

Hochwasserschutzmanagement an der deutschen Ostseeküste

Bärbel Koppe
Institut für Wasserbau
Fachbereich Bauingenieurwesen
Universität Rostock

Vorwort

Hochwassergefahren an Binnenflüssen und im Küstenbereich werden häufig unterschätzt. Diese Gefahr besteht besonders an der deutschen Ostseeküste, da hier erhöhte Wasserstände vergleichsweise selten auftreten und die Hochwassergefahr leicht in Vergessenheit gerät. Die vorliegende Arbeit liefert einen Beitrag zur besseren Einschätzung des Hochwasserrisikos an der deutschen Ostseeküste sowie zur Entwicklung eines Hochwasserschutzkonzeptes, in dem nicht nur technische, sondern auch nichttechnische Gesichtspunkte Berücksichtigung finden.

Die Arbeit baut auf Erkenntnissen aus mehreren Forschungsprojekten und Untersuchungen sowohl an der Ostseeküste als auch an anderen Küstenbereichen und an Binnenflüssen auf. Insbesondere die im Rahmen des Forschungsvorhabens "Videodokumentation des Oderhochwassers 1997 zwischen Ratzdorf und Hohensaaten" gewonnenen Erfahrungen bezüglich der Abwehr von Hochwassergefahren sowie der Behebung von Hochwasserschäden haben sich in der Konzeption der Arbeit und in der Gewichtung nichttechnischer Gesichtspunkte für den Hochwasserschutz niedergeschlagen.

Von Herrn Dr.-Ing. Thomas Zarncke habe ich viele Anregungen und Anmerkungen zu meiner Arbeit erhalten. Hierfür und für die Übernahme des Korreferats möchte ich ihm danken.

Mein herzlicher Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Reinhard Dieckmann, der mir im Rahmen seiner Gastdozentur Hydrologie an der Universität Rostock, verschiedener wissenschaftlicher Veranstaltungen sowie seines Korreferats viele hilfreiche Hinweise und Anregungen für meine Arbeit gegeben hat.

Ganz besonders danke ich meinem Hauptreferenten Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Sören Kohlase für das angenehme und produktive Arbeitsklima am Institut für Wasserbau der Universität Rostock, für seine vielfältigen fachlichen Anregungen sowie für seine Offenheit für persönliche Belange.

Neben den Referenten danke ich meinen Kollegen Dr. rer. nat. Christian Dede für die Übernahme der Korrektur sowie M.Sc. Dong Jiing Doong und Dr.-Ing. Peter Fröhle für die Diskussionen zur extremwertstatistischen Bewertung von Wasserstandsdaten. Abschließend möchte ich meinem Ehemann Dipl.-Designer Manfred W. Jürgens für die Zusammenarbeit in verschiedenen Forschungsprojekten sowie für die Erstellung der in der Arbeit abgebildeten Grafiken herzlich danken.

Abstract

Sturmfluten weisen an der Ostsee trotz der Randlage zum Atlantischen Ozean und der stark ausgeprägten Binnenmeercharakteristika ein hohes Gefährdungspotential auf. Insbesondere die langen Verweilzeiten hoher Wasserstände und die kurzen Vorwarnzeiten für Extremwasserstände sind problematisch. An der deutschen Ostseeküste sind rund 70 % der Küstenlinie überflutungsgefährdet. Der überwiegende tiefliegende und küstennahe Flächenanteil ist dem ländlichen Bereich zuzuordnen, während sich der größte Anteil der potentiell gefährdeten Sachwerte in städtischen Gebieten befindet. Die höchsten bisher gemessenen Wasserstände an den Pegeln der deutschen Außenküste der Ostsee wurden 1872 nach anhaltenden Nordoststürmen mit bis zu NN +3,76 m (Pegel Eckernförde) erreicht. Die Sturmflut forderte eine hohe Anzahl von Opfern, und es entstand erheblicher Sachschaden.

Der Ausbaugrad der Hochwasserschutzanlagen an der deutschen Ostseeküste weist heute einen bisher nie erreichten Ausbaugrad auf. Trotzdem genügen vorhandene Deiche, Dünen und Hochwasserschutzwände vielfach nicht den gültigen Bemessungsgrundsätzen und der Eintritt extremer Hochwasserstände würde auch heute zu katastrophalen Verhältnissen im Küstenbereich führen.

Nach einem einleitenden Abschnitt (Kap. 1) werden anhand des Schrifttums die naturräumlichen Gegebenheiten des Ostseeraumes unter besonderer Berücksichtigung hydrologischer Gesichtspunkte (Kap. 2) sowie die Besonderheiten von Sturmfluten im Bereich der deutschen Ostseeküste (Kap. 3) dargestellt. Der heutige Zustand des Hochwasserschutzmanagement an der deutschen Ostseeküste wird in kurzer Form anhand gültiger Rechtsgrundlagen (Kap. 4) sowie der bestehenden Schutzmaßnahmen (Kap. 5) beschrieben. Die Entwicklung eines zukünftigen, technische und nichttechnische Gesichtspunkte zusammenführenden Hochwasserschutzkonzeptes für die deutsche Ostseeküste bildet den Schwerpunkt der Arbeit (Kap. 6). Hieran schließen sich eine zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse (Kap. 7) sowie Schrifttumshinweise (Kap. 8) an.

Inhalt

1	Problemstellung, Zielsetzung und Vorgehensweise	1
2	Naturräumliche Grundlagen	4
2.1	Klimatische Randbedingungen	4
2.2	Küstenform.....	4
2.3	Wasserstände.....	6
2.3.1	Langfristige Wasserstandsschwankungen.....	6
2.3.1.1	Globaler Klimawandel.....	7
2.3.1.2	Langfristige Wasserstandsschwankungen im Ostseeraum.....	8
2.3.2	Füllungsgrad	15
2.3.3	Gezeiten.....	15
2.3.4	Eigenschwingungen	16
2.3.5	Luftdruck	18
2.3.6	Windwirkklängen.....	18
2.3.7	Windstau	19
2.4	Seegang	20
2.5	Eisverhältnisse	21
3	Sturmfluten an der deutschen Ostseeküste	26
3.1	Entwicklung des Pegelwesens.....	26
3.2	Sturmflutwasserstände	28
3.3	Langfristige Änderungen der Windklimatologie und der Sturmfluten	34
3.4	Verweildauer von Sturmflutwasserständen.....	35
4	Gesetze, Organisation und Finanzierung	38
4.1	Rechtsgrundlagen und Zuständigkeiten des Bundes	38
4.2	Rechtsgrundlagen und Zuständigkeiten der Länder.....	39
4.2.1	Schleswig-Holstein.....	40
4.2.1.1	Gesetze	40
4.2.1.2	Organisationsstruktur	41

4.2.2	Mecklenburg-Vorpommern.....	42
4.2.2.1	Gesetze	42
4.2.2.2	Organisationsstruktur	44
4.2.3	Vergleich der Rechtsgrundlagen und Zuständigkeiten in den Ländern	45
4.3	Finanzierung von baulichen Hochwasserschutzmaßnahmen.....	46
5	Bestehendes Hochwasserschutzkonzept.....	48
5.1	Schadenspotential	48
5.2	Vorbeugender baulicher Hochwasserschutz	51
5.2.1	Bemessungsgrundlagen.....	51
5.2.2	Sollhöhe und Böschungsneigung.....	54
5.2.3	Konstruktion und Einsatz der Bauwerke	58
5.2.3.1	Hochwasserschutzdünen.....	59
5.2.3.2	See-, Bodden und Haffdeiche	60
5.2.3.3	Sturmflutsperrwerke.....	61
5.2.3.4	Hochwasserschutzwände	62
5.2.3.5	Uferlängswerke.....	62
5.2.3.6	Weitere technische Vorsorgemaßnahmen	63
5.3	Hochwasservorhersage	63
5.4	Katastrophenschutz	66
5.4.1	Hochwassermeldedienst	66
5.4.2	Organisation und Maßnahmen der Katastrophenabwehr	68
6	Entwicklung eines zukünftigen Hochwasserschutzkonzeptes.....	70
6.1	Schadenspotential und Schadensmanagement	73
6.1.1	Risikovorsorge	75
6.1.1.1	Aktueller Stand der Risikovorsorge in Deutschland	75
6.1.1.2	Versicherung des Hochwasserrisikos außerhalb Deutschlands.....	84
6.1.1.3	Lösungsansätze zur flächendeckenden Versicherung des Hochwasserrisikos in Deutschland	86

6.1.2	Flächenvorsorge	90
6.1.3	Bauvorsorge.....	93
6.1.4	Schadstoffvorsorge	101
6.2	Vorbeugender baulicher Hochwasserschutz	101
6.2.1	Bemessung von Hochwasserschutzanlagen.....	101
6.2.1.1	Kriterien zur Wahl eines Bemessungsansatzes	104
6.2.1.2	Versagenswahrscheinlichkeiten von Schutzsystemen	109
6.2.1.3	Zuverlässigkeit von Hochwasserschutzanlagen.....	110
6.2.1.4	Extremwertstatistische Bewertung von Sturmflutwasserständen..	112
6.2.1.5	Bemessungsseegang	124
6.2.2	Bauwerke	125
6.2.2.1	Hochwasserschutzwände	127
6.2.2.2	Sturmflutsperrwerke.....	132
6.2.2.3	Temporärer und mobiler Hochwasserschutz	156
6.3	Hochwasserwarnung und Katastrophenschutz.....	170
7	Zusammenfassung.....	178
8	Schrifttum	184

Abbildungen

Abb. 1: Die deutsche Ostseeküste.....	5
Abb. 2: Systematik der Meeresspiegeländerungen (nach DIECKMANN 1996).....	7
Abb. 3: Meeresspiegelanstieg an der südwestlichen Ostsee unter Berücksichtigung unterschiedlicher Untersuchungen an der Schleswig-Holsteinischen Küste nach KLUG (1980)	10
Abb. 4: Änderungen des Mittelwasserstands der Ostsee (in cm / 100 Jahre) nach Pegelbeobachtungen (durchgezogene Linie; angenommene Werte: gestrichelte Linie); positive Werte: Anstieg des Meeresspiegels, negative Werte: Absinken des Meeresspiegels) (aus KÖSTER 1995 nach ROSSITER 1967)	11
Abb. 5: Langfristige Meeresspiegeländerungen in mm/a im südlichen Ostseeraum (DIETRICH; LIEBSCH 2000).....	13
Abb. 6: Voraussichtlicher säkularer Meeresspiegelanstieg der Mecklenburger Bucht im 21. Jahrhundert (STIGGE 1994b)	14
Abb. 7: Schematische Darstellung der Triftströmungen und des Windstaus in einem begrenzten Meeresbecken.....	19
Abb. 8: Maximale jährliche Eisfläche der Ostsee im Zeitraum 1719/20 bis 1995/96 nach Beobachtungen sowie nach Rechnungen mit dem Klimamodell ECHAM4 T42 unter dem Szenario IS92a für die Modelljahre 9/10 bis 107/108 (entspricht 1993/94 bis 2091/92) (HUPFER 1997)	22
Abb. 9: Langjährige Reihe (1896/97 – 1998/99) reduzierter Eisummen an der deutschen Ostseeküste (STRÜBING 1999).....	23
Abb. 10: Langjährige Reihe (1896/97 – 1998/99) flächenbezogener Eisvolumensummen [m] an der deutschen Ostseeküste (STRÜBING 1999).....	24
Abb. 11: Typische Entwicklung der Wasserstände einer Sturmflut am Pegel Wismar (STIGGE 1994a)	33
Abb. 12: Ausgewählte Sturmflutwasserstandsganglinien am Pegel Greifswald-Wieck (nach WEISS, BIERMANN 1996).....	36
Abb. 13: Schädigungsraten in Abhängigkeit vom Wasserstand zur Ermittlung des Schadenspotentials (StAUN 1995).....	49
Abb. 14: Nutzungsabhängige zulässige mittlere Überlaufraten in Liter pro Sekunde pro laufendem Meter nach FRANCO et al. (1994)	55

Abb. 15: Gemessene und vom BSH vorhergesagte Wasserstände im Winter 1999 an der Station Koserow (DICK et al. 2000)	64
Abb. 16: Einflussfaktoren auf das Hochwasserrisiko im Küstenbereich	70
Abb. 17: Maßnahmen zur Minderung des Hochwasserrisikos (verändert nach UNDRO 1991)	71
Abb. 18: Wirkungsweise von Maßnahmen zum Hochwasserschutz (EGLI 1996)	72
Abb. 19: Schema zur Auswahl geeigneter Siedlungsflächen im Küstenraum	92
Abb. 20: Mechanische Beanspruchung von Gebäuden bei Überschwemmung	93
Abb. 21: Hochwassersichere Sanierung eines durch Überschwemmung geschädigten Neubaus bei Frankfurt/Oder	100
Abb. 22: Elemente der Risikoanalyse (verändert nach MAI, ZIMMERMANN 2000).....	103
Abb. 23: Fehlerbaum zum Versagen eines scharliegenden Deiches an der Ostseeküste (ausgeglichener Sedimenthaushalt).....	106
Abb. 24: Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Ereignisses innerhalb eines bestimmten Zeitraums (Zuverlässigkeit $RE(t)$) in Abhängigkeit von der Eintrittswahrscheinlichkeit P_v	111
Abb. 25: Normierte Jahreshöchstwasserstände am Pegel Travemünde des Zeitraums 1826 bis 2000 (Bezugsjahr 2000, säkularer Meeresspiegelanstieg: 15 cm/100 a (Datenquellen JENSEN, TÖPPE 1986, DGJ 1985 - 1995, WSA Lübeck)	118
Abb. 26: Unterschreitungswahrscheinlichkeit bzw. Wiederkehrperiode von Hochwasserständen am Pegel Travemünde entsprechend verschiedener Verteilungsfunktionen unter Verwendung aller Jahreshöchstwasserstände im Zeitraum 1826 bis 2000	120
Abb. 27: Unterschreitungswahrscheinlichkeit bzw. Wiederkehrperiode von Hochwasserständen am Pegel Travemünde entsprechend verschiedener Verteilungsfunktionen unter Verwendung der Jahreshöchstwasserstände im Zeitraum 1826 bis 2000 ohne Berücksichtigung des Höchstwasserstandes vom November 1872.....	121
Abb. 28: Horizontal profilierte HWS-Wand	128
Abb. 29: HWS-Wand mit Steinvorlage	129
Abb. 30: HWS-Wand mit vorgelagerten Bauwerken.....	130

Abb. 31: Überlaufabweiser	132
Abb. 32: Doppelt angeordnete Stemmtore, Grundriss	134
Abb. 33: Hubtor	135
Abb. 34: Klapptor	135
Abb. 35: Segmentverschluss	136
Abb. 36: Sektorverschluss	137
Abb. 37: Prinzipskizze Segmentverschuß Themse-Sperrwerk	143
Abb. 38: Prinzipskizze Hubschütz Oosterscheldesperrwerk.....	144
Abb. 39: Prinzipskizze Segmentverschluss Sperrwerk Nieuwe Waterweg.....	144
Abb. 40: Prinzipskizze der geplanten Sperrwerkskonstruktion zum Schutz Venedigs	145
Abb. 41: Prinzipskizze Schiebetore des Sperrwerksentwurfs zum Schutz von Hamburg.....	146
Abb. 42: Prinzipskizze Schlauchsperrwerk Ramspol.....	149
Abb. 43: Elemente einer mobilen Hochwasserschutzwand	158
Abb. 44: Querkraftstütze an mobiler Hochwasserschutzwand.....	159
Abb. 45: Temporäres Stauschild mit Hydraulikantrieb in Kombination mit permanenter HWS-Mauer.	162
Abb. 46: Konstruktion und Aufbau des mobilen Dammsystems Quick Damm	164
Abb. 47: Konstruktion der Schlauchbarriere von Water Structure TM	165

Tabellen

Tab. 1: Relative Erhöhung der Mittelwasserstände an den Pegeln Wismar, Warnemünde, Saßnitz, Koserow (WEISE, 1990)	12
Tab. 2: Aktuell bei der Planung von technischen Hochwasserschutzanlagen an der deutschen Ostseeküste angesetzte Beträge des säkularen Meeresspiegelanstiegs (nach MLR 2001a; MBLU 1995).....	14
Tab. 3: Tidehub halbtägiger und ganztägiger Gezeiten in der Ostsee (nach HUPFER 1979)	15
Tab. 4: Berechnete Perioden der Eigenschwingungen der Ostsee verschiedener Schwingungssysteme (nach WÜBBER, KRAUSS 1979 und KRAUSS, MAGAARD 1962)	17
Tab. 5: Extreme Seegangereignisse in 3 Projektgebieten an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste (KOHLHASE et al. 2000).....	21
Tab. 6: Beaufschlagung der im Zeitraum 1910 bis einschließlich Oktober 1985 gemessenen Wasserstände in NN a.S. auf HN-Werte (STIGGE 1994a)	28
Tab. 7: Klassifizierung von Sturmfluten an der deutschen Außenküste der Ostsee.	29
Tab. 8: Klassifizierung von Sturmfluten an den Bodden- und Haffküsten in Mecklenburg-Vorpommern (MBLU 1995).....	29
Tab. 9: Sturmfluten an der deutschen Ostseeküste mit Scheitelwasserständen höher NN +1,50 m an mindestens einem der betrachteten Pegel (unvollständig Auflistung)	30
Tab. 10: Verweilzeiten hoher Wasserstände am Pegel Greifswald-Wieck (nach MBLU 1995 und WEISS, BIERMANN 1996).....	37
Tab. 11: Ermittelte Schadenspotentiale an der Ostseeküste Schleswig-Holsteins und Mecklenburg-Vorpommerns, Datengrundlage 1993/94 (nach MLR 1998; StAUN 1995)	51
Tab. 12: Höchstwasserstände und Bemessungswasserstände an ausgewählten Orten an der deutschen Ostseeküste bezogen auf das Jahr 2070 (nach EAK 1993; MBLU 1995; * DIETRICH et al. 2000)	53
Tab. 13: Dimensionslose Koeffizienten a und b bei linearer Regression (DAEMRICH 1999)	57
Tab. 14: Alarmstufen der Hochwassermelddienstverordnung (HwMDVO 1993)	67

Tab. 15: Umsetzung bestehender Gebäude.....	95
Tab. 16: Bauen in erhöhter Lage	96
Tab. 17: Ringdeichung.....	97
Tab. 18: Dichtung gegen Wassereintritt	98
Tab. 19: Minderung des Schadenspotentials unter Zulassung des Wassereintritts.	99
Tab. 20: Ausgewählte Verteilungsfunktionen und deren Dichtefunktionen zur extremwertstatistischen Beurteilung von Hochwasserstandsdaten (DVWK 1999)	115
Tab. 21: Güte der Anpassung verschiedener Verteilungsfunktionen an die gemessenen Jahreshöchstwasserstände am Pegel Travemünde mit und ohne November 1872 entsprechend statistischer Tests (RW = Rechenwert; GW = Grenzwert)	119
Tab. 22: Hochwasserstände definierter Wiederkehrperioden in Abhängigkeit von der Verteilungsfunktion am Pegel Travemünde (mit: Daten im Zeitraum 1926 bis 2000; ohne: Daten im Zeitraum 1926 bis 2000 ohne Nov. 1872).....	122
Tab. 23: Gesichtspunkte beim Bau von technischen Hochwasserschutzanlagen in Form konventioneller Lösungen und von Sturmflutsperrwerken	155
Tab. 24: Einsatzmöglichkeiten mobiler und temporärer Hochwasserschutzanlagen an der deutschen Ostseeküste.....	169
Tab. 25 (Fortsetzung): Entwurf eines neuen Hochwasserwarnsystems für deutsche Küsten- und Flussgebiete (teilweise in Anlehnung an EA 2000)	173

1 Problemstellung, Zielsetzung und Vorgehensweise

Sturmflutereignisse weisen an der Ostsee trotz der Randlage zum Atlantischen Ozean und der stark ausgeprägten Binnenmeercharakteristika ein hohes Gefährdungspotential auf. Die höchsten bisher gemessenen Wasserstände an den Pegeln der deutschen Außenküste der Ostsee wurden 1872 nach anhaltenden Nordoststürmen mit bis zu NN +3,76 m (Pegel Eckernförde) erreicht. Das Hochwasser richtete erhebliche Schäden an. An der südwestlichen Ostseeküste starben 271 Menschen infolge des Ereignisses (WEISS, BIERMANN 1996). Sturmfluten an der Ostsee sind insbesondere wegen der langen Verweilzeiten hoher Wasserstände bei geringem Tideeinfluss und der kurzen Vorwarnzeiten gefährlich.

An der deutschen Ostseeküste sind rund 70 % der Küstenlinie überflutungsgefährdet. Während der überwiegende tiefliegende und küstennahe Flächenanteil dem ländlichen Bereich zuzuordnen ist, befindet sich der größte Anteil der potentiell gefährdeten Sachwerte in städtischen Gebieten (MLR 1998; StAUN 1995). Trotz des in jüngster Zeit insbesondere in den Küstenstädten Mecklenburg-Vorpommerns stark anwachsenden Schadenspotentials im Überflutungsraum befinden sich die Hochwasserschutzanlagen an der Ostseeküste häufig in einem unbefriedigenden Zustand. Hohe Wasserstände können ungehindert in schützenswerte Bereiche eindringen und diese meterhoch überfluten. Auch erst jüngst errichtete Wohn- und Gewerbegebiete können von Überflutungen betroffen sein, da bei der Bauplanung oftmals Hochwasserschutzaspekte nur eine untergeordnete Beachtung finden. Diese Planungsdefizite sind insbesondere in widersprüchlichen Leitbildern der beteiligten Behörden begründet. Die Ausweisung von Baugebieten wird von den Städten und Gemeinden vorgenommen, während die Zuständigkeit für den Küsten- und Hochwasserschutz auf Seiten der Länder und des Bundes liegen. Die Planungshoheit für den Küsten- und Hochwasserschutz übernehmen die jeweiligen Küstenländer, während der Bund sowie die Europäische Union die Baumaßnahmen finanziell unterstützen.

