes in die Morphologie auf die Überschreitungswahrscheinlichkeit bestimmt werden.

Als Nachteil der Methode wird angeführt, dass sie nicht vollständig probabilistisch ist, weil es unmöglich ist, alle Variablen mit einzurechnen, um die Anzahl hydrodynamischer Berechnungen zu begrenzen. Nicht alle Unsicherheiten der Extremwertanalyse und der richtungsabhängigen Beziehungen können mit einberechnet werden, weil die Rechenzeit exponentiell zunimmt.

## B-3 BELGIEN: BEMESSUNGSVERFAHREN FÜR FLANDERN

Die Ermittlung des Bemessungswasserstandes für die flandrische Küste erfolgt anhand eines kombinierten statistisch-deterministischen Verfahrens ähnlich dem zuvor im Anhang B-2 für die Schelde benutzten Verfahren.

### B-3.1 Bemessungsverfahren

Die Betrachtung des Wasserstandes erfolgt durch dessen Aufteilung in zwei Bestandteile (IMDC 2005):

- Den deterministisch zu bestimmenden astronomischen Teil der Tide  
(→ Nipp- bzw. Springtide)
- Den durch den Wind bestimmten stochastischen Teil des Wasserstandes  
(→ Windstau)

Datengrundlage sind die Pegeldata des Pegels in Oostende, die seit 1925 vorliegen. Zunächst wird eine Extremwertanalyse mit im tiefen Wasser erhobenen Daten durchgeführt, da hier die meisten Seegangsdaten verfügbar sind. Die einzelnen Parameter werden unabhängig voneinander einer Extremwertanalyse unterzogen. Anschließend werden die ermittelten Extremwerte mit einem numerischen Wellenmodell auf die Küste übertragen.

#### B-3.1.1 Richtungsabhängige Analyse der Wasserstände

Die Aufteilung des Wasserstandes in die Bestandteile Tide und Windstau wird als notwendig erachtet, weil es sich beim Windstau um einen stochastischen Parameter handelt, der unabhängig und rein zufällig in seiner Lage zur Tide eintritt. Die Einbeziehung der Windrichtungen in

die Untersuchungen liegt darin begründet, dass nicht alle (Küstenschutz-) Bauwerke aufgrund ihrer Lage den gleichen Belastungen ausgesetzt sind.

Um für jede Windrichtung zugehörige Extremwerte ermitteln zu können, kann die Datenauswahl nicht allein auf Grundlage der Wasserstände durchgeführt werden. Beispielsweise könnte ein Sturm bei Niptide einen geringeren Wasserstand erzeugen, als eine normale Springtide ohne Sturm, was bei alleiniger Betrachtung der Wasserstände unberücksichtigt bliebe. Um für jede Windrichtung zugehörige Extremwerte bestimmen zu können, ist also die Betrachtung der zur jeweiligen Windrichtung gehörenden Windstau vonnöten; die alleinige Betrachtung der Wasserstände reicht nicht aus. Die Analyse erfolgt anhand folgender Schritte (IMDC 2005):

- Aufarbeitung der Pegel- und der Winddaten
- Bestimmung der astronomischen Tide
- Ermittlung möglichst vollständiger Datenreihen der Windstau- und zugehörigen Winddaten (für Oostende)
- Statistische Analyse der eingetretenen Windstau pro Windrichtung (mit Peak-over-Threshold-Analyse)
- Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeit der (Extrem-) Wasserstände durch Addition: Für jedes (astronomische) Tidehochwasser (mit bekannter Eintrittswahrscheinlichkeit) wird der erforderliche Windstau und dessen Eintrittswahrscheinlichkeit errechnet. Die absolute Eintrittswahrscheinlichkeit wird durch Addition der Einzelereignisse (alle möglichen astronomischen Tidehochwasserstände) berechnet.