Planungsgrundlagen des Küsten- und Hochwasserschutzes der Länder Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern sind die jeweiligen Generalpläne (MELF 1986 bzw. MLR 2001a; MBLU 1995), die sich in erster Linie auf die technische Seite des vorbeugenden Küsten- und Hochwasserschutzes beziehen. Weitergehende Aspekte des Hochwasserschutzmanagements werden im Generalplan Mecklenburg-Vorpommerns (MBLU 1995) nicht und im Entwurf des Generalplans von Schleswig-

Holstein (MLR 2001a) untergeordnet betrachtet. Den Planungsunterlagen entsprechend umfassen die realisierten Hochwasserschutzmaßnahmen in erster Linie den vorbeugenden technischen Hochwasserschutz mit Deichen und Dünen.

Ein grundsätzliches Problem beim Ausbau technischer Hochwasserschutzanlagen an der deutschen Ostseeküste stellen die beschränkten finanziellen Mittel dar. Insgesamt sind in letzter Zeit jährlich rund 21 Mio. Euro an der deutschen Ostseeküste in den Küsten- und Hochwasserschutz von Seiten des Bundes, des Landes sowie der Europäischen Union investiert worden. Dem gegenüber steht beispielsweise die Investitionssumme allein für den geplanten Bau des Sturmflutsperrwerks zum Schutz der Hansestadt Greifswald mit rund 25 Mio. Euro.

Spezielle Probleme des vorbeugenden baulichen Hochwasserschutzes für Stadtgebiete ergeben sich aus den städtebaulichen Randbedingungen. Oftmals reicht die Bebauung direkt an die Küstenlinie heran, so dass kein Raum für Hochwasserschutzanlagen in konventioneller Bauweise vorhanden ist. Die Planungen werden erschwert durch den Anspruch auf freie Sichtbeziehungen zur Erhaltung der Wohn- und Freizeitqualität sowie zur Befriedigung der Bedürfnisse des in der Region wichtigen Wirtschaftsfaktors Tourismus. Regelungen und Maßnahmen zum privaten Hochwasserschutz sind insbesondere bei Industrieansiedlungen im Überflutungsraum notwendig, die häufig in Verbindung mit der Schifffahrt und der infrastrukturellen Nutzung von Hafenanlagen stehen.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, ein Hochwasserschutzkonzept an der deutschen Ostseeküste im Spannungsfeld von Schutzanspruch, städtebaulichen und landschaftsplanerischen Randbedingungen sowie beschränkten finanziellen Mitteln zu entwickeln und darzulegen. Hierbei reicht es nicht, allein den vorbeugenden baulichen Hochwasserschutz zu betrachten, der selbst bei hohem Ausbaugrad nur einen begrenzten Schutz gegen sehr hohe Wasserstände und Seegangbelastungen bieten kann, da jede Anlage bei Erreichen der Bemessungsparameter und infolge von Alterungsprozessen und Baufehlern auch bei geringeren Belastungen versagen kann. Eine Optimierung des Hochwasserschutzes und damit eine Minimierung des bei Hochwasser zu erwartenden Schadens kann nur bei Betrachtung aller in das Hochwasserrisiko eingehenden technischen und nichttechnischen Faktoren erfolgen. Die vorliegende Arbeit behandelt die folgenden drei Themenbereiche bezüglich der Verhältnisse an der deutschen Ostseeküste:

- Beschreibung der naturräumlichen Grundlagen sowie der in der Vergangenheit aufgetretenen Sturmfluten

- Rechtsgrundlagen, Organisation, Finanzierung und aktueller Stand des Hochwasserschutzmanagements
- Entwicklung eines zukünftigen Hochwasserschutzmanagements

Die Einschätzung der in Zukunft zu erwartenden Trends der Mittelwasserlagen sowie der Scheitelstände und Verweilzeiten von Sturmflutwasserständen an der deutschen Ostseeküste erfordert die Kenntnis der naturräumlichen und physikalischen Grundlagen der Sturmflutentstehung. Eine zusammenfassende aktuelle Darstellung dieser Grundlagen existiert im Schrifttum nicht und wird deshalb eingangs im Rahmen der Arbeit gegeben.

Die Zuständigkeiten und die Organisation des Hochwasserschutzmanagements werden in Gesetzen und Generalplänen festgelegt, die hiermit die Grundlage der Schutzmaßnahmen bilden. Da die Planung und Durchführung von Hochwasserschutzmaßnahmen an den deutschen Küsten eine Gemeinschaftsaufgabe von Bund und Küstenländern darstellt, werden die jeweiligen Gesetze und Planungsgrundlagen des Bundes sowie der Länder Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern erläutert. Eine vergleichende Darstellung der Rechtsgrundlagen und Zuständigkeiten der Länder zeigt Unterschiede und Gemeinsamkeiten auf. Hieran schließt eine Dokumentation des bestehenden Hochwasserschutzmanagements an der deutschen Ostseeküste an. Der vorbeugende bauliche Hochwasserschutz stellt hierbei den Maßnahmenschwerpunkt dar und wird lediglich ergänzt durch Ansätze zur Ermittlung des Schadenspotentials im überflutungsgefährdeten Raum, durch die Hochwasservorhersage sowie durch den bezüglich der Gefahren von Sturmflutereignissen bestehenden Katastrophenschutz.

Ausgehend vom aktuellen Stand wird ein weitergehendes und verbessertes Hochwasserschutzmanagement an der deutschen Ostseeküste dargestellt. Hierbei werden die folgenden Aspekte eingehend erläutert:

- Minimierung des Schadenspotentials
- Bemessung von Hochwasserschutzbauwerken
- Beschreibung spezieller Bauwerke zum Hochwasserschutz und Bewertung ihrer Einsatzmöglichkeiten an der deutschen Ostseeküste
- Verbesserung der Hochwasserwarnung und des Katastrophenschutzes

Eine zusammenfassende Betrachtung dieser Themenbereiche ist zur Optimierung des Hochwasserschutzes, insbesondere unter Berücksichtigung der begrenzten finanziellen Mittel, notwendig. Hierbei werden in erster Linie sicherheitstechnische, aber auch stadt- und landschaftsplanerische Anforderungen berücksichtigt.

2 Naturräumliche Grundlagen

Die bezüglich der Entwicklung von Sturmfluten zu berücksichtigenden naturräumlichen Grundlagen beziehen sich auf klimatische, topographische und hydrologische Aspekte, wobei letztere hinsichtlich Wasserstände, Seegang und Eisgang schwerpunktmäßig behandelt werden.

2.1 Klimatische Randbedingungen

Die deutsche Ostseeküste liegt im Bereich des Übergangs vom nordatlantischen Seeklima im Westen zum Kontinentalklima im Osten. Dieses Übergangsklima wird überlagert durch den Einfluss des Wasserkörpers Ostsee mit seiner Wärmespeicherfähigkeit und damit temperaturdämpfenden und feuchtigkeitsspendenden Wirkung über einen 10 bis 30 km, auf Rügen bis maximal 50 km breiten Küstenstreifen (NIEDERMEYER et al. 1995).

Die Ostsee liegt im Bereich des Westwindgürtels der nördlichen Hemisphäre. Es dominieren im Mittel West- bis Südwestwinde. Die niedrigsten Windgeschwindigkeiten werden im Mai und Juni mit im Mittel 4 – 5 m/s und die höchsten im Dezember mit im Mittel 7 bis 9 m/s beobachtet (TIESEL 1995). Über der offenen Ostsee sind die Windgeschwindigkeiten, insbesondere wegen der geringeren Reibung, im allgemeinen um 1 bis 2 Windstärken (Beaufort) höher als im Binnenland (TIESEL 1995).

2.2 Küstenform

Eine Übersicht über die deutsche Ostseeküste ist in Abb. 1 dargestellt. Von West nach Ost liegen die folgenden Küstentypen vor: Die schleswig-holsteinische Fördenküste, die holsteinisch-westmecklenburgische (Groß-) Buchtenküste, die mecklenburgische Ausgleichsküste und die vorpommersche Boddenküste (DUPHORN et al. 1995).

Die Länge der deutschen Ostseeküste beträgt 2247 km; 1712 km (MBLU 1995) im Bundesland Mecklenburg-Vorpommern und 535 km (STERR 1993) in Schleswig-Holstein. Im Vergleich hierzu beträgt die Länge der deutschen Nordseeküste lediglich 1155 km (STERR 1993). Rund 70 % der Ostseeküste sind sogenannte Innenküsten. Hierzu zählen die Küsten der Förden Schleswig-Holsteins und die durch Inseln oder Halbinseln von der offenen See getrennten Boddenküsten Mecklenburg-Vorpommerns. Ein weiteres wichtiges Gliederungsmerkmal der Ostseeküste sind die sich abwechselnden Steil- und Flachküsten. In Schleswig-Holstein liegen 148 km

der Gesamtlänge der Außenküsten als Steilküste vor (EIBEN 1992). In Mecklenburg-Vorpommern gliedert sich die Außenküste in 226 km Flachküste und 128 km Steilküste (MBLU 1995).

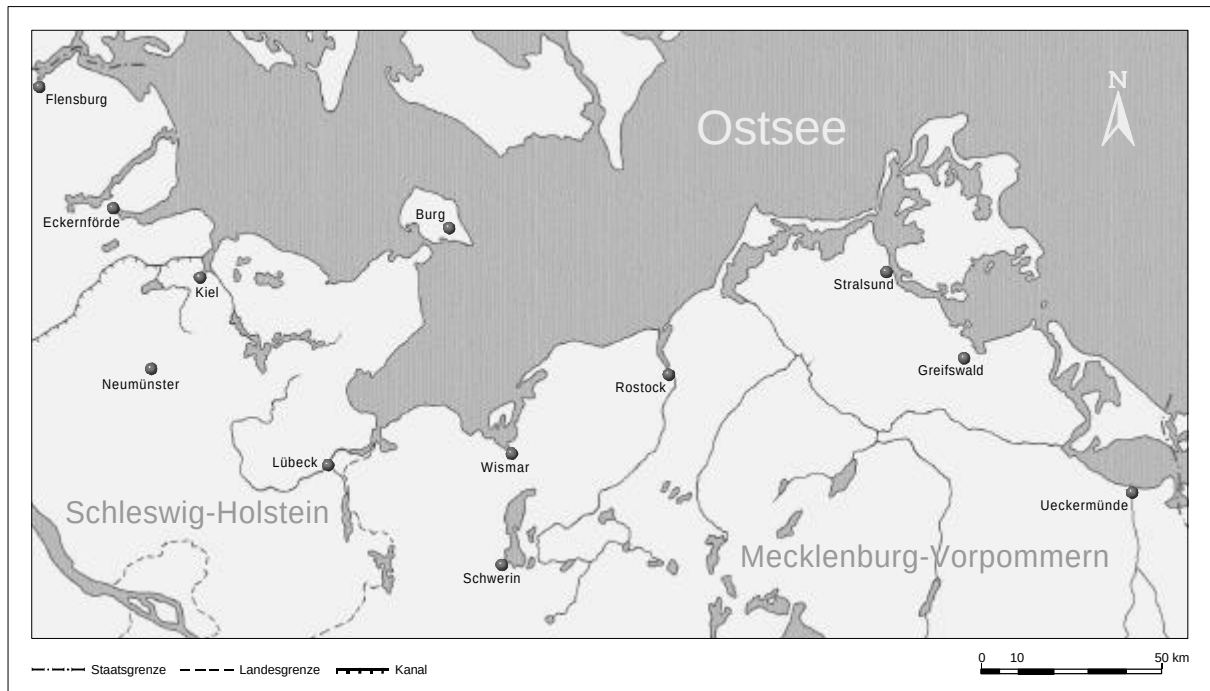


Abb. 1: Die deutsche Ostseeküste

Die Ausformung der deutschen Ostseeküste unterliegt ständigen Änderungen. Treibende Kräfte der Umformungen sind Wind und Seegang sowie Brandung und Brandungsströmungen. An den Außenküsten ist die Küstendynamik wegen der höheren Seegangsbelastung ausgeprägter als an den Innenküsten. Rund 70 % der Außenküsten weisen einen negativen Sedimenthaushalt mit jährlichen Rückgangsraten von insgesamt 0,2 bis 0,3 m auf; die mittleren jährlichen Abtragungsraten verschiedener Küstenabschnitte variieren zwischen 0,1 und 1,0 m (DUPHORN et al. 1995). In der Regel wird an Flachküsten ein stärkerer Küstenrückgang als an Steilküsten festgestellt; ebenso werden sandige Küstenabschnitte schneller erodiert als Abschnitte mit bindigen Böden, hier zumeist Geschiebemergel. Die stärksten in kurzer Zeit ablaufenden Küstenumformungen gehen mit Sturmfluten einher; in nur wenigen Tagen können Küstenrückgänge von bis zu 20 m erfolgen (DUPHORN et al. 1995).

Akkumulation und Erosion sind einerseits auf lang andauernde Belastungen bei mittleren Wasserständen und mittleren Seegangsbedingungen und andererseits auf stoßweise Belastungen unter Extrembedingungen zurückzuführen. Küstenabschnitte, die unter mittleren Bedingungen einen positiven oder ausgeglichenen

Sedimenthaushalt aufweisen, können Rückgänge infolge hoher Wasserstände und hoher Seegangsbelastung u.U. ganz oder teilweise nach einem Extremereignis wieder ausgleichen.

2.3 Wasserstände

Wasserstandsänderungen an der Ostsee entstehen infolge eines komplexen Zusammenwirkens in erster Linie meteorologisch-hydrologischer Einflüsse und in untergeordneter Weise astronomisch bedingter Tideeinflüsse. Hauptsächlich führt die direkte Windschubwirkung zu starken Änderungen des Wasserspiegels, allerdings spielt auch die meteorologische Vorgeschichte eine herausragende Rolle. Sie hat Einfluss auf den Füllungsgrad der Ostsee und auf die Entstehung und den Verlauf von Eigenschwingungen. Zusätzlich wirken sich die Gezeiten und der Luftdruck auf den Wasserstand aus. Extreme Hochwasserstände von über 1,50 m über Mittelwasser entstehen an der deutschen Ostseeküste nur im Zusammenhang mit Windstau (vgl. WEISS, BIERMANN 1996). Die einzelnen Einflussfaktoren auf den Wasserstand werden im folgenden näher erläutert.

Die absolute Höhe des Wasserspiegels hängt einerseits von den aktuellen meteorologischen und astronomischen Verhältnissen ab. Andererseits spielt die Lage des langjährigen mittleren Wasserspiegels eine Rolle. Sie stellt keine feste Größe dar, sondern ändert sich über lange Zeiträume infolge von Vertikalbewegungen der Erdkruste und Veränderungen des Wasserhaushalts.

Zur Einordnung historischer Wasserstandsdaten ist die Kenntnis der jeweiligen Mittelwasserlage von Bedeutung. Für die Planung des künftigen Hochwasserschutzes werden gesicherte Prognosen des mittleren Wasserstandes für das nächste Jahrhundert benötigt. Deshalb werden zunächst Untersuchungsergebnisse zu den langfristigen Wasserstandsschwankungen an der deutschen Ostseeküste dargestellt.

2.3.1 Langfristige Wasserstandsschwankungen

Prognosen zur Lage des mittleren Meeresspiegels stehen in engem Zusammenhang mit der Diskussion um natürliche und anthropogene Einflüsse auf das Klima, deren Abschätzungen im globalen und regionalen Maßstab durchgeführt werden. Bei der globalen Betrachtung von Meeresspiegelschwankungen wird lediglich der eustatische, also der durch Änderungen im Wasserhaushalt der Erde hervorgerufene Anteil einbezogen. Bei der regionalen Betrachtungsweise kommen der isostatische und der tektonische Anteil hinzu (Abb. 2). Die Isostasie beschreibt den Gleichgewichtszustand zwischen Teilen der Erdkruste und der darunter befindlichen Zone des Erd-

mantels. Die Tektonik ist ein Teilgebiet der Geologie, das sich mit den inneren Bewegungen der Erdkruste befasst.

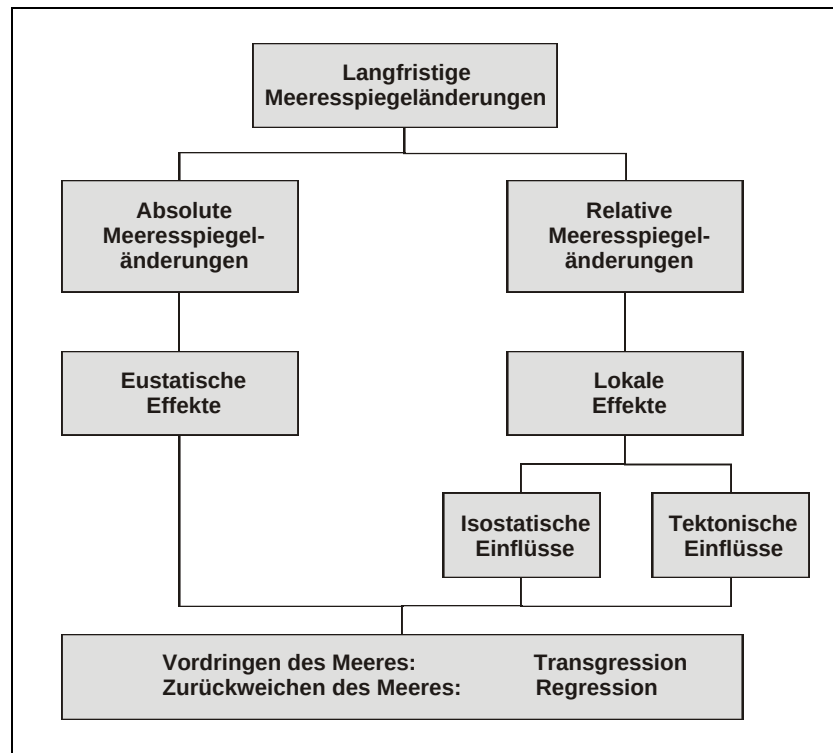


Abb. 2: Systematik der Meeresspiegeländerungen (nach DIECKMANN 1996)

Im folgenden werden die Prognosen zum globalen Meeresspiegelanstieg getrennt von den in der Vergangenheit ermittelten bzw. für die Zukunft prognostizierten Meeresspiegelschwankungen in der Ostsee dargestellt.

2.3.1.1 Globaler Klimawandel

Nach dem Bericht des Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC (IPCC 2001), ist die globale mittlere Lufttemperatur an der Erdoberfläche während des 20. Jahrhundert um $0,6 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ gestiegen. Zudem kann angenommen werden, dass die mittlere globale Lufttemperatur an der Erdoberfläche im 20. Jahrhundert mindestens genauso hoch war wie die der vorigen sieben Jahrhunderte (HOUGHTON et al. 1996). Für das 21. Jahrhundert wird von einer Erhöhung der mittleren Lufttemperatur an der Erdoberfläche von $1,4$ bis $5,8^{\circ}\text{C}$ ausgegangen (IPCC 2001). Regional können die Temperaturänderungen erheblich vom globalen Mittelwert abweichen.

Der mittlere globale Meeresspiegelanstieg betrug unter Berücksichtigung verschiedener Untersuchungen zwischen 10 und 25 cm in den letzten 100 Jahren

(WARRICK et al. 1996). Eine Beschleunigung des Meeresspiegelanstiegs während der letzten 100 Jahre ist nicht erkennbar, allerdings ist der mittlere Anstieg im letzten Jahrhundert signifikant höher als die mittlere Anstiegsrate der letzten zwei Jahrtausende. Der Zeitpunkt der Beschleunigung des Anstiegs ist aus den vorhandenen Daten nicht erkennbar (WARRICK et al. 1996). Für den zukünftig zu erwartenden mittleren globalen Meeresspiegelanstieg wird vom IPCC (2001) eine Spanne von 0,09 bis 0,88 m bis zum Ende des 21. Jahrhunderts angegeben.

Der größte Anteil des bis zum Jahr 2100 prognostizierten Meeresspiegelanstiegs wird nach WARRICK et al. (1996) auf die thermische Expansion des Wasserkörpers bei steigender Lufttemperatur zurückzuführen sein. Als weiterer signifikanter Anteil gilt der Schmelzwasserüberschuss von Gletschern und Eiskuppen.

In welcher Form Änderungen des Oberflächen- und Grundwasserspeichers den Meeresspiegel beeinflusst haben, kann nicht eindeutig festgestellt werden. Die Anlage von Stauseen lässt den Meeresspiegel tendenziell sinken und Grundwasserentnahmen, Abholzung und der Verlust von Sumpfgebieten lässt den Meeresspiegel tendenziell steigen. Insgesamt werden die direkten anthropogenen Eingriffe in den Wasserhaushalt wahrscheinlich auch in Zukunft nur einen geringen Einfluss auf die Meeresspiegelentwicklung haben und lediglich einige Zentimeter in den nächsten hundert Jahren betragen (WARRICK et al. 1996).

Regionale Abweichungen vom globalen Mittelwert des Meeresspiegelanstiegs treten infolge unterschiedlicher Meeresströmungen, unterschiedlicher Luftdruck- und Windverhältnisse sowie tektonischer und isostatischer Einflüsse auf.

2.3.1.2 Langfristige Wasserstandsschwankungen im Ostseeraum

Während der mehrere Jahrtausende andauernden letzten Eiszeit, der Weichseiszeit, die vor rund 15.000 Jahren endete, war das gesamte heutige Ostseegebiet mit Inlandeis bedeckt. Mit dem Abschmelzen der Eismassen stellten sich verschiedene Beckenformen mit unterschiedlichen Zustrom- und Salinitätsverhältnissen ein. Diese Prozesse gingen und gehen noch immer mit regional unterschiedlichen Vertikalbewegungen der Erdkruste (hauptsächlich Isostasie) und direkt klimabedingten Wasserstandsänderungen (Eustasie) einher.

Die Belastung Skandinaviens, des Ostseeraumes und der norddeutschen Tiefebene während der Weichseiszeit mit Inlandeismassen, die über Skandinavien Mächtigkeiten von bis zu 3.000 m aufwiesen (WOHLSTEDT 1958), führten zu einem Absinken der Erdkruste, während die anschließende Entlastung der Erdkruste durch Eis-

schmelze einen Hebungsprozess nach sich zog. Durch die lang anhaltende zusätzliche Eisbelastung bog sich die Erdkruste langsam durch und verdrängte das zähe Erdmagma zum Teil zu den Seiten hin. In den Regionen hoher Eisbedeckung senkte sich somit die Erdkruste, während sie sich in den Außenbereichen mit geringerer Eisbedeckung wahrscheinlich hob (KÖSTER 1995). Mit dem Abschmelzen des Eises setzte dann der gegenläufige Prozess ein.

Wegen der hohen Zähigkeit des Magmas benötigen die Hebungs- und Senkungsvorgänge sehr lange Zeiträume und sind bis in die heutige Zeit nachweisbar. Im Kernbereich der isostatischen Bewegungen im Nordwesten des Bottnischen Meerbusens betrugen die maximalen Hebungen mehr als 3 m / 100 Jahre und liegen gegenwärtig bei knapp 1 m / 100 Jahre (KÖSTER 1995). Von hier aus nehmen die isostatischenhebungsbeträge nach allen Seiten hin ab.

Innerhalb des Verbundvorhabens des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie "Klimaänderung und Boddenlandschaft" wurde die relative Meeresspiegelentwicklung im Nordosten Rügens, einem Gebiet nahe des Pegels Saßnitz, anhand des Fazieswechsels im Küstenholozän untersucht. Ergebnis dieser Untersuchungen ist die Hypothese eines klimatisch kontrollierten, von Regressionen und Transgressionen gekennzeichneten Meeresspiegelanstiegs im Holozän (SCHUMACHER et al. 1998). Temperaturschwankungen im Holozän haben danach zu einem wiederholten Vorstoß bzw. Rückzug des Eises geführt, womit wiederholte isostatische Hebungs- und Senkungsvorgänge verbunden waren. Hiermit kann insbesondere in den Randbereichen der Eisbedeckung während der Weichseleiszeit nicht nur von einer Hebungs- mit anschließender Senkungsphase, sondern von einem mehrfachen Wechsel der Senkungs- und Hebungsvorgänge ausgegangen werden mit denen jeweils ein Vordringen (Transgression) und Zurückweichen (Regression) des Meeres verbunden war.

KLUG (1980) kommt ebenso zu dem Ergebnis, dass der Meeresspiegel der Ostsee während der letzten 6.000 Jahre nicht kontinuierlich, sondern phasenhaft in Wellenbewegungen gestiegen ist. Grundlage dieser Aussage sind morphologische Feldarbeiten, Pollenanalysen und C^{14} -Datierungen in sieben Küstengebieten zwischen der Flensburger Förde und dem Oldenburger Graben nördlich von Neustadt in Holstein.

KLIEWE, JANKE (1978) haben für das Küstengebiet Rügen bis Swinemünde die Entwicklung des Meeresspiegels der letzten 7.000 Jahre untersucht und einzelne Zeitabschnitte unterschieden für die eine Transgression, Regression oder Stagnation nachgewiesen werden konnte. Die zeitliche Lage der jeweiligen Phasen stimmt gut mit den Untersuchungen von KLUG (1980) überein, allerdings divergieren

die Absolutbeträge der jeweiligen Wasserstände. KLUG (1980) interpretiert die Ergebnisse in der Form, dass die Regressions- und Transgressionsphasen eustatisch bedingt sind, da für den betrachteten, relativ kurzen Zeiträume gegenläufige Vertikalverschiebungen der Erdkruste an einem Ort als unwahrscheinlich angenommen werden können. Die Abweichungen in den Absolutwerten des mittleren Wasserspiegels an der schleswig-holsteinischen und an der vorpommerschen Küste interpretiert KLUG (1980) in einer unterschiedlichen oder sogar gegenläufigen Hebung und Senkung der Erdkruste in den verschiedenen Untersuchungsgebieten, wobei insbesondere unterschiedliche Beträge der isostatischen Höhenverschiebung eine Rolle spielen. Überlagert werden die isostatischen Verschiebungen durch tektonisch bedingte Hebungen und Senkungen, da der Ostseeraum von vielen tektonischen Störungen verschiedener Größenordnung und Richtung durchquert ist.

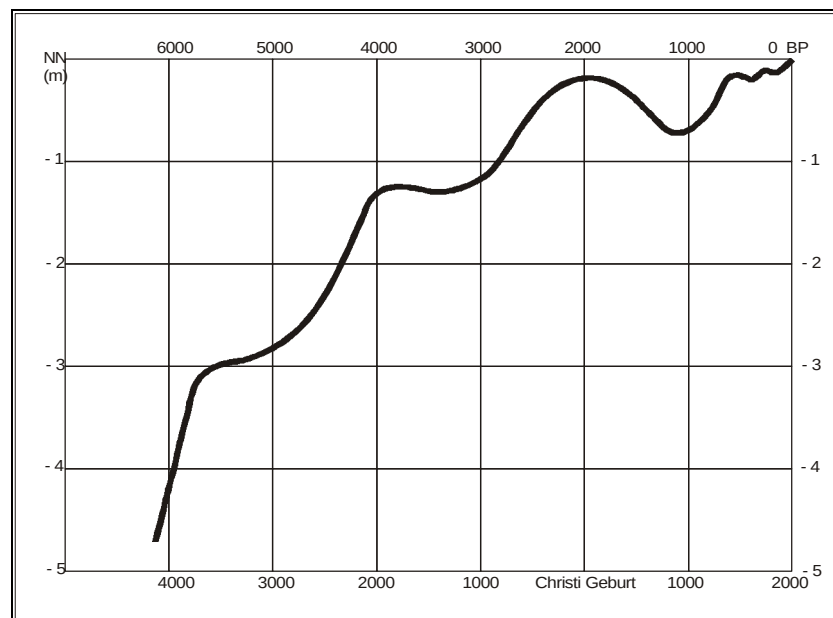


Abb. 3: Meeresspiegelanstieg an der südwestlichen Ostsee unter Berücksichtigung unterschiedlicher Untersuchungen an der Schleswig-Holsteinischen Küste nach KLUG (1980)

In Abb. 3 ist der Meeresspiegelanstieg an der Schleswig-Holsteinischen Ostseeküste in den letzten 6.000 Jahren unter Berücksichtigung unterschiedlicher Untersuchungen entsprechend KLUG (1980) dargestellt. Der Meeresspiegel der südwestlichen Ostsee soll um die Zeitenwende bereits nur wenig unter dem heutigen Stand und im Jahre 1000 n.Chr. weniger als 1 m unterhalb des heutigen Standes gelegen haben.

Aus Pegelmessungen ermittelte Linien gleicher Meeresspiegeländerung in der Ostsee und regional abweichende Einzelbeträge sind in Abb. 4 dargestellt. Hierbei sind die drei Anteile Isostasie, Tektonik und Eustasie enthalten. Die aktuelle Null-Linie der Meeresspiegeländerung verläuft nach ROSSITER (1967) vom Kattegat über den äußersten Süden Schwedens nach Lettland. Hierzu existieren jedoch je nach Bearbeiter und Untersuchungsmethode unterschiedliche Angaben in der Literatur (LAMPE 1996). So verläuft die aktuelle Null-Linie entweder über Südschweden oder über Rügen und Nordpolen. Nördlich der Null-Linie sinkt der Meeresspiegel und südlich derselben steigt er an.

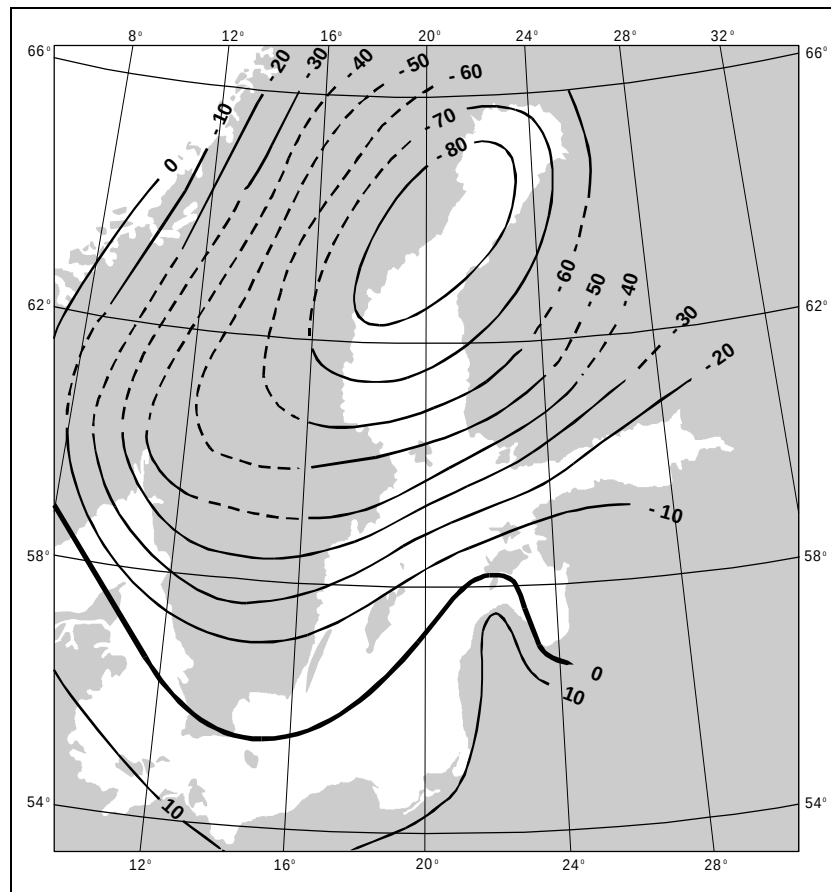


Abb. 4: Änderungen des Mittelwasserstands der Ostsee (in cm / 100 Jahre) nach Pegelbeobachtungen (durchgezogene Linie; angenommene Werte: gestrichelte Linie); positive Werte: Anstieg des Meeresspiegels, negative Werte: Absinken des Meeresspiegels) (aus KÖSTER 1995 nach ROSSITER 1967)

SCHUMACHER et al. (1998) prognostizieren unter Berücksichtigung der im Nordosten Rügens festgestellten Regressions- und Transgressionsphasen einen natürlichen Wasserspiegelanstieg bis zum Transgressionsmaximum in 300 bis 600 Jahren

von unter +0,5 m NN. Somit würde sich der gegenwärtig ermittelte eustatische Anstieg von rund 1 mm/a weiterhin fortsetzen. Diese Überlegungen ziehen jedoch keinen anthropogenen Anteil mit ein.

Für die Küste Mecklenburg-Vorpommerns hat WEISE (1990) für die Pegel Wismar, Warnemünde, Saßnitz und Koserow die in Tab. 1 zusammengestellten Niveauverschiebungen zwischen Land und Meer aus Wasserstandsdaten ermittelt. Die relative Wasserstandserhöhung für die Station Koserow wird wegen der nur kurzen zur Verfügung stehenden Zeitreihe als vorläufiger Wert betrachtet. Die Berechnungen wurden anhand von Monatsmittelwerten der Wasserstände durchgeführt, bei denen die in der südlichen Ostsee ermittelten fünf langperiodischen Zyklen mit Amplituden von 14 bis 88 mm und Perioden von 0,5 bis 3,3 Jahren eliminiert wurden. Die kurzperiodischen Meereszeiten sowie die Nodaltide ($T = 18,6$ a) sind in den Werten enthalten.

Station	Trend		Untersuchungszeitraum
Wismar	1,44 mm/a	$\pm 0,01$ mm/a	01 / 1900 – 10 / 1988
Warnemünde	1,20 mm/a	$\pm 0,01$ mm/a	01 / 1900 – 10 / 1988
Saßnitz	1,56 mm/a	$\pm 0,06$ mm/a	11 / 1961 – 10 / 1988
Koserow	(2,40 mm/a	$\pm 0,15$ mm/a)	01 / 1974 – 10 / 1988

Tab. 1: Relative Erhöhung der Mittelwasserstände an den Pegeln Wismar, Warnemünde, Saßnitz, Koserow (WEISE, 1990)

Langzeitstatistische Untersuchungen der Pegelreihen Wismar (1848–1992) und Warnemünde (1855–1992) zeigen, dass der geschätzte Trend über das Gesamtintervall von rund 140 Jahren von 1,2 mm/a durch den geschätzten linearen Trend der letzten 20 Jahre von 4 mm/a deutlich überschritten wird (LIEBSCH 1997). Ähnlich hohe Trends sind jedoch auch in früheren Zeitintervallen von 20 Jahren (z.B. 1885–1905, 1930–1950) aufgetreten. Nach LIEBSCH (1997) ist hierfür wahrscheinlich eine Meeresspiegelschwankung mit einer Zeitspanne von 25 bis 30 Jahren in einer Größenordnung von rund 15 mm verantwortlich. Ein beschleunigter Meeresspiegelanstieg konnte nach LIEBSCH (1997) an den Pegeln Wismar und Warnemünde nicht nachgewiesen werden.

Die Analyse von Langzeit-Pegelreihen an der Küste Mecklenburg-Vorpommerns und in angrenzenden Gebieten ergibt die in Abb. 5 dargestellten Langzeittrends des Meeresspiegels. Hierbei stehen u.a. Pegelreihen von Wismar (seit 1848), Warnemünde (seit 1855), Barth (seit 1863) und Saßnitz (seit 1882) zur Verfügung

(DIETRICH; LIEBSCH 2000). Die örtlich unterschiedlichen Anstiegsraten an der Mecklenburg-Vorpommerschen Küste weisen in der Lübecker Bucht Werte von 1,6 mm/a und im Gebiet Nordrügens von 0,6 mm/a auf.

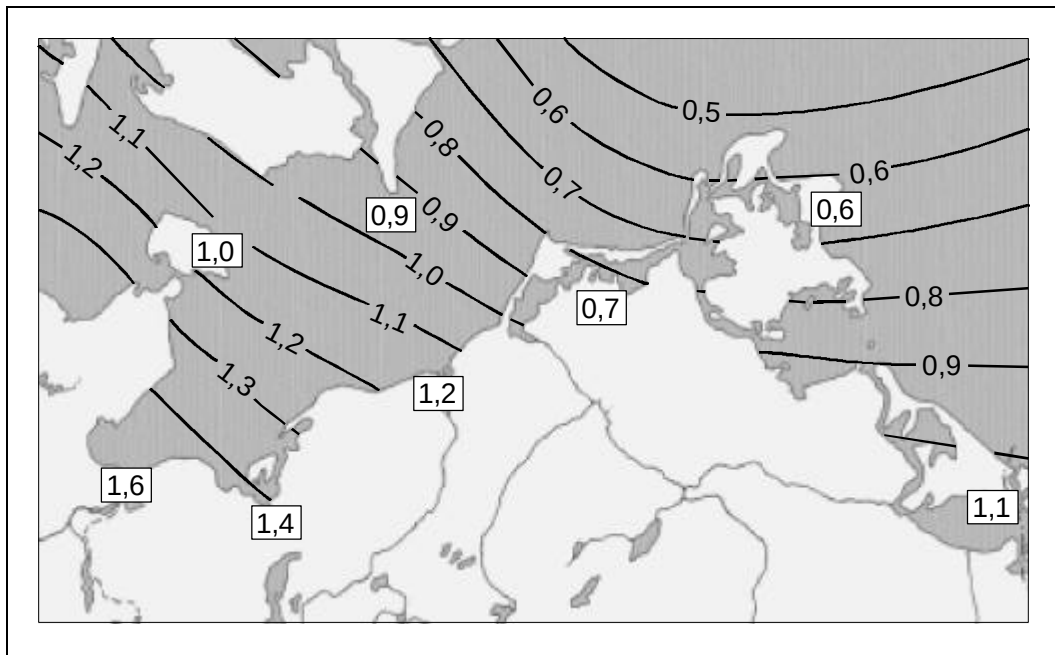
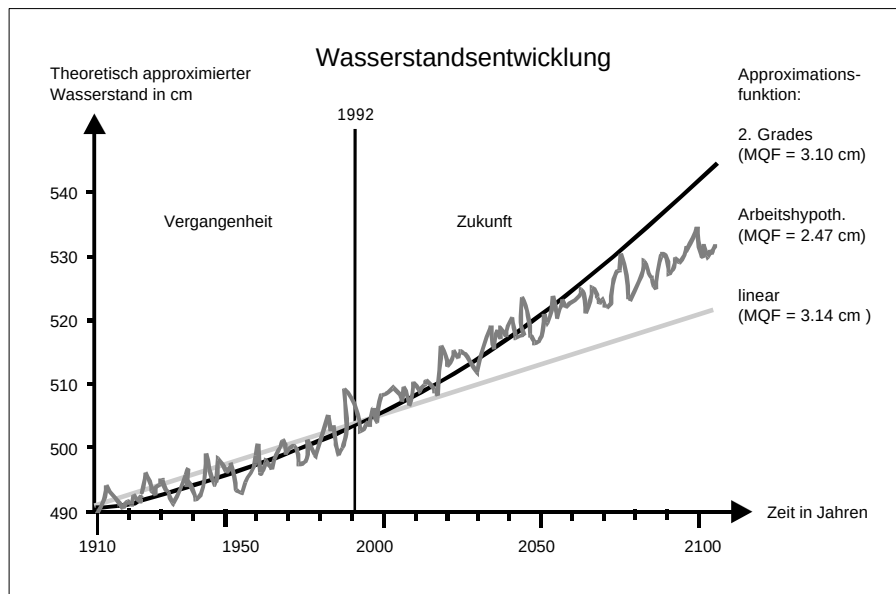


Abb. 5: Langfristige Meeresspiegeländerungen in mm/a im südlichen Ostseeraum (DIETRICH; LIEBSCH 2000)

STIGGE (1994b) berechnete anhand der seit 1909 in den Gewässerkundlichen Jahrbüchern publizierten Jahresmittelwasserstände der Stationen Wismar und Warnemünde den zu erwartenden säkularen Meeresspiegelanstieg im 21. Jahrhundert. Bei der Analyse der Daten wurden periodische Anteile wie Nodaltide, Sonnenaktivität und Klimaanteile, die in verschiedenen früheren Untersuchungen festgestellt wurden, berücksichtigt, sofern sie eine Periode von mindestens 3 Jahren aufwiesen. Das Ergebnis der Untersuchung ist in Abb. 6 dargestellt. Eine Beschleunigung des Wasserstandsanstiegs im 21. Jahrhundert in der Mecklenburger Bucht ist nach STIGGE (1994b) aus der Zeitreihe der Wasserstände nicht abzuleiten. Die mittlere quadratische Abweichung der von STIGGE (1994b) vorgeschlagenen Methode ist kleiner als bei der linearen Regression und beim Polynom 2. Grades. STIGGE (1994b) empfiehlt als Richtwert für den säkularen Meeresspiegelanstieg bis zum Jahr 2100 in der Mecklenburger Bucht 24 cm/100 a. Dieser Anstieg ist um 8 cm/100 a höher als derjenige aus dem linearen Ansatz und um 12 cm/100 a niedriger als unter Annahme eines gleichmäßig beschleunigten Meeresspiegelanstiegs ohne periodische Anteile. Für den von STIGGE (1994b)

gewählten Ansatz spricht, neben der Verringerung des mittleren quadratischen Fehlers, die Berücksichtigung der bekannten langperiodischen Zyklen der Wasserstandsentwicklung.



MQF: Mittlerer Quadratischer Fehler

Abb. 6: Voraussichtlicher säkularer Meeresspiegelanstieg der Mecklenburger Bucht im 21. Jahrhundert (STIGGE 1994b)

Pegel	Wasserstandsanstieg pro Jahr
Pegel in Schleswig-Holstein	1,5 mm/a bis zum Jahr 2000 3,0 mm/a ab dem Jahr 2001
Wismar	1,44 mm/a bis zum Jahr 2070
Saßnitz	1,56 mm/a bis zum Jahr 2070
Koserow	2,40 mm/a bis zum Jahr 2070

Tab. 2: Aktuell bei der Planung von technischen Hochwasserschutzanlagen an der deutschen Ostseeküste angesetzte Beträge des säkularen Meeresspiegelanstiegs (nach MLR 2001a; MBLU 1995)

Eine Beschleunigung des säkularen Wasserstandsanstiegs ist anhand des bisher vorhandenen Datenmaterials nicht sicher festzustellen. Eine Beibehaltung der an der deutschen Ostseeküste örtlich differierenden Beträge des bisher angesetzten säkularen Anstiegs ist somit ebenso begründet wie eine moderate Erhöhung der Anstiegsbeträge für das 21. Jahrhundert aufgrund eines hohen Sicherheitsbedürfnisses, vgl. Tab. 2.

2.3.2 Füllungsgrad

Der Füllungsgrad der Ostsee wird bestimmt durch die Höhe des Oberflächenwasserzuflusses sowie durch den Wasseraustausch mit der Nordsee. Wegen der vornehmlich im östlichen Teil der Ostsee mündenden abflussreichen Flüsse und aus der Dominanz der Windrichtungen W bzw. SW neigt sich der Wasserspiegel der Ostsee unter mittleren Bedingungen von Ost nach West. Nach WEISE (1990) beträgt die mittlere Neigung des Wasserspiegels zwischen Timmendorf auf Poel (11°23' geogr. Länge) und Ueckermünde (14°03' geogr. Länge) 3,46 cm pro geographischem Längengrad, so dass der Wasserspiegel in Ueckermünde im Mittel rund 9 cm über dem von Timmendorf liegt.

Bei über mehrere Tage wirkenden Starkwinden aus westlichen Richtungen kommt es zum verstärkten Einstrom von Nordseewasser und damit zu einem erhöhten Füllungsgrad der Ostsee. Der Prozess des Auffüllens der Ostsee dauert im Mittel zehn bis fünfzehn Tage an und erhöht den Wasserstandes relativ zum Mittelwasserstand um bis zu 20 cm am Pegel Landsort (Insel südlich von Stockholm gelegen) (BAERENS, HUPFER 1995).