### B-3.1.2 Bestimmung des Windstaus

Bei Windrichtungen, aus denen geringer Windstau zu erwarten ist (z. B. Nordost) wird selbst ein für diese Windlage relativ großer Windstau (0,5 m) zu keinem extremen Pegelstand führen (Eine normale Tide mit einem Tidehochwasser von 6,44 m NN würde durch einen Windstau von 0,5 m auf 6,94 m NN erhöht werden, was in etwa dem Springtidehochwasser entspricht). Bei einer Extremwertanalyse auf Basis der Wasserstände bliebe ein solches Ereignis unberücksichtigt. Auch für Windrichtungen, aus denen große Windstau zu erwarten sind, können starke Stürme bei Nipptide niedrigere Pegelstände erzeugen, als schwache Stürme bei Springtide. Die Datenauswahl kann somit sowohl aufgrund der einzubeziehenden Windrichtungen als auch aufgrund der Abhängigkeit der Sturmflutwasserstände von den Gezeiten nicht auf der Auswahl der höchsten Wasserstände basieren (IMDC 2005).

Die Methode, mittels der die Windstau ermittelt und interpretiert werden, lässt sich wie folgt zusammenfassen (IMDC 2005):

1. Eine Gezeitenanalyse der Messwerte liefert einen Satz astronomischer Tidekomponenten.
2. Auf Basis der Tidekomponenten werden astronomische Vorhersagen ausgeführt.
3. Bestimmung der Eintrittshöhen und -zeiten der astronomischen Tide.
4. Bestimmung des schiefen Windstaus (Differenz zwischen astronomischer Tide und eingetretenen Pegelständen, s. Fußnote 10 auf S. 70)
5. Ausführung einer statistischen Analyse der Windstau (Peak-over-Threshold-Analyse)

### B-3.1.3 Extremwertanalysen

Für jeden der Einzelparameter Windgeschwindigkeit, Seegang, Windstau und Wasserstand werden unabhängig voneinander statistische Extremwertanalysen durchgeführt. Ziel ist die Ermittlung von Werten für die genannten Parameter mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 1:1.000 (IMDC 2005).

Die Windgeschwindigkeiten werden für ihren jeweiligen Richtungssektor ( $22,5^\circ$ ) mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 1:1.000 für eine Dauer von 15 Minuten, zwei und sechs Stunden ermittelt. Die Ermittlung dieser Verteilung ist erforderlich für die Bestimmung der Seegangsbedingungen an der Küste. Tab. 22 gibt einen Überblick über die ermittelten Windgeschwindigkeiten.

Als Datengrundlage für die Ermittlung der Extremwerte des Seeganges wird für jeden Sturm ein Seegangmaximum bestimmt und anschließend die zugehörige Richtung bestimmt. Die Berechnung der Extremwerte (s. Tab. 22) erfolgt analog zum Verfahren bei den Windgeschwindigkeiten (IMDC 2005).

Auch die Analyse des Windstaus erfolgt in dessen Abhängigkeit von der Windrichtung. Da der Windstau jedoch relativ träge ist, ist eine direkte Windrichtung für den gesamten Windstau kaum zu ermitteln, so dass auch der Verlauf der Windrichtungen in Augenschein genommen wird. Die Extremwertanalyse wird deshalb auf Basis eines erweiterten Richtungssektors von  $3 \times 22,5^\circ = 67,5^\circ$  ausgeführt. Abschließend sind die Extremwertverteilungen wieder in „normale“ Richtungssektoren von  $22,5^\circ$  zurückzuführen,

<b>1:1.000</b>	<b>Windgeschwindigkeiten</b>			<b>Seegang</b>		
<b>Richtung</b>	<b>15'</b>	<b>2 h</b>	<b>6 h</b>	<b>15'</b>	<b>2 h</b>	<b>6 h</b>
<b>[°]</b>	<b>[m/s]</b>			<b>[cm]</b>		
NO	32,67	28,33	26,88	628	589	552
NNO	32,84	30,46	27,76	693	610	535
N	34,00	30,57	28,71	627	605	545
NNW	34,87	30,77	29,68	669	617	589
NW <sup>13</sup>	35,53	29,98	28,95	612/676	537/615	510/584
WNW	37,57	33,43	31,36	747	691	655
W	38,97	35,53	33,63	718	687	642

Tab. 22: Extremwertverteilung der Windgeschwindigkeiten und des Seegangs mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von je 1:1.000 (IMDC 2005)

was anhand der Drittelung der Überschreitungswahrscheinlichkeit geschieht. Die Ergebnisse der Windstauanalyse sind in Tab. 23 zusammengefasst dargestellt (IMDC 2005).