2.3.3 Gezeiten

Halbtägige Gezeiten	Tidehub	Ganztägige Gezeiten	Tidehub
Beltsee	14 – 22 cm	Beltsee	18 – 30 cm
Schonen	7 – 14 cm	Arkona- und Bornholmsee	9 – 18 cm
Übrige Gebiete	< 7 cm	Übrige Gebiete	< 9 cm
Finnische Südküste	7 – 14 cm	Nördlicher Bottnischer und Finnischer Meerbusen	9 – 18 cm
Innerer Finnischer Meerbusen	7 – 14 cm	Innerer Finnischer Meerbusen	18 – 30 cm

Tab. 3: Tidehub halbtägiger und ganztägiger Gezeiten in der Ostsee (nach HUPFER 1979)

Die Gezeiten der Ostsee sind Mitschwingungsgezeiten der Nordsee. Sie lassen sich in halbtägige und ganztägige Gezeiten einteilen, deren Anteile phasenabhängig überlagert werden können. In der Ostsee beträgt der maximale halbtägige Tidehub 22 cm; der eintägige Tidehub erreicht maximal 30 cm (HUPFER 1979), Tab. 3. Damit liegt die größtmögliche Wasserstandserhöhung in der Ostsee durch den Einfluss der Gezeiten bei positiver Überlagerung der halbtägigen und eintägigen Gezeit

bei 0,25 m an der Beltsee. Im überwiegenden Teil der deutschen Ostseeküste beträgt die Erhöhung des Wasserstandes infolge des Gezeiteneinflusses bis zu 0,1 m. Im Vergleich zur Nordsee sind die Tidehübe der Ostsee damit sehr gering.

2.3.4 Eigenschwingungen

Die Wassermassen der Ostsee können bei schnell wandernden Windfeldern oder starken Luftdruckänderungen infolge der langgestreckten Beckenform zu resonanten Schwingungen, den sogenannten Eigenschwingungen oder Seiches, angeregt werden. Die damit verbundenen Wasserstandsänderungen haben eine Steig- bzw. Sinkgeschwindigkeit von maximal 0,1 m/h und erreichen eine Amplitude von maximal 1 m im östlichen Teil des Finnischen Meerbusens und am Gedser Riff (DHI 1959). Westlich vom Gedser Riff nimmt die Amplitude wieder ab.

Bedingung für ein stehendes Wellensystem wie den Eigenschwingungen ist es, dass die vorhandene Beckenlänge ein Vielfaches n der halben Wellenlänge beträgt. Bei der einknotigen Schwingung ($n=1$, Schwingung 1. Ordnung) liegt der Schwingungsknoten in der Mitte des Schwingungssystems und die Schwingungsbäuche an den Enden des Systems befinden sich in entgegengesetzter Phase. Bei der zweiknotigen Schwingung weisen die Schwingungsbäuche an den Enden des Systems die gleiche Phase auf, bei der dreiknotigen Schwingung stehen sie in entgegengesetzter Phase.

Die Amplituden der Eigenschwingungen sind abhängig von der Windstärke, der Winddauer, der Windrichtung, dem Luftdruck und der Ordnung der Eigenschwingung. Die Amplituden der Schwingungen erster Ordnung sind bei gleichen meteorologischen Bedingungen größer als die Amplituden der Schwingungen höherer Ordnung. Die Perioden der Eigenschwingungen hängen von der Windrichtung und der Ausformung des zur Schwingung zur Verfügung stehenden Beckens ab.

Die Form des Ostseebeckens und die Tiefenverhältnisse der Ostsee sind stark gegliedert. Die See teilt sich im Nordosten in zwei unterschiedliche Becken auf, die Bottensee und der Finnische Meerbusen. Hierbei besteht nur eine enge und flache Verbindung zwischen der Bottensee und der restlichen Ostsee. Bei einer betrachteten Hauptwindrichtung sind mehrere Reflexionsräume und damit auch mehrere unterschiedliche Perioden von Eigenschwingungen möglich. In der Ostsee werden im wesentlichen, abhängig von der meteorologischen Situation und dem Berechnungsgang, die folgenden drei Schwingungssysteme unterschieden:

- Gesamte Ostsee
- Zentrale Ostsee ohne den Bottnischen Meerbusen mit den Begrenzungen Westliche Ostsee – Finnischer Meerbusen

- Ostsee mit dem Bottnischen aber ohne den Finnischen Meerbusen

Die Knotenpunkte der Schwingungen erster Ordnung liegen zwischen den Åland-Inseln und Gotland. Die Eigenschwingungen erster Ordnung weisen im allgemeinen größere Amplituden als die höherer Ordnungen auf und sind deshalb bevorzugt zu betrachten. Der Pegel Landsort gilt als repräsentativ für den mittleren Wasserspiegel der Ostsee, da er im Schwingungsknoten der Eigenschwingungen erster Ordnung liegt (KRAUSS, MAGAARD, 1962; WÜBBER, KRAUSS, 1979). Infolge der Dämpfung der Eigenschwingungen werden selten mehr als drei oder vier Schwingungen beobachtet (BECKMANN, 1997).

Ordnung	2-dim. Modell Gesamte Ostsee (a)	1-dim. Modell Ostsee mit Bottn. ohne Finn. Meerbusen (b)	2-dim. Modell Zentrale Ostsee (a)	1-dim. Modell Zentrale Ostsee (b)
1	31,0 h	39,4 h	27,7 h	27,4 h
2	26,4 h	22,5 h	23,8 h / 18,6 h *	19,1 h
3	22,4 h	17,9 h	13,4 h	13,0 h
4	19,8 h	12,9 h	10,7 h	9,6 h

(a): nach: WÜBBER, KRAUSS 1979

(b): nach: KRAUSS, MAGAARD 1962

*: Zwei Eigenschwingungen 2. Ordnung in Abhängigkeit vom Einfluss des Rigaer Meerbusen

Tab. 4: Berechnete Perioden der Eigenschwingungen der Ostsee verschiedener Schwingungssysteme (nach WÜBBER, KRAUSS 1979 und KRAUSS, MAGAARD 1962)

Einige Berechnungsergebnisse zu den Perioden der Eigenschwingungen der Ostsee, die einerseits auf einem eindimensionalen Modell (NEUMANN 1941; KRAUSS, MAGAARD 1962) und andererseits auf einem zweidimensionalen Modell unter Berücksichtigung des ablenkenden Einflusses der Corioliskraft auf die Schwingung (WÜBBER, KRAUSS 1979) basieren, sind in Tab. 4 zusammengestellt. Je nach Schwingungssystem und Modell beträgt die Periode der Eigenschwingung erster Ordnung rund 27 bis 39 Stunden. Das in physikalischer Hinsicht sinnvollere zweidimensionale Modell liefert die Perioden der Eigenschwingungen erster Ordnung der Systeme Gesamte Ostsee sowie Zentrale Ostsee zu 31,0 bzw. 27,7 Stunden. Theoretisch können die unterschiedlichen Eigenfrequenzen zwar getrennt berechnet werden, in der Natur treten jedoch in der Regel Überlagerungen verschiedener Eigenfrequenzen und -amplituden auf (WÜBBER, KRAUSS 1979). Somit sind die bei verschiedenen meteorologischen Bedingungen zu erwartenden Amplituden und Frequenzen der Eigenschwingungen nur mit hoher Unsicherheit zu quantifizieren.

Eine besondere Art der Eigenschwingung sind die sogenannten Seebären (vom niederdeutschen Wort "boeren": heben). Seebären sind Eigenschwingungen von Wassermassen kleinerer Gebiete, z.B. Buchten. Die meteorologischen Ursachen sind lokaler Natur, z.B. Gewitterböen oder schnell durchziehende Luftdruckfronten. Der Wasserstand kann innerhalb von 15 bis 30 Minuten um 1 m ansteigen (HUPFER 1979).

2.3.5 Luftdruck

Änderungen des Luftdrucks haben einen Einfluss auf den Wasserstand. Unter einem Tief stellt sich eine Wasserstandserhöhung und unter einem Hoch eine Wasserstandserniedrigung ein. Die Wasserstandsänderung stellt sich wegen der Inkompressibilität des Wassers lediglich in Form von Ausgleichsströmungen ein.

Im Ostseeraum liegen die Extreme des Luftdrucks bei 930 bis 1070 hPa an der Meeresoberfläche, womit die maximale Luftdruckdifferenz 140 hPa beträgt. Extreme tägliche Luftdruckänderungen liegen bei 50 hPa. Im Normalfall werden jedoch nur Änderungen von 10 bis 15 hPa pro Tag erreicht.

Bei einem Luftdruckanstieg von 1 hPa sinkt der Wasserstand theoretisch um 1 cm. Wegen der Trägheit der Wassermasse und der raschen Zugbahn hoher Luftdruckgradienten weicht die Höhe der Wasserstandsänderung jedoch häufig von diesem Wert ab. Führt die Luftdruckschwankung zur Ausbildung einer Welle, kann die Wasserstandsschwankung pro hPa den theoretischen Wert übersteigen (TOMCZAK 1958), ansonsten ist die Änderung des Wasserstands wegen der trägen Anpassung der Wassermasse auf den statischen Druck oft geringer als 1 cm pro hPa. Nach ENDERLE (1981) kann der Effekt des Luftdrucks auf die Wasserspiegelhöhe in der Ostsee maximal 25 cm betragen.

2.3.6 Windwirklängen

Die Windwirklängen der Ostsee sind begrenzt. Zur nördlichen Bottensee und zur Bottenwiek hin wirken die Åland-Inseln und die von dort zur finnischen Küste reichenden Schären als Grenze. Die größte Windwirklänge an der deutschen Ostseeküste liegt in Nordost-Richtung mit rund 630 km vor Usedom. In der Kieler Bucht betragen die Streichlängen unter 100 km. Durch Eisbedeckung können die Windwirklängen stark verringert sein.

2.3.7 Windstau

Der Windstau ist der wichtigste Einflussfaktor hinsichtlich der Veränderung des Wasserstandes an den Ostseeküsten. Generell führt der Windstau an der Luv-Küste zur Verringerung des Wasserstands und an der Lee-Küste zur Erhöhung des Wasserstands. Die Erhöhung des Wasserstands beruht auf einer windgetriebenen Strömung in Windrichtung, der Triftströmung. Die antreibende Kraft ist die tangential zur Meeresoberfläche angreifende Schubspannung des Windes (Abb. 7), die proportional zum Quadrat der Windgeschwindigkeit ansteigt. Die Triftströmung nimmt mit der Tiefe exponentiell ab und wirkt nur in den oberen Dekametern der Wasserschicht (HUPFER 1979). Neben der Windgeschwindigkeit beeinflussen die Windwirklänge und damit die Windrichtung sowie die Winddauer entscheidend die Größe der Triftströmung. Je stärker und länger ein Wind über eine große Streichlänge weht, desto größer ist die Triftströmung. Ebenso hat die Böigkeit des Windes sowie der Temperaturgradient Luft-Wasser Einfluss auf die Höhe der Triftströmung. Je böiger und damit turbulenter die Luftströmung ist, um so größer ist die Anfachung der Triftströmung.

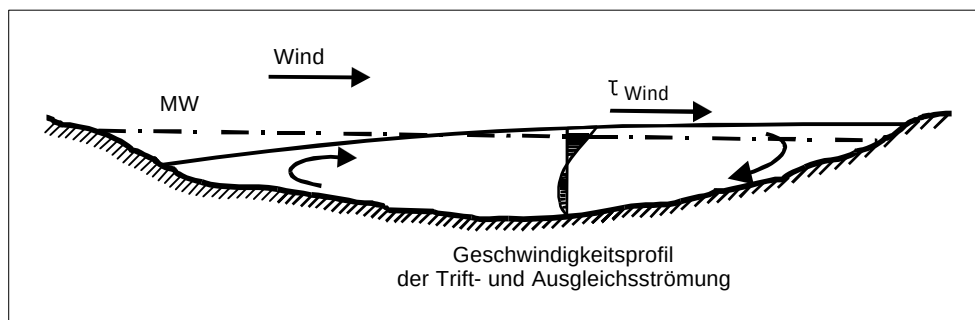


Abb. 7: Schematische Darstellung der Triftströmungen und des Windstaus in einem begrenzten Meeresbecken

Beim Auflaufen der Triftströmung auf Flachwassergebiete oder auf die Küste wird das Wasser angestaut. Die Höhe des Windstaus hängt neben der Größe der Triftströmung von der Ausbildung des Meeresbodens ab. In flachen Gewässern kann die winderzeugte Strömung über die gesamte Wassertiefe wirksam sein. Bei einem stetigen Zustrom von Wassermassen wird ein Wasserstandsgefälle und damit Druckgefälle aufgebaut. Dies führt zu einer Ausgleichsströmung, die der Triftströmung entgegengesetzt ist (Abb. 7). Die Rückströmung erfolgt in der bodennahen Schicht unter Einfluss der Bodenreibung. Ist die dem Rückfluss zur Verfügung stehende Wasserschicht nicht groß genug, kann infolge der Bodenreibung nicht genügend Wasser zum Ausgleich des Druckgefälles abgeführt werden. Der Anstieg des

Wasserstands an der Küste hält solange an, bis sich eine ausreichend mächtige Wasserschicht gebildet hat, die ein Gleichgewicht zwischen Zu- und Abstrom zulässt. Besonders hohe Windstaubeträge werden bei auflandigem Wind in Buchten aufgrund der Konzentration der kinetischen Energie der Triftströmung erreicht.

Die komplexen Einflussfaktoren auf den Windstau zeigen, dass eine direkte Zuordnung von Wasserständen auf entsprechende Windereignisse sehr schwierig ist. Hierzu müssten vor Ort Untersuchungen zur Erfassung der Einflüsse verschiedener Windfelder, Reibung, Topographie und Wassertiefen durchgeführt werden.

2.4 Seegang

Der Seegang entsteht ebenso wie der Windstau durch die Wirkung der Schubspannung eines über die Wasseroberfläche streichenden Windes. Höhe und die Periode der entstehenden Wellen sind abhängig von der Windgeschwindigkeit, der Winddauer, der Windwirklänge und der Wassertiefe. Bei der Betrachtung der Entwicklung des Seegangs von der Luvküste zur Leeküste hin herrscht direkt an der Luvküste ablandiger Wind und damit kein Seegang. Mit zunehmender Entfernung von der Küste nimmt die Höhe des Seegangs zu, die Ausbreitung der Seegangsenergie erfolgt in Wellenfortschrittsrichtung mit der Gruppengeschwindigkeit. Einer Wellengruppe wird Energie zugeführt, solange die Windgeschwindigkeit die Wellenfortschrittsgeschwindigkeit übersteigt. Bis zu diesem Gleichgewichtszustand muss die Wellengruppe eine von der antreibenden Windgeschwindigkeit abhängige Weglänge zurückgelegt haben. Ist der Gleichgewichtszustand erreicht, nehmen Wellenhöhe und Wellenperiode ein Maximum an. Dieser Zustand wird als ausgereifter Seegang bezeichnet.

Entsprechend Messungen vor der Probstei sind bei nordöstlichen Winden (Windstreichlänge 50 km) in den tiefer gelegenen Riffzonen bei Windgeschwindigkeiten von 25 bis 30 m/s (10 bis 11 Bft.) maximale Wellenhöhen von $H_{\max} = 4,5$ bis 4,8 m zu erwarten (MLR 2001a). Extremwertstatistische Analysen auf der Basis von Seegangsmessungen in tieferem Wasser (Mindesttiefe bei Mittelwasser: 8 m) vor Schönhagen, Heiligenhafen und Brodten haben signifikante Wellenhöhen von bis zu $H_s = 3,8$ m mit einer mittleren Wiederkehrperiode von 100 Jahren ergeben (Tab. 5). Nach MLR (2001a) sollen in Zukunft verstärkt Seegangsmessungen an der Schleswig-Holsteinischen Ostseeküste durchgeführt werden. An der Mecklenburg-Vorpommerschen Küste werden an 14 Stationen Pegel-, Seegangs-, Strömungs-, Wind- und Temperaturmessungen im Rahmen des Messnetzes "Internes Messnetz Küste Mecklenburg-Vorpommern" (IMK) vorgenommen (MBLU 1997).

Signifikante Wellenhöhen für ausgewählte mittlere Wiederholungszeiträume				
Projektgebiet	mittlerer Wiederholungszeitraum			
	10 Jahre	20 Jahre	50 Jahre	100 Jahre
Schönhagen	2,83 m	3,00 m	3,20 m	3,34 m
Heiligenhafen	3,08 m	3,29 m	3,58 m	3,79 m
Brodten	3,12 m	3,32 m	3,55 m	3,71 m

Tab. 5: Extreme Seegangseignisse in 3 Projektgebieten an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste (KÖHLHASE et al. 2000)

Beim Einlaufen des Seegangs in flaches Wasser verändern sich infolge Refraktion und Shoaling Wellenhöhe, Wellenperiode und Fortschrittsgeschwindigkeit. Hierbei kommt es je nach Ausbildung des Meeresbodens und der Küstenform zu einem Aufsteilen bzw. Abflachen des Seegangs und zur Änderung der Wellenrichtung. Bei weiterer Abnahme der Wassertiefe brechen die einlaufenden Wellen. In der Brandungszone wird die potentielle und die kinetische Wellenenergie einerseits reflektiert und in Brandungsströmungen umgesetzt, andererseits wird sie in Wärmeenergie umgewandelt. Die küstennahen morphologischen Verhältnisse können einen entscheidenden Einfluss auf die Wellenbelastung von Bauwerken und auf den Wellenaufbau ausüben. Nähere Angaben zu Refraktion, Shoaling, Brechen von Wellen sowie zu den bauwerksbedingten Effekten Reflexion und Diffraktion sind u.a. in EAK (1993) enthalten.

2.5 Eisverhältnisse

Die Eisbildung spielt in der Ostsee wegen ihrer geographischen Lage und des relativ geringen Salzgehaltes eine wichtige Rolle. Eine Eisbedeckung tritt in jedem Jahr in der Bottenwiek im äußersten Norden der Ostsee auf. Hier beträgt der Salzgehalt im Mittel nur 0,3 % (SJÖBERG 1992). Normalerweise beginnt die Eisbildung in der Bottenwiek Mitte November und schließt bis zum Februar die Bottensee, die Åland-See, die Schären-See, den Finnischen und den Rigaer Meerbusen sowie einen großen Teil der küstennahen Gewässer mit ein. Eisfrei ist die Bottenwiek im Mittel erst Ende Mai (SJÖBERG 1992).

Während sehr kalter Winter kann die gesamte Ostsee mit Eis bedeckt sein. Im Beobachtungszeitraum 1719/20 bis 1995/96 wiesen 15 Winter den maximal erreichbaren Vereisungsgrad von 420.000 km² (Ostsee einschließlich eines Teils des Skagerrak) auf (Abb. 8). Über den gesamten Beobachtungszeitraum betrachtet ist ein Trend zu einer geringeren Eisbedeckung ersichtlich; die maximale jährliche

Eisbedeckung nahm im Mittel um 40.000 km² ab (HUPFER 1997). Nach Berechnungen mit dem Klimamodell ECHAM4 T42 unter dem Szenario "Business As Usual" (IPCC-Szenario IS92a in WARRICK et al. 1996) werden für die Zukunft sehr viel mildere Winter mit entsprechend geringerer Eisbedeckung erwartet. Diese Prognose kann jedoch nur als eine mögliche, den Modellannahmen entsprechende Variante angesehen werden.

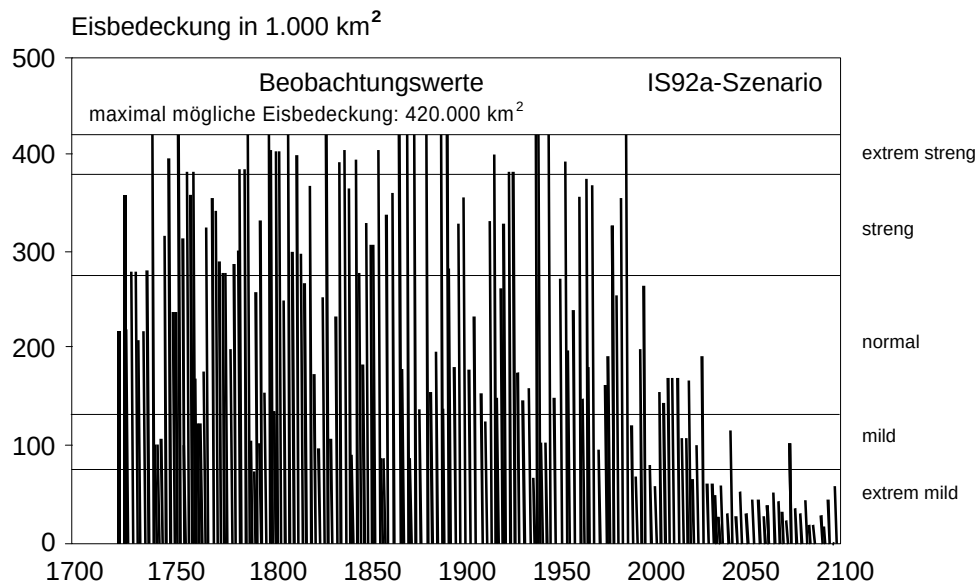


Abb. 8: Maximale jährliche Eisfläche der Ostsee im Zeitraum 1719/20 bis 1995/96 nach Beobachtungen sowie nach Rechnungen mit dem Klimamodell ECHAM4 T42 unter dem Szenario IS92a für die Modelljahre 9/10 bis 107/108 (entspricht 1993/94 bis 2091/92) (HUPFER 1997)

Auch wenn nicht in jedem Winter eine Vereisung der deutschen Ostseeküste auftritt, stellen auch hier ein bis zwei Monate mit Meereis den Normalfall dar. Der Grad der Vereisung nimmt an der deutschen Küste generell von West nach Ost zu und zwar einerseits wegen der zunehmenden Kältesummen der Lufttemperatur und andererseits wegen des abnehmenden Salzgehaltes des Seewassers von West nach Ost.

Die reduzierten Eisummen an der deutschen Ostseeküste der Jahresreihe 1896/97 bis 1998/99 sind in Abb. 9 dargestellt. Diese Maßzahl stellt den arithmetischen Mittelwert der Tage mit Eisvorkommen (KOSLOWSKI 1989) an 13 repräsentativen Messstationen (STRÜBING 1999) an der Ostseeküste dar. Mit der reduzierten Eisumme wird der Umfang und die Dauer der Eisbedeckung beschrieben; sie sagt jedoch nichts über die Eisdicke und damit den Entwicklungszustand des Eises aus.

Somit ist die reduzierte Eisumme nur als grobes Maß für die Beschreibung eines Eiswinters anzusehen (KOSLOWSKI 1989).

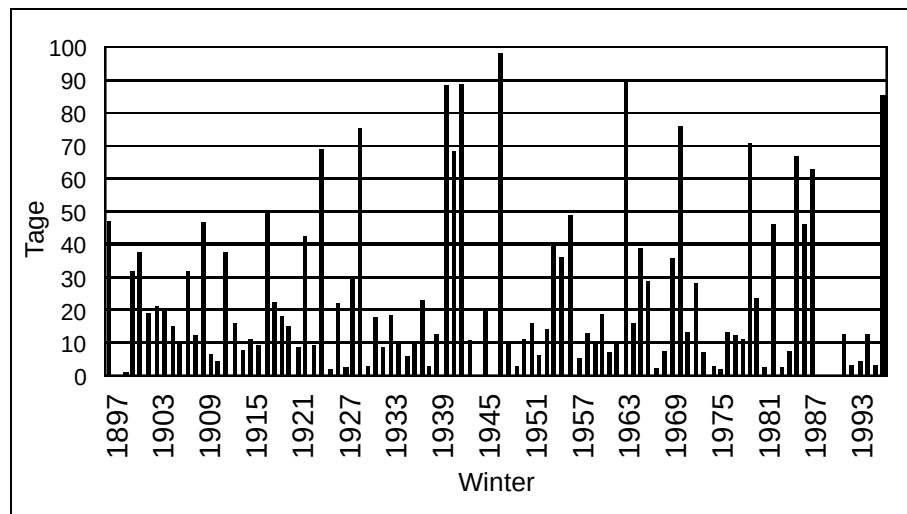


Abb. 9: Langjährige Reihe (1896/97 – 1998/99) reduzierter Eisummen an der deutschen Ostseeküste (STRÜBING 1999)

In Abb. 10 sind die flächenbezogenen Eisvolumensummen an der deutschen Ostseeküste der Jahresreihe 1896/97 – 1998/99 dargestellt. Die reduzierte Eisvolumensumme ist die im Vergleich zur reduzierten Eisumme physikalisch aussagekräftigere Maßzahl für die Bewertung von Wintern im Hinblick auf den Umfang und die Stärke der Eisbedeckung sowie auf die Dauer des Eisvorkommens (KOSLOWSKI 1989). Die täglich zu bestimmenden Anteile der mit Eis bedeckten Wasserfläche (der Eisbedeckungsgrad in Zehntel) und die an den 13 repräsentativen Messstationen vorhandenen Eisdicken werden aufsummiert und für den betrachteten Winter als flächenbezogene Eisvolumensumme in Metern ermittelt (KOSLOWSKI 1989). Die flächenbezogene Eisvolumensumme bewegt sich an der deutschen Ostseeküste zwischen den Extremwerten 0 m (eisfreie Winter) und 28,50 m im extrem starken Eiswinter 1946/47. Zum Vergleich beträgt der Maximalwert der flächenbezogenen Eisvolumensumme für die deutsche Nordseeküste 16,63 m, ebenfalls für den Winter 1946/47 (STRÜBING 1995).

Die Festigkeit des Eises variiert stark und hängt von der meteorologischen Entstehungsgeschichte und vom Salzgehalt ab. Beim Gefrieren von Salzwasser bilden sich zwischen Eisplättchen aus Süßwasser Salzlaugenzellen in Form von länglichen Zellen, die die Festigkeit des Eises durch Verringerung des festen Querschnitts vermindern. Bei Temperaturen von -8°C und darunter verfestigen sich die Salzlaugen-

einschlüsse und die Festigkeit des Eises erhöht sich. Zudem wird beim langsamen Gefrieren ein Teil des Salzes aus der Eisschicht ausgeschieden (EAK 1993).

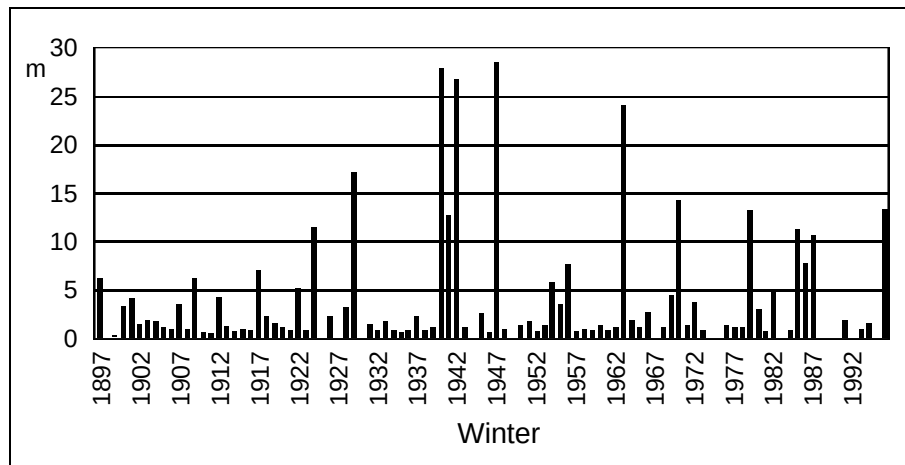


Abb. 10: Langjährige Reihe (1896/97 – 1998/99) flächenbezogener Eisvolumensummen [m] an der deutschen Ostseeküste (STRÜBING 1999)

Die Geschwindigkeit der Eisbildung wird nicht allein von der Lufttemperatur, sondern auch von den herrschenden Winden bestimmt. Liegt eine wärmere Wasserschicht auf einer kälteren Unterschicht, können Winde eine vertikale Mischung der Schichten und damit eine schnelle Abkühlung der Oberflächenschicht hervorrufen. Ebenso kann eine wärmere Oberflächenschicht durch winderzeugte Triftströmungen horizontal verlagert werden, so dass sie durch kälteres Tiefenwasser ersetzt wird. Hierdurch können Temperaturänderungen in der Oberflächenschicht von 5 bis 6 °C innerhalb nur weniger Stunden auftreten (SJÖBERG 1992). Die Vereisung der flachen und salzarmen Boddengebiete im Osten der deutschen Ostseeküste kann bereits 2 bis 3 Tage nach dem Auftreten negativer Tagesmittel der Lufttemperatur einsetzen, während diese Zeitspanne an der Außenküste vor Arkona mindestens 15 Tage beträgt (REINHARD 1967). Beim ausschließlich thermisch bedingten Eiswachstum betragen die Eisdicken an der deutschen Ostseeküste zumeist 10 bis 30 cm, können in sehr starken bis extrem starken Eiswintern jedoch 40 bis 60 cm erreichen (SCHMELZER 2000a).

Die vorwiegende Eisart auf der freien Ostsee vor der deutschen Küste ist das Treibeis. Eine ausgedehnte flächenhafte Eisbedeckung, wie auf den geschützten Bodengewässern und in Buchten üblich, tritt hier nur in sehr strengen Wintern auf. Durch Stürme verursachte große Wasserstandsänderungen führen zu Eisaufbruch, und je nach Windrichtung werden die Eisschollen auf die See hinaus oder auf die Küste zu getrieben. Die Eisschollen können zu Packeis mit einer Mächtigkeit von bis

zu 0,5 m oder zu als Eispressungen bezeichneten Aufschiebungen höherer Mächtigkeiten zusammen- und übereinander geschoben werden. Eispressungen können an der deutschen Ostseeküste, insbesondere im östlichen Bereich, mehrere Meter hohe Wälle ausbilden. Mächtige Eisschollen können bei stürmischer See mit einer Geschwindigkeit von bis zu 30 km/h über die Eisoberfläche rasen und innerhalb weniger Stunden mehrere Meter hohe Eispressungen bilden (REINHARD 1967). Vor Lubmin am Greifswalder Bodden sind Eispressungen von über 10 m Mächtigkeit (REINHARD 1958/59) und in der Bottensee von über 28 m Mächtigkeit beobachtet worden (SJÖBERG 1992). Die Festigkeit der Eispressungen hängt einerseits von der Festigkeit der einzelnen Eisschollen und andererseits von dem Verbindungsgrad der Schollen untereinander ab. Eine kompakte Blockbildung tritt insbesondere beim Gefrieren von Spritz- oder Tauwasser auf.

Von den im Zeitraum von 1955 bis 1996 aufgetretenen 102 Sturmfluten (SCHMELZER 2000b) im Bereich der Mecklenburg-Vorpommerschen Ostseeküste mit Maximalwasserständen $\geq 1,00$ m NN (a.S.) (Erläuterungen zur Angabe a.S. in Kap. 3.1) sind 15 (SCHMELZER 2000a) in Verbindung mit Eis aufgetreten.

3 Sturmfluten an der deutschen Ostseeküste

Die hydrodynamische Belastung der Küste und der Bauwerke im Küstenraum während einer Sturmflut erfolgt durch erhöhte Wasserstände, durch die Verweilzeit hoher Wasserstände sowie durch den Seegang. Zur Beurteilung der Hochwassergefährdung ist die Eintrittswahrscheinlichkeit der einzelnen Belastungsglieder getrennt sowie in Kombination von Bedeutung. Beispielsweise ist es für die Bemessung von Bauwerken wichtig, ob ein extrem hoher Wasserstand gleichzeitig mit extremer Seegangsbelastung auftreten kann oder nicht. Im folgenden werden in der Vergangenheit aufgetretene Sturmflutereignisse an der deutschen Ostseeküste hinsichtlich ihrer Scheitelwasserstände, Verweilzeiten sowie ihres zeitlichen Auftretens analysiert. Zur Einschätzung der Genauigkeit und des Höhenbezugs der Wasserstandsmessungen wird die Entwicklung des Pegelwesens an der deutschen Ostseeküste dargestellt.

Im Gegensatz zu den über größere Küstenabschnitte als identisch anzunehmenden Belastungen aus erhöhten Wasserständen kann die jeweilige Seegangsbelastung nur in Abhängigkeit von der Lage der Küste oder des Bauwerks zur Wellenanlauf-richtung sowie von flachwasser- und bauwerksbedingten Umformungen des Seegangs bestimmt werden. Eine kleinräumige Analyse des bei unterschiedlichen Wasserständen zu erwartenden Seegangs ist demnach bezogen auf die jeweilige Problemstellung notwendig. Grundlegende Hinweise zur Bestimmung des Bemessungs-seegangs werden in Kap. 6.2.1.5 gegeben.

3.1 Entwicklung des Pegelwesens

Erste systematische Wasserstandsmessungen erfolgten in Deutschland im Jahre 1810 (STIGGE 1989). Zuvor wurden lediglich Extremwasserstände mehr oder minder genau erfasst. Der Ausbau des Meßsystems erfolgte in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts insbesondere zur Festlegung eines allgemeinen mittleren Meeresspiegels. Systematische Wasserstandsmessungen an der Station Travemünde liegen seit 1826 (JENSEN, TÖPPE 1990) und an den Stationen Wismar, Warnemünde und Greifswald-Wieck seit Mitte des 19. Jahrhunderts vor (STIGGE 2000a).

Das Bezugsniveau der ersten Wasserstandsmessungen war der jeweilige Mittelwasserstand. Erst seit dem 19. Jahrhundert werden die Wasserstandsmessungen relativ zu Höhenmarken auf dem Festland vorgenommen (JENSEN, TÖPPE 1990). Da die Höhenmarken infolge von Verschiebungen der Erdkruste keine Fixpunkte darstellen,

müssen sie jeweils nach rund 20 Jahren nachvermessen werden (STIGGE 1989). Für die Landesvermessung in Deutschland wurde seit Beginn des 19. Jahrhunderts zunächst einheitlich der Höhenbezug Normal-Null (NN) verwendet, der auf die langjährige mittlere Wasserhöhe im Zeitraum 1843 bis 1860 am Amsterdamer Pegel bezogen ist. Das Bezugsniveau NN wurde in Schleswig-Holstein bis heute beibehalten. Allerdings wurde in den Jahren 1912 bis 1945 auf dem heutigen Gebiet Schleswig-Holsteins das "Alte System" (a.S.) auf das "Neue System" (n.S.) umgestellt (MONTAG 1999). Die Höhendifferenz zwischen dem Alten System und dem Neuen System unterscheidet sich von Pegel zu Pegel geringfügig. Am Pegel Eckernförde sind bei der Umrechnung eines Pegelwertes von NN a.S. in NN n.S. z.B. 8 cm (MONTAG 1999) und am Pegel Travemünde 5 cm (JENSEN, TÖPPE 1986) zu subtrahieren.

Auf dem Gebiet der ehemaligen DDR wurde 1976 ein neues System der Landvermessung, das Normal-Höhensystem (HN76), eingeführt, dessen Bezugsgröße nicht der langjährige mittlere Wasserspiegel am Amsterdamer Pegel, sondern derjenige am Pegel Kronstadt vor Sankt Petersburg ist.

An der Küste des heutigen Mecklenburg-Vorpommerns wurden die Wasserstandsmessungen von 1910 bis einschließlich Oktober 1985 auf die Normal-Höhe NN a.S. bezogen (STIGGE 1994a). Das generalisierte Pegelnull (PN) lag bei NN –5,00 m. Ab dem 1. November 1985, 00:00 Uhr MEZ wurden die Wasserstandsmessungen auf die Höhe HN bezogen, die allerdings nicht mit dem langjährigen Mittelwasserspiegel an der mecklenburg-vorpommerischen Ostseeküste übereinstimmt. Der generalisierte Pegelnullpunkt wurde auf HN – 5,14 m festgelegt, so dass sich die mittleren Wasserstände an den Pegeln in etwa bei PN + 5,00 m einstellen (STIGGE 1989). Wegen der Umstellung des Höhenbezugs von NN a.S. auf HN müssen die im Zeitraum 1910 bis einschließlich Oktober 1985 gemessenen Wasserstände an der Küste Mecklenburg-Vorpommerns um die in Tab. 6 zusammengestellten Werte beaufschlagt werden. Dementsprechend müssen die seit dem 1.11.1985 erhaltenen Pegelwerte Mecklenburg-Vorpommerns bei einer Umrechnung auf das NN a.S.-Bezugssystem um die in Tab. 6 zusammengestellten Werte reduziert werden (STIGGE 1994a). Die Umrechnungen ermöglichen den Vergleich alter und neuer gemessener Wasserstandsdaten an der Mecklenburg-Vorpommerschen Küste.

Bei der Verwendung von Pegeldaten ist die Kenntnis des jeweiligen Pegelnullpunktes im Bezugssystem notwendig. Dies kann insbesondere bei Messdaten aus dem 19. Jahrhundert Schwierigkeiten bereiten, da die Pegel oftmals allein zur Feststel-

lung einer ausreichenden Fahrwassertiefe für die Schifffahrt dienten und somit entsprechend häufig auf aktuell herrschende Fahrwasserbedingungen eingestellt wurden, wobei Veränderungen des Pegelstandortes sowie der Höhenlage des Pegelnullpunktes oftmals nur unzureichend dokumentiert wurden.

Wismar	4,2 cm	Greifswald	2,0 cm
Warnemünde	1,9 cm	Koserow	4,4 cm
Stralsund	2,2 cm	Wolgast	2,1 cm
Saßnitz	3,0 cm	Ueckermünde	-0,2 cm

Tab. 6: Beaufschlagung der im Zeitraum 1910 bis einschließlich Oktober 1985 gemessenen Wasserstände in NN a.S. auf HN-Werte (STIGGE 1994a)

Die Wasserstandsmessungen wurden zunächst nicht kontinuierlich, sondern in Form von Terminwerten bestimmt. Zunächst wurde nur eine und später wurden zwei bzw. vier tägliche und später stündliche Ablesungen am Lattenpegel vorgenommen. Selbstregistrierende Pegelanlagen wurden ab dem Ende des 19. Jahrhunderts eingesetzt. Während des Zweiten Weltkrieges wurden diese Messgeräte z.T. zerstört, und wurden teilweise erst in den fünfziger Jahren des 20. Jahrhunderts wieder ersetzt (LIEBSCH 1997).

Diskontinuierliche Messungen haben hinsichtlich der Bestimmung von Extremwasserständen den Nachteil, dass die Extrema i.d.R. nicht erfasst werden, sofern sie nicht zum Ablesezeitpunkt aufgetreten sind. Von einer gesicherten Scheitelwerterfassung von Sturmfluten kann damit erst seit dem Einsatz von selbstregistrierenden Pegelanlagen ausgegangen werden.

3.2 Sturmflutwasserstände

Zur Klassifizierung von Sturmflutwasserständen an der deutschen Ostseeküste werden zwei unterschiedliche Verfahren herangezogen: Einerseits die Klassifizierung nach den Scheitelwerten der Wasserstände und andererseits die Klassifizierung nach der Eintrittshäufigkeit (Tab. 7). Die Klassifizierung nach der Eintrittshäufigkeit ist grundsätzlich ein genaueres Maß für die Schwere einer Sturmflut an einem betrachteten Ort als die Klassifizierung nach Wasserständen. Sie erfordert allerdings die statistische Einordnung gemessener Hochwasserstände. Wegen des relativ seltenen Auftretens hoher Wasserstände in der Ostsee ist die Klassifizierung der Sturmfluten nach Überschreitungshäufigkeiten nicht zuletzt wegen der Schwierigkeiten bei der Auswahl einer Anpassungsfunktion an die Datenreihe nicht eindeutig, vgl. Kap. 6.2.1.4. In Tab. 8 ist die Klassifizierung an den Bodden- und Haffküsten

von Mecklenburg-Vorpommern zusammengestellt. Da hier die bei Sturmflut zu erwartenden Scheitelwasserstände geringer sind als an der Außenküste, weisen ebenfalls die den einzelnen Klassen zugeordneten Wasserstände geringere Werte auf.

Sturmflut	Klassifizierung nach Scheitelwasserstand (BAERENS et al. 1994)	Klassifizierung nach jährlicher Überschreitungszahl (DIN 4049 – 3 1994)	Entsprechender Wasserstand am Pegel Wismar (EAK 1993)
Leicht	+1,00 – 1,24 m NN	2,0 bis 0,2	+ 1,00 – 1,40 m NN
Schwer *	+1,25 – 1,49 m NN	0,2 bis 0,05	+ 1,41 – 1,70 m NN
Sehr schwer**	≥ +1,50 m NN	< 0,05	≥ +1,71 m NN

Häufig verwendete Bezeichnungen *: Mittel; **: Schwer (z.B. BAERENS et al. 1994)

Tab. 7: Klassifizierung von Sturmfluten an der deutschen Außenküste der Ostsee

Sturmflut	Klassifizierung nach Scheitelwasserstand
leicht	NN +0,80 – 1,10 m
schwer	NN +1,11 – 1,30 m
sehr schwer	NN >+1,30 m

Tab. 8: Klassifizierung von Sturmfluten an den Bodden- und Haffküsten in Mecklenburg-Vorpommern (MBLU 1995)

In Tab. 9 sind Scheitelwerte bekannter, sehr schwerer Sturmfluten an ausgewählten Pegeln entsprechend der Klassifizierung nach dem Wasserstand mit Quellenangabe zusammengestellt. Die Scheitelwerte historischer Sturmfluten sind auf das örtliche Mittelwasser bezogen. Seit Beginn des 19. Jahrhunderts liegen Wasserstandsmessungen bezogen auf Festlandshöhensysteme vor und können somit in Wasserständen über NN oder HN angegeben werden (vgl. Kap. 3.1). Die Sturmflut von 1872 stellt während der letzten zwei Jahrhunderte das Extremereignis mit den eindeutig höchsten Scheitelwasserständen an der deutschen Außenküste der Ostsee dar.

Der Jahreszeitraum, in dem an der deutschen Ostseeküste sehr schwere Sturmfluten mit Scheitelwerten von über +1,50 m NN auftreten, umfasst die Wintermonate November bis April. In den anderen Monaten sind keine sehr schweren Sturmfluten aufgetreten (Tab. 9).