### B-3.1.4 Wasserstand

Die Extremwertverteilung der Wasserstände wird durch die Kombination der statistischen Verteilungen des Windstaus und der deterministischen Verteilungen der astronomischen Tide mittels einer Faltungsfunktion ermittelt. Bei der Faltung handelt es sich um einen mathematischen Operator, der für zwei Funktionen (Windstau und astronomische Tide) eine dritte Funktion liefert, welche einer Art Überlappung der beiden Funktionen entspricht und einem gleitenden Durchschnitt ähnelt. Tab. 23 zeigt die Resultate für die unterschiedlichen Richtungssektoren (IMDC 2005).

Die mit der beschriebenen Methode bestimmten Extremwerte beziehen sich allesamt auf das tiefe Wasser und sind im Folgenden noch in küstennahe Werte umzusetzen.

<b>Richtung</b>	<b>Windstau</b>	<b>Wasserstand</b>
<b>[°]</b>	<b>[cm]</b>	<b>NN [cm]</b>
NO	105	804
NNO	150	844
N	184	875
NNW	211	901
NW	208	900
WNW	190	884
W	175	872

Tab. 23: Extremwertverteilung der Windstau und der Wasserstände mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von je 1:1.000 (IMDC 2005)

<sup>13</sup> Für die Richtung NW werden zwei Werte angegeben. Der erste Wert beruht auf den Beobachtungen und liegt deutlich unter denen der Richtungen NNW und WNW, da einerseits die Distanz zur englischen Küste in dieser Richtung am geringsten ist, was zu einem kürzeren Fetch führt. Andererseits ist auch bei den Windgeschwindigkeiten zu beobachten, dass deren Werte aus der Richtung NW geringer sind als die der Nachbarsektoren, was ebenfalls zu kleineren Wellen führt. Beim zweiten angegebenen Wert handelt es sich um den Mittelwert aus den Werten von WNW, NW und NNW. Dieser wird als Sicherheitswert genutzt, um zu gewährleisten, dass der eigentliche (sehr niedrige) Wert trotz genannter Begründung nicht zu gering ausfällt.

### **B-3.1.5 Übertragung auf die Küste**

Für die Übertragung der zuvor für das tiefe Wasser ermittelten Werte auf die Küste wird angenommen, dass zu jeder Windrichtung ein Wasserstand und eine Windgeschwindigkeit mit derselben Eintrittswahrscheinlichkeit gehören wie die der Wellenhöhe. Alle Kombinationen der zuvor für tiefes Wasser bestimmten Parameter (Windgeschwindigkeit, Wellenhöhe, Pegelstand und Eintrittswahrscheinlichkeit) werden mit der numerischen Seegangssimulation SWAN (Simulating WAVes Nearshore) in eine neue Parameterkombination für küstennahe Konditionen umgesetzt, wobei Windgeschwindigkeit, Pegelstand und Eintrittswahrscheinlichkeit nicht von den Werten im tiefen Wasser abweichen.

Die hier ermittelten Werte beziehen sich lediglich auf Oostende. Für alle anderen Orte entlang der belgischen Küste werden die Werte um das örtliche Springtidehochwasser korrigiert, da unterstellt wird, dass der Windstau bei einem 1.000-jährigen Sturm entlang der gesamten Küste derselbe ist. Einzig die lokalen Tideeinflüsse sorgen für Unterschiede in den Extremwasserständen. Aus einer Analyse der 100-jährigen Extremwasserstände wird allerdings deutlich, dass die Differenz zwischen 100-jährigem Wasserstand und Mittlerem Springtidehochwasser in Vlissingen (1,88 m) größer ist als in Zeebrügge (1,70 m). Dies geht möglicherweise darauf zurück, dass Vlissingen bereits in der trichterförmigen Scheldemündung liegt. Diese zusätzliche Erhöhung der Wasserstände wird zwischen Zeebrügge und Vlissingen linear in Rechnung gebracht (IMDC 2005).