Datum	Flensburg	Lübeck	Travemünde	Wismar	Warnemünde	Greifswald
Wasserstände in m über Mittelwasser, falls nicht anders vermerkt						
30.11.1320		3,10 – 3,20 ¹				
10.02.1625		2,84 ¹	2,80 ²	2,80 m NN a.S. ¹¹		
10./11.01.1694	2,70 ¹	2,82 ²	2,65 ³	2,80 m NN a.S. ¹¹		
28.09.1784		etwas niedriger als 1694 ¹				
19.12.1835	2,54					
26.12.1836		2,14 ¹ , 2,20 ⁴		2,00 m NN a.S. ¹¹		
01.1867			1,81 NN n.S. ⁵			
30.12.1867		2,04 ^{1,4}	1,97 ^{1,4}	1,80 m NN a.S. ¹¹		
13.11.1872	3,27 ^{1,4} , 3,31 ⁶ 3,08 m NN ¹⁰	3,38 ^{1,4,6}	3,38 ² 3,16 NN n.S. ⁵ , 3,30 m NN ¹⁰	3,06 m NN ⁷ 2,80 m NN a.S. ¹¹	2,43 m NN ¹⁰ 2,43 m NN a.S. ¹¹ 2,69 m NN a.S. ¹²	2,64 m NN ¹⁰ 2,64 m NN a.S. ¹¹ 2,79 m NN a.S. ¹²
25.11.1890			2,10 ^{1,4,6} 1,83 NN n.S. ⁵	1,67 m NN a.S. ¹¹	1,48 m NN ⁸	
20.11.1893		1,78 ⁴ , 1,94 ⁶	1,67 NN n.S. ⁵	1,48 m NN a.S. ¹¹		
24./25.03.1898			1,72 ^{1,4}			
19.04.1903				1,52 m NN ⁸	1,25 m NN ⁸	1,29 m NN ⁸
30./31.12.1904	1,95 ¹ , 2,33 ⁴		2,22 ⁴ 2,16 NN n.S. ⁵	2,28 m NN a.S. ¹¹	1,88 m NN a.S. ¹¹	2,39 m NN a.S. ¹¹ 2,48 m NN ⁷
09.01.1908	1,95 ¹ , 1,74 ⁴		1,96 ⁴ 1,82 NN n.S. ⁵	1,48 m NN a.S. ¹¹	1,42 m NN a.S. ¹¹	1,37 m NN a.S. ¹¹
30./31.12.1913			2,00 ⁴ 1,97 NN n.S. ⁵	2,08 m NN a.S. ¹¹	1,89 m NN a.S. ¹¹	2,10 m NN a.S. ¹¹
09.01.1914				1,57 m NN a.S. ¹¹	1,60 m NN a.S. ¹¹	
07.11.1921				1,96 m NN a.S. ¹¹	1,50 m NN a.S. ¹¹	
02./03.03.1935	1,80 ⁴			1,33 m NN a.S. ¹¹	1,16 m NN a.S. ¹¹	1,49 m NN a.S. ¹¹
09.02.1936	1,89 ⁴			1,27 m NN a.S. ¹¹	1,11 m NN a.S. ¹¹	1,19 m NN a.S. ¹¹
13.11.1941	1,90 ⁴		1,70 ^{4,5}			
27./28.12.1941	1,88 NN n.S. ⁵		1,70 ⁴ 1,58 NN n.S. ⁵		1,30 m NN a.S. ¹¹	
01./02.03.1949				1,80 m NN ⁷ 1,74 m NN a.S. ¹¹	1,50 m NN a.S. ¹¹	1,86 m NN ⁷ 1,80 m NN a.S. ¹¹
11.12.1949				1,64 m NN a.S. ¹¹	1,29 m NN a.S. ¹¹	0,84 m NN a.S. ¹¹
04.01.1954	1,76 ⁴		2,07 ⁴ 2,00 NN n.S. ⁵	2,10 m NN a.S. ¹¹	1,70 m NN a.S. ¹¹	1,82 m NN a.S. ¹¹
14.12.1957				1,56 m NN a.S. ¹¹	1,35 m NN a.S. ¹¹	1,52 m NN a.S. ¹¹
14.01.1960				1,55 m NN a.S. ¹¹	1,18 m NN a.S. ¹¹	1,13 m NN a.S. ¹¹
12.01.1968				1,55 m NN a.S. ¹¹	1,50 m NN a.S. ¹¹	1,54 m NN a.S. ¹¹
15.02.1979			1,81 NN n.S. ⁵	1,59 m NN a.S. ¹¹	1,27 m NN a.S. ¹¹	0,98 m NN a.S. ⁸
12.01.1987				1,69 m NN a.S. ⁸ 1,73 m HN ¹¹	1,40 m NN a.S. ⁸ 1,42 m HN ¹¹	1,41 m NN a.S. ⁸ 1,43 m HN ¹¹
21.02.1993				1,52 m NN a.S. ⁸	1,29 m NN ⁸	1,45 m NN ⁸
03./04.11.1995				1,88 m HN ⁹ 1,98 m NN a.S. ⁸	1,46 m HN ⁹ 1,58 m NN a.S. ⁸	1,65 m HN ⁹ 1,77 m NN a.S. ⁸

¹KRÜGER 1910/11; ²BAENSCH 1875; ³JENSEN, TÖPPE 1990; ⁴PETERSEN, ROHDE 1979, ⁵JENSEN, TÖPPE 1986, ⁶WEGEMANN 1911, ⁷KOLP 1955; ⁸STIGGE 1996, ⁹WSD Nord aus: WEISS, BIERMANN 1996, ¹⁰EAK 1993, ¹¹STIGGE 1994a, ¹²DIETRICH et al. 2000

Tab. 9: Sturmfluten an der deutschen Ostseeküste mit Scheitelwasserständen höher NN +1,50 m an mindestens einem der betrachteten Pegel (unvollständige Auflistung)

Eine einheitliche Einordnung der Sturmflutwasserstände auf einen Höhenbezug ist schwierig, da einerseits verschiedene Bezugssysteme gewählt wurden und anderer-

seits die Pegelnullpunkte häufig und z. T. nicht durch Mitschriften nachvollziehbar geändert wurden (vgl. Kap. 3.1). Sofern überhaupt Unterlagen über die Lage des Pegelnullpunktes vorliegen, ist anzunehmen, dass die Einmessungen z.T. erheblich fehlerbehaftet sind.

Als Beispiel für den Einfluss der Lage des Pegelnullpunktes auf überlieferte Wasserstandshöhen kann der Pegel Wismar betrachtet werden. KOLP (1955) gibt entsprechend der Wasserstandsmarke am Baumhaus im Wismarer Alten Hafen einen Sturmflutwasserstand des Jahres 1872 in Wismar von 3,06 m NN a.S. an. Nach STIGGE (1994a) ist diese Angabe jedoch fehlerhaft, da sich die Wasserstandsmarke am Wismarer Baumhaus nicht auf NN a.S., sondern auf den damaligen, niedriger als NN a.S. gelegenen Pegelnullpunkt bezieht. Nach STIGGE (1994a) beträgt der Höchstwasserstand der Sturmflut von 1872 am Wismarer Pegel 2,80 m NN a.S. und liegt damit um 0,26 m niedriger als nach KOLP (1955).

Neben der Problematik des Höhenbezugs kann bei den Wasserstandsmessungen in Form von Terminwerten nicht sicher von einer Überlieferung der Scheitelwasserstände von Sturmfluten ausgegangen werden, da einerseits der Scheitelwert zum Zeitpunkt der Messung nicht eingetreten sein muss und da andererseits der bei den frühen Messungen abzulesende Lattenpegel während einer extremen Sturmflut u.U. nicht mehr trockenen Fußes erreichbar war. Die überlieferten Wasserstandsscheitelwerte sind somit häufig erst nach Ablauf der Sturmflut abgeschätzt worden.

Die Scheitelwerte der Sturmflut von 1872 werden bisher zu 2,43 m NN a.S. für den Pegel Warnemünde und 2,64 m NN a.S. für den Pegel Greifswald angegeben (MBLU 1995). Entsprechend der Untersuchungen dieser Pegelreihen durch DIETRICH et al. (2000) sind diese Werte jedoch aufgrund bisheriger falscher Umrechnungen der damaligen Längenmaße in das metrische System nach oben hin zu korrigieren, und zwar auf 2,69 m NN a.S. für den Pegel Warnemünde und 2,79 m NN a.S. für den Pegel Greifswald.

Diese Beispiele zeigen, dass insbesondere die vor mehr als rund 100 Jahren gemessenen und überlieferten Wasserstände Fehler in Höhe mehrerer Dezimeter aufweisen können. Bei der Betrachtung von sehr hohen Wasserständen kann dies auch bei Messwerten neueren Datums nicht ausgeschlossen werden, da infolge der hohen äußeren Belastungen auf die Messeinrichtungen bei Sturmflut Fehlmessungen oder der Ausfall von Messgeräten vermehrt auftreten kann. Die Scheitelwasserstände werden dann u.U. anhand von Abschätzungen festgelegt, die vergleichsweise große Fehlern aufweisen.

Scheitelwasserstände von historischen Sturmfluten an der deutschen Ostseeküste während der letzten 1.000 Jahre sind von SCHUMACHER (2000) anhand von Literaturquellen sowie geomorphologischen und geologischen Indikatoren untersucht worden. Hiernach sind innerhalb der letzten 1.000 Jahre (11. bis 20. Jahrhundert) mit hoher Wahrscheinlichkeit insgesamt 7 Sturmfluten in den Jahren 1044, 1134, 1320, 1449, 1625, 1694 und 1872 eingetreten, die ähnliche und sogar höhere Scheitelwasserstände (bezogen auf das jeweils mittlere Meeresspiegelniveau) lieferten als das Ereignis von 1872. Nach SCHUMACHER wurde der maximal an der südlichen Ostseeküste erreichte Scheitelwasserstand am 10.02.1625 mit 3,85 m über Mittelwasser erreicht.

Die historischen Sturmflutwasserstandsdaten weisen generell aufgrund ungenauer Meßmethoden, Unsicherheiten in der Festlegung des Bezugshorizontes sowie Fehlerquellen in der Überlieferung eine vergleichsweise geringe Güte auf. Nach DIETRICH et al. (2000) weisen Sturmflutmarken tendenziell etwas höhere Wasserstände auf als die auf Pegelmessungen beruhenden Scheitelwerte. Die Ergebnisse von SCHUMACHER (2000) weisen jedoch darauf hin, dass der während der Sturmflut 1872 erreichte und an der deutschen Außenküste der Ostsee zur Festlegung des Bemessungshochwasserstandes herangezogene Scheitelwasserstand nicht als singuläres Ereignis angesehen werden kann.

Eine typische Entwicklung einer Sturmflut an der deutschen Ostseeküste ist in Abb. 11 am Beispiel des Hochwasserereignisses vom 19.01.1983 am Pegel Wismar dargestellt. Das hochwassererzeugende Tiefdruckgebiet verlagert sich von Südschweden in das Baltikum und weiter in den Nordatlantik. Der zunächst wirkende Wind aus Südwest führt zu einem Wasserstandsanstieg in der nördlichen und einem Niedrigwasserstand in der südlichen Ostsee. Nachdem der Kern des Tiefdruckgebiets die Ostsee überquert hat, weht der Wind aus Nord und beschleunigt die aus dem Druckgefälle bereits aus Nord zurückfließenden Wassermassen. Durch das Zusammenwirken des Windstaus mit dem Rückschwingen der Wassermassen aus Nord kommt es zu einer Verstärkung des Wasseranstiegs an der deutschen Küste im Vergleich zum vorherigen Wasserstandssunk.

Sehr schwere Sturmfluten mit Scheitelwasserständen von $HW \geq NN + 1,50 \text{ m}$ treten an der deutschen Ostseeküste in erster Linie in der kombinierten Form eines Wasserstandsanstieg infolge Eigenschwingung und Windstau (Abb. 11) auf. Somit müssen extremen Wasserstandserhöhungen Starkwinde aus südwestlichen bis westlichen Winden vorangegangen sein, die zunächst zu einem Wasserstandsanstieg in der nordöstlichen Ostsee und zu niedrigen Wasserständen an der deutschen Küste

führen. Dreht der Wind anschließend und weht mit hohen Windgeschwindigkeiten aus nördlichen bis nordöstlichen Richtungen wird der Rückschwingungseffekt der Wassermassen mit einem Windstau an der deutschen Ostseeküste überlagert. Bei Eintritt des Sturmfluthochwasserscheitels wirken dann Winde aus nördlichen oder nordöstlichen Richtungen.

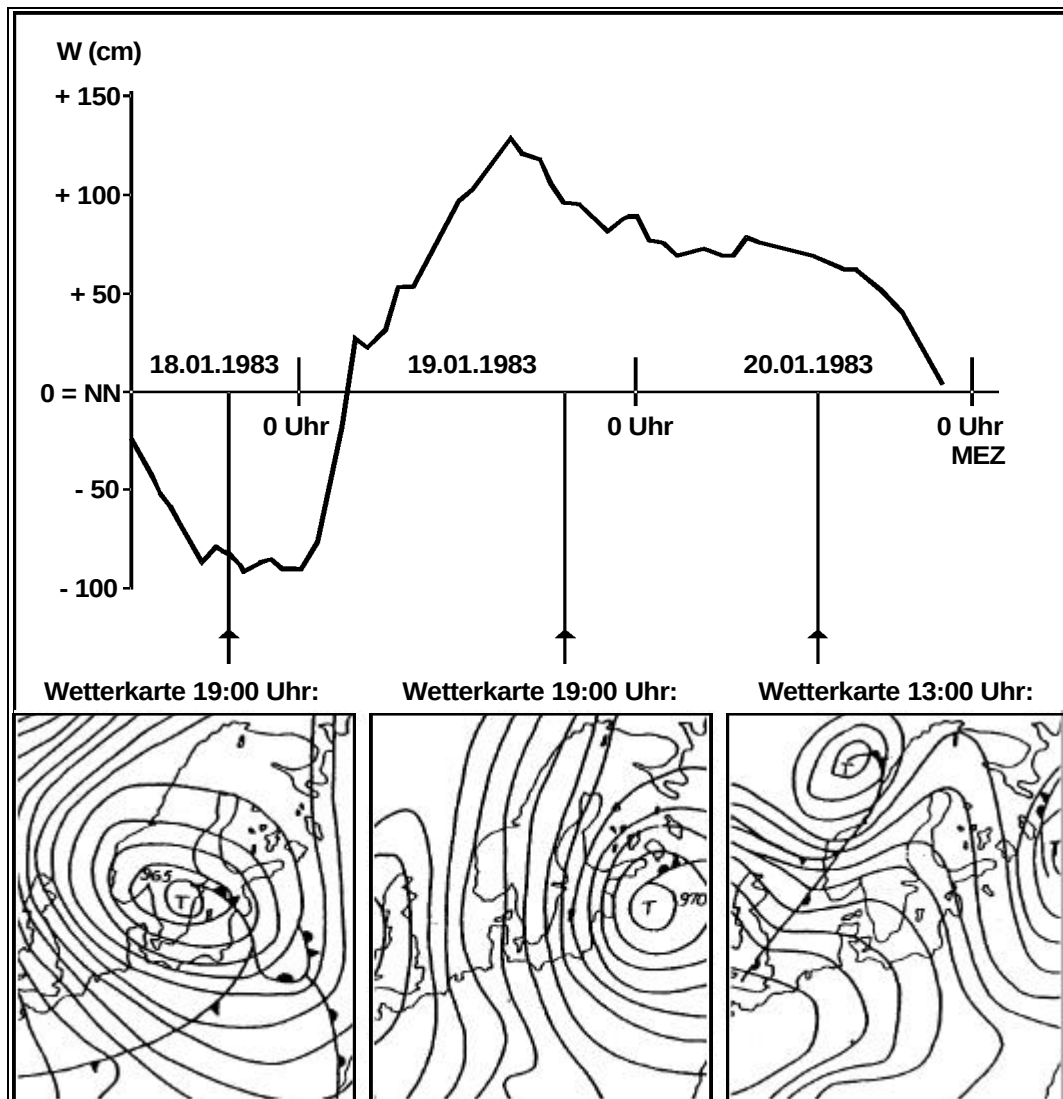


Abb. 11: Typische Entwicklung der Wasserstände einer Sturmflut am Pegel Wismar (STIGGE 1994a)

Sturmflutwasserstände, die allein aus dem Windstau ohne Schwingungseffekt entstehen, können bei Starkwinden aus nordöstlicher Richtung zu einem Wasserstandsanstieg an der deutschen Ostseeküste von bis zu NN +1,8 m führen (WEISS; BIERMANN 1996).

Allein aus der Wirkung des Schwingungsstaus können erhöhte Wasserstände von

bis zu NN +1,0 m entstehen (WEISS; BIERMANN 1996). Hierbei nehmen nach Starkwinden aus südwestlichen bis südlichen Richtungen die Windgeschwindigkeiten ab, und die in der nordöstlichen Ostsee angestauten Wassermassen schwingen zurück an die deutsche Ostseeküste. Hochwasserstände können damit auch bei geringen aktuell wehenden Winden oder bei vollständiger Windstille auftreten.

Zu den beschriebenen großräumigen Einflüssen auf die Hochwasserstände an der deutschen Ostseeküste gehört auch der Füllungsgrad des Ostseebeckens durch in erster Linie aus der Nordsee einströmendes Wasser nach langanhaltenden südwestlichen und westlichen Winden (vgl. Kap. 2.3.2). Lokale Effekte entstehen durch nur lokal wirkende Winde sowie durch die Küstenform. In Buchten können die auf die Küste zuströmenden Wassermassen zu einem höheren Wasserstandsanstieg führen, sogenannter Buchtenstau, als an einer geradlinigen Küste.

In Abhängigkeit von der Windstärke und Windrichtung sowie des Zusammenwirkens der verschiedenen großräumigen und lokalen Einflüsse können die Höchstwasserstände der jeweiligen Sturmflut an verschiedenen Küstenabschnitten auftreten. Generell sind die Sturmflutwasserstände in den von der offenen See abgeschirmten Boddengebieten Mecklenburg-Vorpommerns geringer als in den Bereichen der deutschen Außenküste der Ostsee (Tab. 7 und Tab. 8), da die Wassermassen nur verzögert über die Verbindungen zur Ostsee einströmen können und die Verweilzeiten hoher Wasserstände an der Außenküste nicht zur vollständigen Ausspiegelung der Wasserstände außen und innen ausreichen.

3.3 Langfristige Änderungen der Windklimatologie und der Sturmfluten

Langfristige Änderungen der Häufigkeit von Sturmhochwässern können einerseits eine Folge des säkularen Meeresspiegelanstiegs sein und andererseits aus veränderten Windverhältnissen resultieren. Die Windverhältnisse beeinflussen die Einstromverhältnisse und damit den Füllungsgrad der Ostsee, die Eigenschwingungen und den Windstau (vgl. Kap. 2.3).

Nach BAERENS et al. (1994) ist bei der Betrachtung verschiedener Pegel an der deutschen Ostseeküste seit 1901 die Anzahl der leichten Sturmfluten mit Wasserständen von +1,00 bis +1,24 m NN gestiegen. Die Häufigkeit von schweren Sturmfluten mit Wasserständen von +1,25 bis +1,49 m NN hat seit 1901 insgesamt schwach zugenommen und zeigt in den 80er Jahren einen zumeist starken Anstieg im Vergleich zu den 60er und 70er Jahren. Wegen des insgesamt seltenen Auftretens der sehr schweren Sturmfluten mit Wasserständen von über +1,50 m NN kann

über die Entwicklung der Eintrittshäufigkeit sehr schwerer Sturmfluten keine Aussage getroffen werden.

MONTAG (1999) untersuchte die Eintrittshäufigkeit von Hochwasserständen am Pegel Eckernförde im Zeitraum 1921 bis 1995. Festzustellen ist hiernach eine deutliche Zunahme der Anzahl hoher Wasserstände seit 1950, die hauptsächlich auf eine Zunahme leichter Sturmfluten zurückzuführen ist. Eine signifikante Zunahme schwerer und sehr schwerer Sturmfluten ist nicht ersichtlich.

BECKMANN (1997) untersuchte Veränderungen in der Windklimatologie an der Ostseeküste Mecklenburg-Vorpommerns und deren Einfluss auf Änderungen in der Häufigkeit von Sturmfluten. Hierzu wurden Höhenwinddaten des Zeitraums 1949 bis 1994 an der Station Greifswald sowie drei Zeitreihen von Höhenwinddaten an den Stationen Wustrow, Warnemünde und Arkona von 1969 bis 1994 herangezogen. Nach BECKMANN (1997) ist die zunehmende Häufigkeit der leichten Sturmfluten an der Ostseeküste Mecklenburg-Vorpommerns auf eine Zunahme starker und länger andauernder westlicher Winde zurückzuführen. Die Häufigkeitszunahme der Westwinde führt zu einem erhöhten Füllungsgrad der Ostsee und damit zu einem erhöhten Wasserstand zu Beginn einer in der Folge durch nördliche und östliche Winde hervorgerufenen Sturmflut. Bei schweren und sehr schweren Sturmfluten tritt die relative Bedeutung des Füllungsgrads der Ostsee hinter den Einfluss des eigentlichen Windstaus zurück. Nach BECKMANN (1997) hat sich die Häufigkeit von Starkwinden aus nördlichen und östlichen Richtungen über den betrachteten Zeitraum nicht verändert. Dementsprechend ist die Häufigkeit der schweren und sehr schweren Sturmfluten im betrachteten Zeitraum in etwa konstant geblieben. Die Zunahme der starken westlichen Winde geht hauptsächlich mit einer Abnahme der schwächeren südlichen Winde einher.

Insgesamt kann von einer Zunahme der leichten Sturmfluten während der letzten Dekaden ausgegangen werden. Eine Zunahme schwerer und sehr schwerer Sturmfluten an der deutschen Ostseeküste ist nicht nachweisbar.

3.4 Verweildauer von Sturmflutwasserständen

Sturmfluten der Ostsee können auch ohne ausgeprägten Spitzenwasserstand, jedoch mit langer Verweildauer erhöhter Wasserstände auftreten. Hierbei ist ein lang andauernder Starkwind bzw. Sturm aus nur einer Richtung die antreibende Kraft. Die erhöhten Wasserstände stellen sich wegen der schwachen Gezeitenwirkung während der gesamten Sturmdauer ein und können somit über mehrere Tage unvermindert anhalten. Hierdurch ergeben sich auch bei mittleren

Hochwasserständen hohe Energieeinträge auf die Küste und auf Küsten- und Hochwasserschutzbauwerke. Gefährdet sind insbesondere Hochwasserschutzdünen, die bereits bei Wasserständen, die den Dünenfuß erreichen, abgetragen werden. In Abb. 12 sind Ganglinien ausgewählter sehr schwerer Sturmfluten am Pegel Greifswald-Wieck dargestellt. Das Ereignis von 1872 liefert den höchsten Scheitelwert mit 2,64 m NN, die Verweilzeit erhöhter Wasserstände über 1 m NN ist jedoch bei der Sturmflut von 1913 mit 62 Stunden am größten. In Tab. 10 sind die entsprechenden Verweilzeiten der in Abb. 12 dargestellten Sturmflutwasserstandsganglinien zusammengefasst.

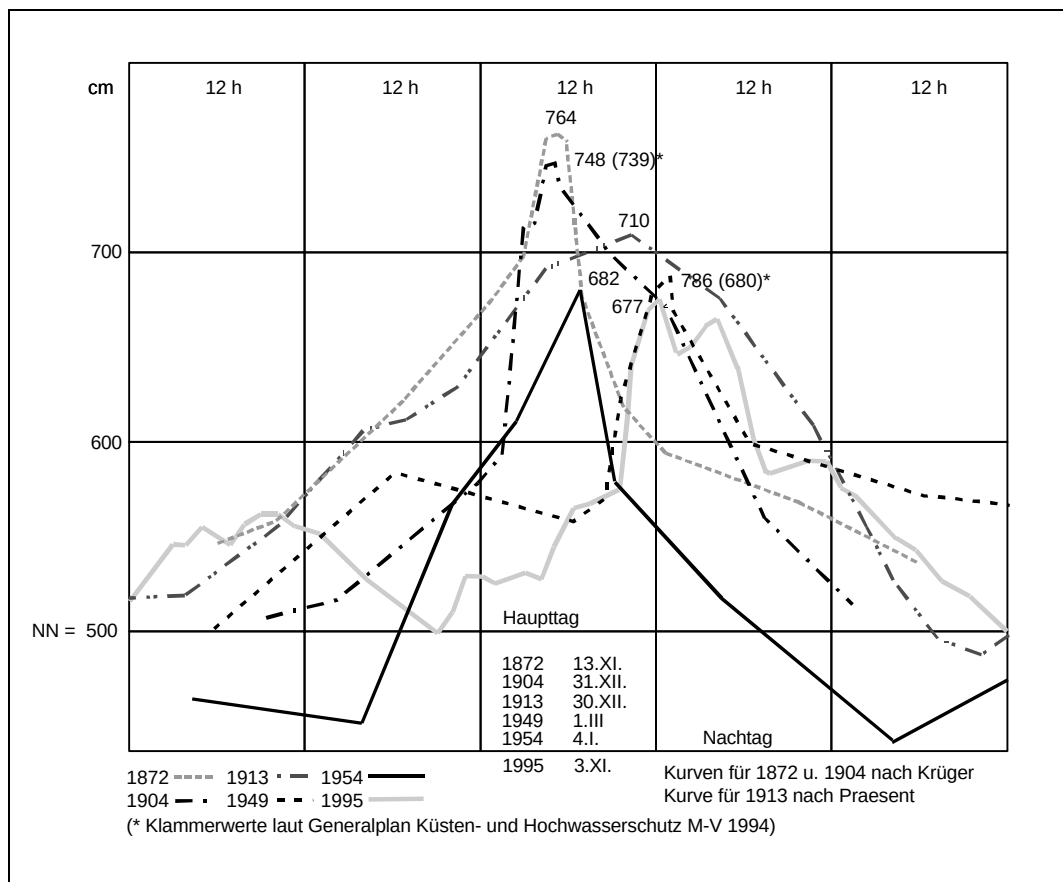


Abb. 12: Ausgewählte Sturmflutwasserstandsganglinien am Pegel Greifswald-Wieck
(nach WEISS, BIERMANN 1996)

Entsprechend der Untersuchungen von DIETRICH et al. (2000) muss am Pegel Warnemünde bei einer extremen Sturmflut mit einer Verweildauer von Wasserständen über 0,75 m NN von bis zu 7 Tagen gerechnet werden.

Jahr	> 1,00 m NN	> 1,50 m NN
1872	40 h	19 h
1904	27 h	22 h
1913	62 h	35 h
1949	8 h	7 h
1954	14 h	5 h
1995	17 h	13 h

Tab. 10: Verweilzeiten hoher Wasserstände am Pegel Greifswald-Wieck
(nach MBLU 1995 und WEISS, BIERMANN 1996)

4 Gesetze, Organisation und Finanzierung

Der Küsten- und Hochwasserschutz ist keine originäre Aufgabe des Staates; der Schutz des Eigentums vor Gefahren liegt vielmehr im Aufgabenbereich des Eigentümers selbst. Der Staat hat allerdings im Laufe der letzten Jahrhunderte zunehmend Küsten- und Hochwasserschutzaufgaben übernommen (PROBST 2000). Der Öffentliche Küsten- und Hochwasserschutz gehört in Deutschland zu den Gemeinschaftsaufgaben des Bundes und der Länder. Leitbilder zum Küsten- und Hochwasserschutz werden auch von der Europäischen Union (EU) erarbeitet und Maßnahmen werden ggf. von der EU mitfinanziert.

Die das Hochwasserschutzmanagement in Deutschland behandelnden Gesetze und Planungsgrundlagen beziehen sich in erster Linie auf den baulichen Hochwasserschutz sowie in grundlegender Form auf die Hochwasserwarnung und den Katastrophenschutz. Aspekte der Schadenspotentialminderung durch raumordnerische und technische Ansätze sind nur ansatzweise geregelt.

Im folgenden werden die bestehenden Rechtsgrundlagen, Zuständigkeiten und Finanzierungsregelungen an der deutschen Ostseeküste auf Bundes- und Landesebene dargestellt und verglichen.

4.1 Rechtsgrundlagen und Zuständigkeiten des Bundes

Im Grundgesetz (GG 1998) werden die Bundes- bzw. Landeszuständigkeiten in Form der Ausschließlichen Gesetzgebung des Bundes und der Konkurrierenden Gesetzgebung des Bundes und der Länder geregelt. Der Küsten- und Hochwasserschutz gehört nach GG Art. 74 zum Gegenstand der Konkurrierenden Gesetzgebung. Somit haben die Länder die Befugnis zur Gesetzgebung, solange und soweit der Bund von seinem Gesetzgebungsrecht keinen Gebrauch macht. Der Bund hat dann das Gesetzgebungsrecht, wenn die Herstellung gleichwertiger Lebensumstände oder die Wahrung der Rechts- und Wirtschaftseinheit dies erforderlich machen (GG Art. 72). Der Küstenschutz gehört zu den Gemeinschaftsaufgaben des Bundes und der Länder. Der Bund wirkt nach GG Art. 91a bei der Erfüllung der Verbesserung des Küstenschutzes mit, wenn die zu erfüllenden Aufgaben für die Gesamtheit bedeutsam sind und wenn die Mithilfe des Bundes zur Verbesserung der Lebensbedingungen erforderlich ist. Im Gesetz zur Gemeinschaftsaufgabe "Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes" (GemAgrG 1988) sind allgemeine Grundsätze zur Erfüllung der Gemeinschaftsaufgabe Küstenschutz enthalten. Jähr-

lich wird ein Rahmenplan der Gemeinschaftsaufgabe Agrarstruktur und Küstenschutz (GAK) aufgestellt, der Förderungsgrundsätze, Vereinbarungen zu den enthaltenen Maßnahmengruppen und Zielvorstellungen enthält. Die Förderungsgrundsätze Küstenschutz beinhalten Maßnahmen, die der Erhöhung der Sicherheit gegen Hochwasser an den Küsten der Nord- und Ostsee sowie an den fließenden oberirdischen Gewässern im Tidegebiet dienen.

Regelungen zum Katastrophenschutz sind auf Bundesebene im Zivilschutzgesetz (ZSG 1997) geregelt, das nach § 1 ZSG den Schutz der Bevölkerung und der Kulturgüter vor Kriegseinwirkungen beinhaltet. Nach §12 ZSG ergänzt der Bund die Ausstattung des Katastrophenschutzes der Länder, womit auch der auf Bundeslandebene geregelte Schutz vor Naturkatastrophen gefördert wird. Allerdings müssen nach §23 ZSG die Kosten, die dem Bund durch Verwendung von ihm finanzierter Ausstattung und Anlagen des Zivilschutzes bei Katastrophen und Unglücksfällen entstehen, vom Aufgabenträger erstattet werden, es sei denn, der Einsatz dient gleichzeitig überwiegend zivilschutzbezogenen Zwecken. Hiervon kann jedoch im Einzelfall abgewichen werden, wie die Bundesfinanzierung der z.T. durch Bundeseinheiten durchgeführten Hochwasserabwehr während des Oderhochwassers 1997 zeigt (LU 1998).

4.2 Rechtsgrundlagen und Zuständigkeiten der Länder

Jedes Bundesland besitzt ein Landeswassergesetz, das die Bundesvorschriften beachtet und das durch weitere Landesvorschriften ergänzt wird. Auf Grundlage der Landeswassergesetze werden in den Bundesländern Generalpläne zum Küsten- und Hochwasserschutz erstellt, die den Stand der Küstenschutzarbeiten sowie die zukünftigen Planungen dokumentieren. Küsten- und Hochwasserschutzfragen werden zudem von den Bau- und Naturschutzgesetzen der Länder berührt.

Die Zuständigkeiten im Katastrophenschutz werden über die jeweiligen Landeskatastrophengesetze geregelt. Zusätzlich existieren auf Landesebene weitergehende Verordnungen, die z.B. die Regelung des Hochwassermeldedienstes betreffen. Im folgenden wird auf die einzelnen, den Hochwasserschutz betreffenden Gesetzesgrundlagen der Bundesländer Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern näher eingegangen.

Eine teilweise übergeordnete Zuständigkeit besteht für die Entnahme von Kies und Sand zum Deichbau oder für Vorspülungen. Hierfür ist im Bereich der Küstengewässer an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste das Oberbergamt Clausthal-Zellerfeld und für den Bereich der Mecklenburg-Vorpommerschen Ostseeküste das

Bergamt Stralsund zuständig.

4.2.1 Schleswig-Holstein

4.2.1.1 Gesetze

Nach dem Wassergesetz des Landes Schleswig-Holstein (LWG 1992) ist der Schutz der Küsten nach §62 LWG grundsätzlich eine Aufgabe derjenigen, die davon Vorteile haben, soweit nach dem LWG nicht andere dazu verpflichtet sind. Der Bau und die Unterhaltung von Deichen und Dämmen ist nach §63 LWG eine öffentliche Aufgabe, sofern dies im Interesse der Allgemeinheit erforderlich ist (Hochwasserschutzmaßnahmen 1. Ordnung). Die Verantwortung für die Landesschutzdeiche an der Nord- und Ostsee, die zum Schutz eines Gebietes gegen alle Sturmfluten dienen (§64 LWG), liegt ebenso beim Land Schleswig-Holstein wie der Bau und die Unterhaltung der Überlaufdeiche auf den Halligen und Inseln und der Dämme zu den Halligen und Inseln mit Ausnahme des Hindenburgdammes zur Insel Sylt. Auch die Sicherung der Küsten sowie der Watt-, Insel- und Halligsockel, die im Interesse der Allgemeinheit erforderlich ist, ist nach §63 LWG eine öffentliche Aufgabe des Landes. Die Pflicht zur Sicherung der Küsten beschränkt sich auf den Schutz von im Zusammenhang bebauten Gebieten.

Die oberste Küstenschutzbehörde bestimmt nach §65 LWG abschnittsweise die Sollabmessungen der Landesschutzdeiche entsprechend des maßgebenden Sturmflutwasserstands, der maßgebenden Wellenaufbauhöhe und eines Sicherheitsmaßes. Ebenfalls nach §65 LWG hat die Wasserbehörde und die Küstenschutzbehörde mindestens alle zehn Jahre zu prüfen, ob die tatsächlichen Abmessungen den Sollabmessungen entsprechen. Gefährdete Deichstrecken sind in kürzeren Zeitabständen zu prüfen. Liegen die tatsächlichen Deichabmessungen unterhalb der Sollabmessungen, kann die untere Wasserbehörde und die untere Küstenschutzbehörde den Bau- und Unterhaltungspflichtigen nach §65 LWG anhalten, den Deich im erforderlichen Umfang herzustellen.

Nach §80 LWG werden Bauverbote im Küstengebiet geregelt. Bauliche Anlagen dürfen in den folgenden Zonen nicht errichtet oder wesentlich geändert werden:

- Bis zu 50 m landwärts vom Fußpunkt der Innenböschung von Landesschutzdeichen
- bis zu 100 m landwärts von der oberen Böschungskante eines Steilufers oder vom seewärtigen Fußpunkt der Dünen
- bis zu 100 m landwärts von der Küstenlinie

- im Vorland.

Die Bauverbote gelten nicht für Bauten zum Hochwasser- und Küstenschutz, öffentliche Häfen sowie bauliche Anlagen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes. Weitere Ausnahmen vom Bauverbot sind zulässig, sofern sie mit den Belangen des Küsten- und Hochwasserschutzes vereinbar sind, und wenn das Verbot im Einzelfall zu einer besonderen Härte führen würde oder ein dringendes öffentliches Interesse vorliegt. Die jeweiligen Baugenehmigungen müssen immer im Einvernehmen mit der Küstenschutzbehörde erlassen werden.

Nach §18 der Landesbauordnung für das Land Schleswig-Holstein (LBO 2000) sind bauliche Anlagen so anzuordnen und auszulegen, dass durch schädliche Einflüsse, u.a. Wasser und Feuchtigkeit, keine Gefahren oder unzumutbaren Belästigungen entstehen.

Eine Hochwassermelddienstverordnung für die schleswig-holsteinische Ostseeküste existiert bisher noch nicht; sie ist jedoch in Vorbereitung.

Das Landesnaturschutzgesetz Schleswig-Holsteins (LNatSchG 1993) enthält Bestimmungen, die die Eingriffe in Natur und Landschaft zum Schutz der Küste regeln, z.B. Ausgleichsmaßnahmen bei unvermeidlichen Eingriffen in den Naturhaushalt.

Der Katastrophenschutz ist im Landeskatastrophenschutzgesetz Schleswig-Holstein (LKatSG 2000) als Aufgabe des Landes, der Landkreise und der kreisfreien Städte geregelt.

4.2.1.2 Organisationsstruktur

In Schleswig-Holstein ist die für Wasserwirtschaft und Wasserrecht zuständige oberste Landesbehörde das Ministerium für Umwelt, Natur und Forsten (MUNF). Für den Bau und die Unterhaltung der Küsten- und Hochwasserschutzanlagen ist jedoch das Ministerium für Ländliche Räume, Landwirtschaft, Ernährung und Tourismus (MLR) die oberste Landesbehörde. Dem MLR direkt unterstellt sind die unteren Landesbehörden für Küstenschutz, die Ämter für ländliche Räume (ALR) in Husum (West), in Kiel (Ost) und in Lübeck (Süd). Hauptaufgaben dieser Behörden ist die Durchführung von Planfeststellungs- und Genehmigungsverfahren beim Bau von Schutzmaßnahmen, die nicht in direkter Verantwortung des Landes, sondern in Verantwortung der Wasser- und Bodenverbände bzw. der Gemeinden liegen. Für die direkt in der Verantwortung des Landes liegenden Maßnahmen, wie Landesschutzdeiche, ist das MLR selbst die Planfeststellungsbehörde und das jeweilige ALR ist

der Vorhabensträger. Weiterhin wirken die unteren Landesbehörden (ALR) mit bei der Planung und Koordinierung von Küstenschutzmaßnahmen sowie bei der Ausarbeitung und Fortschreibung des Generalplans für den Küsten- und Hochwasserschutz.

Für die Einhaltung des Landesnaturschutzgesetzes ist das MUNF als oberste Landesbehörde zuständig. Die nachgeordneten Behörden sind das Landesamt für Natur und Umwelt in Flintbek sowie die unteren Naturschutzbehörden, die auf Kreisebene organisiert sind.

Die oberste Katastrophenschutzbehörde ist nach LKatSG (2000) der Innenminister als Landesordnungsbehörde. Die unteren Katastrophenschutzbehörden sind die Landräte und Bürgermeister der kreisfreien Städte, die für den Katastrophenschutz sachlich zuständig sind, soweit nicht anders festgelegt. Die oberste Katastrophenschutzbehörde ist für den Katastrophenschutz sachlich zuständig, sofern die Aufgaben über den Bezirk eines Kreises oder einer kreisfreien Stadt hinausgehen. In diesem Fall kann eine der unteren Katastrophenschutzbehörden mit der Durchführung der erforderlichen Maßnahmen durch die oberste Katastrophenschutzbehörde beauftragt werden.

Die Hochwassermeldung und Organisation der Katastrophenabwehr wird an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste auf Kreisebene organisiert; eine übergreifende Hochwassermeldedienstverordnung existiert bisher noch nicht.

4.2.2 Mecklenburg-Vorpommern

4.2.2.1 Gesetze

Eine Vereinheitlichung des Wasserrechts auf dem Gebiet der ehemaligen DDR wurde durch das 1. Wassergesetz der DDR vom 17.04.1963 erzielt, das im Jahre 1982 durch das 2. Wassergesetz der DDR ersetzt wurde. Auf Grundlage dieser Gesetze war der Küstenschutz im ehemaligen Gebiet der DDR wegen seiner überregionalen Bedeutung als öffentliche Aufgabe in der Trägerschaft des Staates festgeschrieben. Die Küstenstreifen waren Eigentum des Volkes (WaG DDR 1982).

Die Wiedervereinigung Deutschlands machte auch auf dem Gebiet der Wasserwirtschaft eine Vereinheitlichung der Gesetzesgrundlagen notwendig. Mit dem Inkrafttreten des Wassergesetzes des Landes Mecklenburg-Vorpommern (LWaG 1992) wurden das bisherige Wassergesetz und die hierzu erlassenen Vorschriften aufgehoben. Der Küstenschutz ist nach §83 LWaG eine öffentliche Aufgabe, die sich auf den Schutz der im Zusammenhang bebauten Gebiete bezieht (Hochwasserschutz-

maßnahmen 1. Ordnung). Ein Rechtsanspruch Dritter besteht nicht. Die Landesaufgabe zur Durchführung des Küstenschutzes erstreckt sich nicht auf den Bau, die Unterhaltung und Wiederherstellung von Deichen, die ausschließlich dem Schutz landwirtschaftlicher Flächen gegen Hochwasser dienen. Diese Aufgabe obliegt den Unterhaltungsverbänden in den jeweiligen Verbandsgebieten.

Die Wasserbehörde kann nach §88 LWaG zur Sicherung und Erhaltung der Küste die Nutzung und Benutzung des Küstenraumes und der Anlagen, die dem Küstenschutz dienen, regeln, beschränken oder untersagen.

§89 LWaG regelt Bauverbote im Küstenbereich. Hiernach dürfen bauliche Anlagen in den folgenden drei Küstenbereichen nicht außerhalb eines Bebauungsplans errichtet oder wesentlich geändert werden:

- In einer Entfernung von bis zu 100 m landwärts von der oberen Böschungskante eines Steilufers
- In einer Entfernung von bis zu 200 m landwärts von der Mittelwasserlinie an Flachküsten, mindestens jedoch 50 m landwärts vom landseitigen Fußpunkt von Deichen und Dünen
- Auf dem Strand

Zudem sind nach §136 LWaG Küstenschutzgebiete definiert, in denen Baumaßnahmen nur mit Zustimmung der Wasserbehörde getätigt werden dürfen (siehe auch StAUN 1995).

Ausnahmen von den Bauverböten sind nach §89 LWaG möglich, sofern sie mit den Belangen des Küstenschutzes vereinbar sind oder wenn das Verbot im Einzelfall zu einer besonderen Härte führen würde oder wenn ein dringendes öffentliches Interesse besteht. Über die Ausnahmen entscheidet die jeweils zuständige Behörde im Einvernehmen mit der Wasserbehörde.

Nach §13 der Landesbauordnung Mecklenburg-Vorpommern (LBauO M-V 1994) sind bauliche Anlagen so anzuordnen und auszulegen, dass durch schädliche Einflüsse, u.a. Wasser und Feuchtigkeit, keine Gefahren oder unzumutbaren Belästigungen entstehen.

Nach dem Landesnaturschutzgesetz (LNatG M-V 1998) sind Eingriffe in Natur und Landschaft (§14 LNatG M-V) geregelt. Hiernach sind Küsten- und Hochwasserschutzmaßnahmen einvernehmlich von der obersten Wasserbehörde und der obersten Naturschutzbehörde des Landes zu planen und umzusetzen.

Nach §95 LWaG haben die Gemeinden einen Wasserwehrdienst einzurichten, sofern sie erfahrungsgemäß durch Überschwemmungen oder durch Sturmfluten

gefährdet sind. Näheres zum Wasserwehrdienst regeln die Gemeinden durch Orts-satzungen.

Die Wasserbehörde kann zur Sicherung der Deiche Weisungen erteilen und berät die Gemeinden bei der Abwehr von Wassergefahren. Nach §96 LWaG wird der Warn- und Alarmdienst zum Schutz vor Wassergefährdung vom Umweltministerium eingerichtet. Näheres hierzu regelt die Hochwassermelddienstverordnung (HwMDVO 1993).

Der Katastrophenschutz ist im Landeskatastrophenschutzgesetz (LKatSG 1992) als Aufgabe des Landes, der Landkreise und der kreisfreien Städte geregelt.

4.2.2.2 Organisationsstruktur

Die oberste Wasserbehörde sowie die oberste Naturschutzbehörde des Landes Mecklenburg-Vorpommern stellt das Umweltministerium (UM) dar. Das UM übernimmt im Bereich des technischen Hochwasserschutzes leitende und koordinierende Aufgaben und ist Genehmigungs- und Planfeststellungsbehörde für Maßnahmen in der Landesschutzdeichlinie. Die dem UM untergeordnete Behörde ist das Landesamt für Umwelt, Naturschutz und Geologie (LUNG) in Güstrow, dass jedoch im Küstenschutz keine Zuständigkeiten besitzt. Die Planung und Umsetzung des Hochwasser- und Küstenschutzes unterliegt den für einzelne Küstenbereiche zuständigen unteren Wasserbehörden, den Staatlichen Ämtern für Umwelt und Natur (StAUN) in Schwerin, Rostock, Stralsund und Ueckermünde. Die Staatlichen Ämter für Umwelt und Natur sind Genehmigungsbehörden für Anlagen und Bauten an der Küste, die die Belange des Küstenschutzes berühren können sowie für die Küsten- und Hochwasserschutzanlagen selbst. Darüber hinaus stellen sie die Baubehörden für die vom Land durchzuführenden Küstenschutzvorhaben dar und sind Unterhaltungspflichtige für vorhandene Küstenschutzanlagen.

Die Abteilung Küste des StAUN Rostock übernimmt eine ämterübergreifende Rolle für den Küsten- und Hochwasserschutz an der gesamten Außenküste sowie an den Bodden- und Haffküsten. Die Abteilung Küste erarbeitet Grundlagen für die konzeptionelle Planung des Hochwasser- und Küstenschutzes (z.B. Generalplan für den Küsten- und Hochwasserschutz des Landes Mecklenburg-Vorpommern), bereitet Maßnahmen im eigenen Zuständigkeitsbereich planerisch vor, erstellt Gutachten zu Vorhaben Dritter an der Küste, übernimmt die Planung, Aufbereitung und Anwendung von Stellungnahmen und Studien, die im Namen des StAUN Rostock von Universitäten, Hochschulen und Ingenieurbüros erstellt werden und verwaltet das Landesarchiv für Küstenschutz.