### **B-3.2 Anwendung der ermittelten Rahmenbedingungen**

Die Anwendung der ermittelten hydraulischen Rahmenbedingungen erfolgt in Belgien ähnlich dem niederländischen System. Zunächst wird unterschieden, ob die Küste durch Dünen oder Deiche geschützt sind, da sich das Verfahren hier unterscheidet. Analog zum niederländischen System ergibt sich die Bemessungshöhe für Dünenküsten aus dem 1.000-jährigem Wasserstand und 2/3 der Differenz zwischen Prüfwasserstand und dem Wasserstand der 10mal geringeren Eintrittswahrscheinlichkeit (hier: 1:10.000) des Prüfwasserstandes.

Für durch Deiche geschützte Küstenabschnitte muss zunächst eine maßgebende – hier 1.000-jährigere – Sturmflut bestimmt werden. Diese setzt sich aus Wasserstand, Wellenhöhe und -periode mit Eintrittswahrscheinlichkeiten von jeweils 1.000 Jahren zusammen. Die Wellenhöhe wird als signifikante Wellenhöhe über eine Dauer von zwei Stunden definiert. Die Daten dienen der Ableitung der Entwicklung der Sturmflut.

Die Dauer der Simulation ist auf 45 Stunden festgelegt. Der maximale Wasserstand resultiert aus der Springtide, auf die der Windstau überlagert wird, wobei der maximale Windstau der Differenz zwischen 1.000-jährigem Wasserstand und Springtidehochwasser entspricht. Im Verlauf des Sturmes entspricht der Verlauf der Windstaukurve dem einer Kosinus<sup>2</sup>-Funktion; der Windstau beträgt zu Beginn und Ende der Simulation 0 m. Die Wellenhöhen entsprechen in ihrem Verlauf ebenfalls der Kosinus<sup>2</sup>-Funktion, allerdings beträgt die Simulationsdauer hier 125 Stunden (IMDC 2005).

# LITERATUR

## Allgemein

JORISSEN, R; LITJENS – VAN LOON, J. & LORENZO, A. M. (2000): Flooding risk in coastal areas, Risks, safety levels and probabilistic techniques in five countries along the North Sea coast, Ministry of Transport, Public Works and Water Management Directorate-General of Public Works and Water, Road and Hydraulic Engineering Division, o. O.

BANSE, G. (1996): Risikoforschung zwischen Disziplinarität und Interdisziplinarität, Von der Illusion der Sicherheit zum Umgang mit Unsicherheit. Berlin

## Literatur Nederlande

1E KUSTNOTA 1990: Ministerie van Verkeer en Waterstaat (1990): Eerste kustnota, Kustverdediging na 1990, Den Haag.

3E KUSTNOTA 2000: Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2000): 3e Kustnota – Traditie, Trends en Toekomst (3rd Coastal Policy Document), Den Haag.

BELEIDSLIJN KUST 2007: Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2007): Beleidslijn Kust, Den Haag.

DELTA COMMISSIE 2008: Samen werken met water, Een land dat leeft, bouwt aan zijn toekomst, Bevindingen van de Deltacommissie 2008. o. O.

HR 2006: Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2007): Hydraulische Randvoorwaarden primaire Waterkeringen voor de derde toetsronde 2006 – 2011, Den Haag.

MVW 2001: Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2001): The Delta Project for safety, wildlife, space and water, Den Haag.

MVW 2007: Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2007): Waterveiligheid Begrippen Begrippen, Den Haag.

NOTA RUIMTE 2006: Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit & Ministerie van Economische Zaken (2006): Nota Ruimte – ruimte voor ontwikkeling, Den Haag.

RIVM 2004: Milieu- en Natuurplanbureau – RIVM (2004): Risico's in bedijkte termen, een thematische evaluatie van het Nederlandse veiligheidsbeleid tegen overstromen, Bilthoven.

TAW 1999: Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW)(1999): Leidraad Zee- en Meerdijken, Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen, Delft.

TAW 2000: Technische Adviescommissie voor de Waterkeringen (TAW)(2000): Van Overschrijdingskans naar Overstromingskans, TAW, pp. 3–24

VTV 2006: Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2007): Voorschrift Toetsen op Veiligheid primaire Waterkeringen, Delft.

WV 21: Ministerie van Verkeer en Waterstaat, DG Water (2006): Waterveiligheid 21e eeuw, Aandachtspunten uit de verkenning wv21, (synthese).

## Literatur Belgien

BULCKAEN, D.; SMETS, S.; DE NOCKER, L.; BROEKX, S. & DAUWE, W. (2005): Updating of the Belgian Sigma plan on a risk-assessment basis, IMDC-VTO-RA, o. O.

GAUDERIS, J.; DE NOCKER, L. & BULCKAEN, D. (2005): Sigmaplan, Maatschappelijke Kosten-Baten-Analyse, Syntheserapport, Antwerpen.

GREATER LONDON AUTHORITY (Hrsg.)(2006): London Climate Change Partnership, Adapting to climate change: Lessons for London. Greater London Authority, London.

HOMBURG, CH. & KROHMER, H (2003): Marketingmanagement, Strategie – Instrumente – Umsetzung – Unternehmensführung, Wiesbaden.

IMDC 2003: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Waterwegen Kust (2003): Actualisatie van het Sigmaplan, DO3: Hydrologische en Hydraulische modellen Volume 1a: statistiek Scheldtebekken, I/RA/11199/03.027/JBL, o. O.

IMDC 2005: Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Departement Leefmilieu en Infrastructuur, Administratie Waterwegen en Zeewezen, Afdeling Waterwegen Kust (2005): Hydraulisch randvoorwaardenboek Vlaamse Kust, o. O.

MARCHAND, M.; CROSATO, A. & KLIJN, F. (2006): Flood Risk Analysis for the River Scheldt Estuary.

MERTENS, T.; TROUW, K.; BLUEKENS, K.; DE NOCKER, L.; COUDERÉ, K.; SAUWER, C.; DE SMEDT, P.; LEWIS, C. & VERWAEST, T. (2008): Integrated Master Plan For Flanders Future Coastal Safety, SAFECOAST Action 4 Report, Coastal Division of the Flemish Community, Belgium.

MIN. VLAAMSE GEMEENSCHAP (2005): Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap Administratie Waterwegen en Zeewezen Afdeling Maritieme Toegang: Beoordelingskader Schelde-estuarium DI 3: Indicatorfiches, Ref 03/07709/dl. Antwerpen.

VERWAEST, T.; VAN POUCKE, PH.; REYNS, J.; VAN DER BIEST, K.; VANDERKIMPEN, P.; PEETERS, P.; KELLENS, W. & VANNEUVILLE, W. (2008): Comparison between different Flood Risk Methodologies, SAFECOAST Action 3b Report, Flanders Hydraulic Research, Belgium.

WILLEMS, P. (2007): Extreme-waarden-analyse hoogwaterstanden Ostende, Eindrapport. Leuven.

[www.sigmaplan.be](http://www.sigmaplan.be), Zugriff vom 12.1.2009.

## Literatur Vereinigtes Königreich

COASTAL GROUPS (2008): Coastal Groups in England – The Environment Agency strategic overview of sea flooding and coastal erosion risk management, o. O.

CPA (1949): Coast Protection act 1949, Download von: The UK statute law database: <http://www.statutelaw.gov.uk/Home.aspx>, Zugriff am 25.8.08.

DEFRA SMP: <http://www.defra.gov.uk/enviro/fcd/guidance/smp.htm>, Zugriff am 8.9.2008.

FCDPAG3 1999: Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Flood and Coastal Defence with Emergencies Division (1999): Flood and Coastal Defence Project Appraisal Guidance, Economic Appraisal (FCDPAG3), a procedural guide for operating authorities, o. O.

FCDPAG3 Note 2006: Department for Environment, Food and Rural Affairs (2006): Flood and Coastal Defence Appraisal Guidance FCDPAG3 Economic Appraisal Supplementary, Note to Operating Authorities – Climate Change Impacts, o. O.

HM TREASURY 2006: Stern review on the Economics of Climate Change, London.

LAVERY, S. & DONOVAN, B. (2005): Flood risk management in the Thames looking ahead 100 years. In: Philosophical Transactions in the Royal Society, 363, S. 1455–1474, London.

PPS 25 Practice Guide: Department for Communities and Local Government (2008): Planning Policy Statement 25: Development and Flood Risk Practice Guide, London.

PPS 25: The Stationary Office (2006): Planning Policy Statement 25: Development and Flood Risk, London.

## Literatur Dänemark

HØJVANDSSTATISTIKKER 2007: Transportministeriet & Kystdirektoratet: Højvandsstatistikker (2007): Extreme sea level statistics for Denmark, o. O.

IPCC 2007: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)(2007): Climate Change 2007: Synthesis Report Summary for Policymakers to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Genf.

VESTKYSTEN '02: Kystdirektoratet (2003): Vestkysten '02, Lemvig.

VESTKYSTEN '08: Kystdirektoratet (2008): Vestkysten '08, Lemvig.

[www.kyst.dk](http://www.kyst.dk), Zugriff am 14.1.2009.

# IMPRESSUM

## **Herausgeber und Vertrieb:**

Freie und Hansestadt Hamburg  
Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer  
(LSBG)  
Sachsenfeld 3 – 5  
20097 Hamburg

im Auftrag der Behörde für Stadtentwicklung  
und Umwelt (BSU)/Amt für Umweltschutz

V.i.S.d.P:  
Helga Lemcke-Knoll

Verfasser:  
Gabriele Gönnert

Redaktion:  
Jan-Moritz Müller

Auflage: 150 Stück  
gedruckt auf 80% Recyclingpapier

Stand: Oktober 2012

Gestaltung:  
Freie und Hansestadt Hamburg  
Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung

Titelbild:  
Karte der heutigen Sicherheitsstandards

ISSN 1867-7959 (Print)

## **Anmerkungen zur Verteilung**

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit des Senats der Freien und Hansestadt Hamburg herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern während des Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Europa-, Bundestags-, Landtags- und Kommunalwahlen. Missbräuchlich ist insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel.

Untersagt ist ebenfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung. Unabhängig davon, auf welchem Wege und in welcher Anzahl dem Empfänger diese Schrift zugegangen ist, darf sie auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es jedoch gestattet, die Druckschrift zur Unterrichtung der eigenen Mitglieder zu verwenden.

**Bisher erschienene Berichte:**

- Nr. 1/2009 Hochwasserschutz in Hamburg,  
Baumaßnahmen 2009
- Nr. 2/2009 Sturmfluten zur Bemessung von  
Hochwasserschutzanlagen
- Nr. 3/2009 Hochwasserschutz für die Hambur-  
ger Binnengewässer
- Nr. 4/2009 Hochwasserschutz in Hamburg,  
SchulungsZentrum  
Deichverteidigung 2009
- Nr. 5/2009 Proceedings of the SAWA-Mid-  
term, Conference in Gothenburg
- Nr. 6/2011 Hochwasser an Hamburgs  
Binnengewässern  
am 6. und 7. Februar 2011
- Nr. 7/2011 Hochwasserschutz in Hamburg,  
Anleitung Deichverteidigung
- Nr. 8/2011 Planungswerkstatt Lichtsignal-  
anlagen am 17. 09. 2011 –  
Dokumentation
- Nr. 9/2012 Proceedings of the Flood Risk Ma-  
nagement Conference – North Sea  
Region. SAWA Final Conference,  
Hamburg, 17–18 November 2011
- Nr. 10/2012 Sturmflutschutz in Hamburg  
gestern – heute – morgen