Die Einhaltung der Gesetze zum Naturschutz und zur Landschaftspflege werden durch die jeweiligen StÄUN, bei lediglich lokaler Bedeutung durch die Landräte und Oberbürgermeister überwacht.

Die oberste Katastrophenschutzbehörde ist nach LKatSG (1992) der Innenminister als Landesordnungsbehörde. Das Landesamt für Katastrophenschutz in Bad Kleinen stellt die obere Katastrophenschutzbehörde dar, während die unteren Katastrophenschutzbehörden durch die Landräte und die Oberbürgermeister bzw. Bürgermeister der kreisfreien Städte sowie durch die Bürgermeister der amtsfreien Gemeinden und die Amtsvorsteher repräsentiert werden. Öffentliche und private Organisationen wirken mit ihren Einheiten und Einrichtungen im Katastrophenschutz mit. In diesem Zusammenhang sind insbesondere die Wasserwehrdienste auf Gemeindeebene zu nennen. Der Beitritt zur Wasserwehr ist freiwillig; die Struktur der Wasserwehren ähnelt der der Freiwilligen Feuerwehren.

4.2.3 Vergleich der Rechtsgrundlagen und Zuständigkeiten in den Ländern

Die gesetzlichen Rahmenbedingungen in den Ländern Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern weisen nur geringe Unterschiede auf. Die Wassergesetze beider Länder sehen die Pflicht zur Sicherung der Küsten aus öffentlichen Mitteln nur für im Zusammenhang besiedelte Gebiete vor. Der §64 LWG Schleswig-Holstein enthält allerdings den Zusatz, daß die Landesschutzdeiche ein Gebiet gegen alle Sturmfluten zu sichern hat. Eine entsprechende Formulierung ist im Wassergesetz des Landes Mecklenburg-Vorpommern nicht enthalten. Die Bemessungshochwasserstände für Hochwasserschutzanlagen erster Ordnung an der Ostseeküste werden in beiden Bundesländern jedoch auf der gleichen Grundlage gewählt.

Während das Landeswassergesetz Mecklenburg-Vorpommern den Rechtsanspruch Dritter auf die Sicherung der Küsten ausschließt (§83 LaWG), enthält das Landeswassergesetz Schleswig-Holstein die Formulierung, dass die untere Wasser- und Küstenschutzbehörde den Bau- und Unterhaltungspflichtigen des Hochwasserschutzes dazu anhalten kann, die tatsächlichen Deichabmessungen den Sollabmessungen anzupassen (§65 LWG).

Die in den jeweiligen Wassergesetzen vorgesehenen Bauverbote unterscheiden sich in der Breite der Verbotszone an Flachküsten, deren Breite in Schleswig-Holstein 100 m und in Mecklenburg-Vorpommern 200 m beträgt.

Bezüglich der administrativen Organisationsstruktur unterscheiden sich die Länder-

regelungen dahingehend, dass in Mecklenburg-Vorpommern die Abteilung Küste der unteren Landesbehörde StAUN Rostock eine ämterübergreifende Rolle bezüglich der Planung von Küsten- und Hochwasserschutzanlagen an der gesamten Mecklenburg-Vorpommerschen Ostseeküste übernimmt. In Schleswig-Holstein haben die unteren Landesbehörden ALR Kiel und ALR Husum jeweils gleiche Aufgabenbereiche für verschiedene Küstenabschnitte (einerseits Ostseeküste, andererseits Nordseeküste).

Die Regelungen zum Katastrophenschutz in den beiden Ländern unterscheiden sich dahingehend, dass das Landeswassergesetz Mecklenburg-Vorpommern die Einrichtung von Wasserwehren vorsieht, während keine entsprechenden Regelungen zu Organisationen zur Abwehr von Wassergefahren auf Gemeindeebene im Landeswassergesetz Schleswig-Holstein enthalten sind. Zudem nimmt das Landesamt für Katastrophenschutz in Mecklenburg-Vorpommern eine gesonderte mittlere Ebene ein zwischen der obersten Katastrophenschutzbehörde, dem Innenminister, und den unteren Katastrophenschutzbehörden, den Landräten, Oberbürgermeistern, Bürgermeisterinnen und Amtsvorstehern. Außerdem existiert in Mecklenburg-Vorpommern eine übergreifende Hochwassermeldedienstverordnung, während sich diese in Schleswig-Holstein noch in Vorbereitung befindet.

4.3 Finanzierung von baulichen Hochwasserschutzmaßnahmen

Die folgenden Maßnahmen des technischen Hochwasserschutzes an der Ostsee sowie die jeweils notwendigen Vorarbeiten in Form von Untersuchungen und Erhebungen können unterschieden werden als vom Bund förderungs- bzw. nicht förderungsfähig (LÜBBE 1997):

1. **Neubau von Hochwasserschutzanlagen an der Küste und auf den Inseln:**
Förderungsfähig ist die Herstellung einer neuen Hochwasserschutzlinie durch Deiche, Dämme, Dünen, Deckwerke, Ufermauern, Sperrwerke, Spundwände u.ä., wenn dadurch die Länge der Hochwasserschutzlinie verkürzt oder erhalten bleibt. Förderungsfähig ist in diesem Zusammenhang auch der notwendige Grunderwerb und begleitende Maßnahmen des Naturschutzes und der Landschaftspflege.
Nicht förderungsfähig sind Rückdeichungen, die durch den Naturschutz veranlasst sind.
2. **Verstärkung und Erhöhung von Hochwasserschutzwerken an der Küste und auf den Inseln**
Förderungsfähig sind Sandvorspülungen, Dünenverstärkung mit Bepflanzung

sowie die Verbesserung des Küstenschutzwaldes.

Nicht förderungsfähig sind alle Unterhaltungs- und Pflegearbeiten von Hochwasser- und Küstenschutzmaßnahmen sowie das hierfür benötigte Material. Ebenso sind Schöpfwerke, Be- und Entwässerungsmaßnahmen, landbautechnische Maßnahmen sowie der Bau von ländlichen Wegen von der Förderung ausgeschlossen.

3. Bau von Buhnen, Wellenbrechern und ähnlichen Anlagen

Förderungsfähig ist der Bau von seegangsdämpfenden Wellenbrechern sowie von strandaufbauenden Buhnen. Diese Bauwerke dienen nicht direkt dem Hochwasserschutz, erhöhen jedoch die Lagestabilität der Küstenlinie.

Die Träger der Maßnahmen sind die Küstenländer oder andere bestehende Körperschaften des öffentlichen Rechts. Nach §10, Absatz 1 GemAgrG (1988) erstattet der Bund 70 % der Kosten für Maßnahmen und Vorplanungen zum Küsten- und Hochwasserschutz, 30 % der Kosten müssen die Küstenländer selbst tragen. Bei Gewährung von Beihilfen der Europäischen Union (EU) können bis zu 50 % der Maßnahmen- und Vorplanungskosten durch die EU getragen werden. Die national zu leistenden Aufgaben werden dann wiederum nach dem 70 / 30-Schlüssel aufgeteilt.

An den Küsten Schleswig-Holsteins standen in den letzten Jahren rund 35 Mio. Euro jährlich als Investitionsmittel für den Hochwasser- und Küstenschutz erster Ordnung zur Verfügung, von denen jeweils rund 3 Mio. Euro an der Ostseeküste Schleswig-Holsteins investiert wurden. Außerdem wurden als reine Landesmittel rund 10 bis 13 Mio. Euro zur Unterhaltung der Schutzanlagen an der Nord- und Ostsee bereitgestellt. An der Ostseeküste Mecklenburg-Vorpommerns wurden in den letzten Jahren jährlich rund 18 Mio. Euro in die Hochwasser- und Küstenschutzanlagen investiert. Zur Unterhaltung der Schutzanlagen wurden jährlich rund 2,5 Mio. Euro vom Land Mecklenburg-Vorpommern bereitgestellt.

5 Bestehendes Hochwasserschutzkonzept

Das bestehende Hochwasserschutzmanagement an der deutschen Ostseeküste wird im folgenden anhand der Aspekte Schadenspotential, vorbeugender baulicher Hochwasserschutz, Hochwasservorhersage sowie Katastrophenschutz dargestellt.

5.1 Schadenspotential

Untersuchungen zum Schadenspotential bei Eintritt des Bemessungshochwasserstands wurden in Schleswig-Holstein im Auftrag des MLR (MLR 1998) und in Mecklenburg-Vorpommern im Auftrag des StAUN Rostock (StAUN 1995) durchgeführt. Die Untersuchungen basieren auf der Modellstudie "Bewertungsgutachten für Deichbauvorhaben an der Festlandsküste – Modellgebiet Wesermarsch" von KLAUS & SCHMIDTKE (1990). Die überflutungsgefährdeten Gebiete werden durch die Geländehöhe über NN definiert. Aus amtlichen Statistiken werden die Einwohner- und Beschäftigtenzahlen, die Kapitalausstattung der Arbeitsplätze nach Wirtschaftsbereichen, der Viehbestand, der Bodenwert landwirtschaftlich genutzter Flächen sowie der Kfz-Bestand ermittelt. Die Einwohnerzahl dient als Indikator zur Ermittlung des Wohnungs- und Hausratsvermögens. Die Beschäftigtenzahlen verschiedener Wirtschaftsbereiche sind Indikatoren zur Ermittlung des gefährdeten Wirtschaftskapitals. Schlüsselgrößen, wie die Anzahl der Wohnungen, der Räume und der Wohnfläche je Einwohner oder die Kapitalausstattung pro Arbeitsplatz werden aus Landes- oder Bundesstatistiken entnommen (StAUN 1995). Das Gesamtrealvermögen setzt sich aus dem Kapitalstock der verschiedenen Wirtschaftsbereiche (Bruttoanlagevermögen), den Vorratsbeständen, dem Wohnungsvermögen einschließlich Hausrat, dem Kfz-Bestand, dem Viehbestand sowie dem Bodenwert der landwirtschaftlich genutzten Flächen zusammen (MLR 1998).

Das Schadenspotential wird aus dem Gesamtrealvermögen unter Verwendung von Schädigungsraten berechnet (StAUN 1995). In Abb. 13 sind beispielhaft zwei Schädigungsraten in Abhängigkeit vom Wasserstand dargestellt. Die maximale mittlere Schädigungsrate von Wohnungen durch Sturmfluten beträgt hiernach 40 % bei einem Wasserstand über +3,5 m NN, während die Schädigungsrate des Viehbestands bereits bei einem Wasserstand über +1,75 m NN 100 % beträgt. Die Differenz in der Schädigungsrate ergibt sich dadurch, dass die oberen Stockwerke der Häuser, sofern nicht die Standfestigkeit des gesamten Hauses durch Überflutungs-

einwirkungen gefährdet ist, in ihrer Funktion erhalten bleiben. Im Gegensatz dazu ist der Viehbestand wegen der ebenerdigen Haltung zu 100 % durch Sturmflutwasserstände gefährdet.

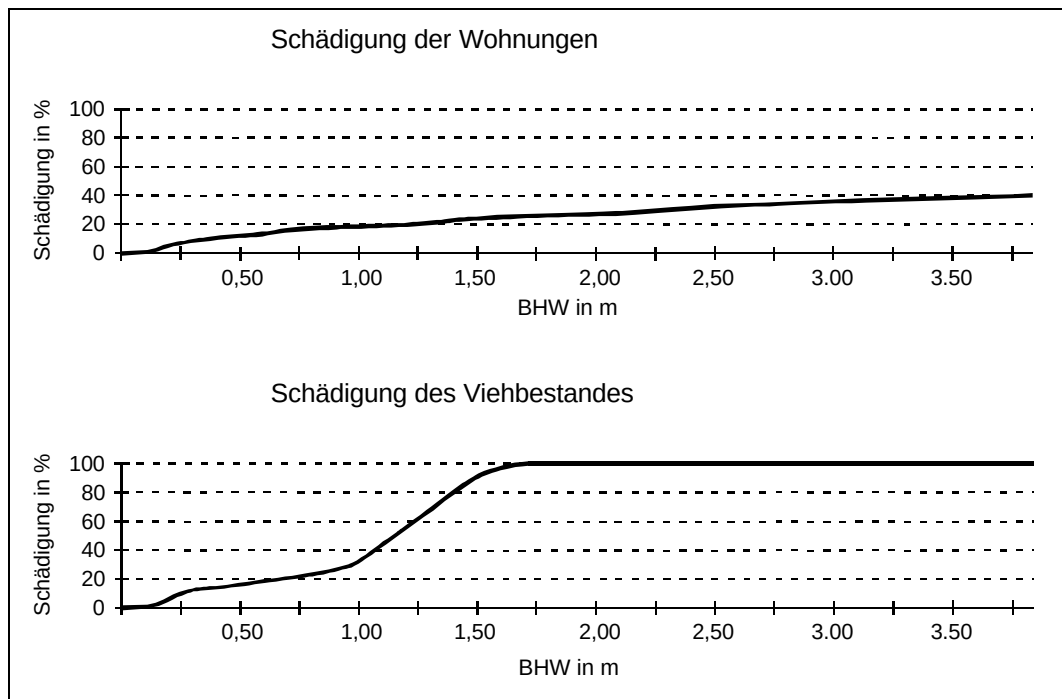


Abb. 13: Schädigungsraten in Abhängigkeit vom Wasserstand zur Ermittlung des Schadenspotentials (StAUN 1995)

In den Studien zum Schadenspotential in Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern werden lediglich ökonomische Parameter erfasst. Andere Wertigkeitsbereiche wie ökologische und kulturhistorische Werte werden nicht mit einbezogen. Die bestehenden Hochwasserschutzanlagen zum Schutz vor Überflutung werden in ihrer Funktion in den jeweiligen Studien nicht berücksichtigt.

Die ermittelten Schadenspotentiale sind nur als grobe Schätzung anzusehen. Beispielsweise beträgt die Höhengengenauigkeit des für die Untersuchungen in Schleswig-Holstein verwendeten digitalen Geländemodells im Hügelland-/Geestbereich ca. 2 bis 5 m und im Marschenbereich ca. 1 m (MLR 1998). Diese Ungenauigkeit spiegelt sich in der Güte der Bestimmung der überflutungsgefährdeten Flächen wider.

An der Ostseeküste Schleswig-Holsteins leben entsprechend der Wertermittlung (Datengrundlage 1993/94) rund 92.000 Menschen im potentiell überflutungsgefährdeten Gebiet von 318 km², das durch eine Höhenlage unterhalb von NN +3,0 m charakterisiert ist. Bei Eintritt des Bemessungshochwasserstandes ist mit einem monetären Gesamtschaden von 15,439 Mrd. Euro zu rechnen. Das Niederungsgebiet mit den höchsten gefährdeten Sachwerten stellt die Kieler Förde

mit einem Schadenspotential von 7,735 Mrd. Euro gefolgt von Lübeck / Travemünde mit 2,373 Mrd. Euro dar. Die jährliche Bruttowertschöpfung im betrachteten Gebiet beträgt rund 4 Mrd. Euro (MLR 1998).

An der Küste Mecklenburg-Vorpommerns leben entsprechend der Datengrundlage 1993/94 rund 163.000 Menschen auf einer bei Eintritt des Bemessungshochwasserstandes überflutungsgefährdeten Fläche von 1.042 km². Das Schadenspotential an Vermögenswerten beträgt ca. 1,68 Mrd. Euro. Der Hauptteil hiervon entfällt auf die Küstenstädte Rostock (0,75 Mrd. Euro), Greifswald (0,26 Mrd. Euro), Wismar (0,13 Mrd. Euro) und Stralsund (0,10 Mrd. Euro) (StAUN 1995).

Der Vergleich der ermittelten Schadenspotentiale in Schleswig-Holstein und in Mecklenburg-Vorpommern (Tab. 11) zeigt, dass die in Mecklenburg-Vorpommern ermittelten gefährdeten Vermögenswerte nur etwa ein Zehntel des für Schleswig-Holstein ermittelten Wertes betragen, obwohl die gefährdete Fläche mehr als dreimal so groß und die Anzahl der betroffenen Einwohner mehr als 1,5-mal so hoch ist bei in etwa gleich großer Anzahl von betroffenen Arbeitsplätzen. Zieht man bei dieser Betrachtung noch zum Vergleich das für eine Stadt wie Bremerhaven ermittelte Schadenspotential bei extremer Sturmflut von 1,5 Mrd. Euro und unter Einbeziehung von Gewerbe und Industrie von 3 Mrd. Euro (POHLHAUSEN 1999) heran, kann davon ausgegangen werden, dass das tatsächlich vorhandene monetär zu bewertende Schadenspotential in Mecklenburg-Vorpommern im Überflutungsgebiet signifikant höher ist als der in der vorliegenden Studie ermittelte Wert. Außerdem ist der Wertezuwachs in den Niederungsgebieten, insbesondere in den Küstenstädten in Mecklenburg-Vorpommern, durch Wohn- und Industrieneubauten bzw. –sanierungen seit 1994 auf Grund der Bauförderung Ost überdurchschnittlich hoch, so dass das heute vorhandene Schadenspotential zusätzlich nach oben hin zu korrigieren ist.

Weitergehende Untersuchungen zur Ermittlung des Schadenspotentials an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste sind bereits in Arbeit, womit für dieses Gebiet in Zukunft genauere Angaben zu den durch Sturmflutwasserständen gefährdeten Werten verfügbar sein werden. Nach HAMANN (1998) soll für die einzelnen Überflutungsräume das jeweilig vorhandene Überflutungsrisiko ermittelt werden, indem die Schadenspotentialdaten mit den Überflutungswahrscheinlichkeiten multipliziert werden. Mit diesem Hilfsmittel sollen neue Küstenschutzstrategien entwickelt werden, die beispielsweise Siedlungsbeschränkungen oder die Verkleinerung der potentiellen Überflutungsräume durch den Bau rückwärtiger Deiche enthalten können.

Schadensindikator	Schleswig-Holstein	Mecklenburg-Vorpommern
Überflutungsgefährdetes Gebiet	318 km ²	1.042 km ²
Betroffene Einwohner	91.606	162.893
Gefährdete Vermögenswerte	15,44 Mrd. Euro	1,67 Mrd. Euro
Jährliche Bruttowertschöpfung im betrachteten Gebiet	4,06 Mrd. Euro	Keine Angabe

Tab. 11: Ermittelte Schadenspotentiale an der Ostseeküste Schleswig-Holsteins und Mecklenburg-Vorpommerns, Datengrundlage 1993/94 (nach MLR 1998; StAUN 1995)

5.2 Vorbeugender baulicher Hochwasserschutz

Die Aufgabe des vorbeugenden baulichen Hochwasserschutzes besteht darin, das Leben und die Gesundheit der im Küstenraum lebenden Menschen sowie die im überflutungsgefährdeten Raum befindlichen Sachwerte vor schädlichen Einwirkungen hoher Wasserstände zu schützen.

Der Ausbaugrad der Hochwasserschutzanlagen an der deutschen Ostseeküste ist so hoch wie nie zuvor. Trotzdem genügen vorhandene Deiche und Dünen vielfach nicht den gültigen Bemessungsgrundlagen hinsichtlich Kronenhöhe, Querschnittsgestaltung und Materialeigenschaften und bedürfen daher einer Sanierung. Der Hochwasserschutz in Stadtgebieten ist oftmals nicht vollständig vorhanden. Einige Städte wie Wismar und Greifswald besitzen bisher keinen intakten baulichen Hochwasserschutz.

Im folgenden werden die gültigen Bemessungsgrundlagen von Hochwasserschutzanlagen und die Konstruktion sowie der Einsatz von Bauwerken an der deutschen Ostseeküste näher betrachtet.

5.2.1 Bemessungsgrundlagen

Die Bemessung von Hochwasserschutzanlagen an der deutschen Ostseeküste erfolgt deterministisch. Es werden Hochwasserstände, Wellenhöhen und –perioden sowie ggf. niedrige und hohe Binnenwasserstände definiert, die zur Bemessung von Bauwerken herangezogen werden.

Entsprechend des Entwurfs des Generalplans Küstenschutz Schleswig-Holsteins

2001 (MLR 2001a) wird ein flexibles Verfahren zur Bestimmung der Sollabmessungen der Hochwasserschutzanlagen angewandt. In einem regelmäßigen, etwa 10- bis 15-jährigem Rhythmus, wird der Sicherheitsstatus der vorhandenen Deiche in bezug auf Wasserstand und Wellenüberlauf überprüft. Sofern ein Deichabschnitt nicht dem geforderten Sicherheitsstandard entspricht, wird er in eine Prioritätenliste für Deichverstärkungen aufgenommen. Für die anstehenden Maßnahmen werden die aktuellen Werte und Erkenntnisse bei der Festlegung der Sollabmessungen angewandt.

An der Mecklenburg-Vorpommerschen Ostseeküste sind ebenfalls im Generalplan (MBLU 1995) geplante Ausbaumaßnahmen der Hochwasser- und Küstenschutzanlagen festgelegt; hierbei sind jedoch keine Prioritäten vermerkt. Die zeitliche Reihenfolge des Ausbaus richtet sich nach verfügbaren Finanzmitteln, der Kombination mit anderen Baumaßnahmen (wie z.B. beim geplanten Ausbau des Hochwasserschutzes für die Ortslage Heiligendamm infolge der dort laufenden Sanierungsarbeiten), Schadenspotentialerwägungen und anderen Randbedingungen.

Die Bemessungshochwasserstände für den Hochwasserschutz 1. Ordnung an der Ostsee basieren in Schleswig-Holstein ebenso wie in Mecklenburg-Vorpommern auf dem Scheitelwert des größten, messtechnisch sicher erfassten Ereignisses zuzüglich des säkularen Meeresspiegelanstiegs bezogen auf das Jahr 2070 in Mecklenburg-Vorpommern (MBLU 1995) bzw. auf das Baujahr plus 100 Jahre in Schleswig-Holstein (MLR 2001a).

Für den säkularen Anstieg werden in Schleswig-Holstein 15 cm pro Jahrhundert (MLR 2001a) und in Mecklenburg-Vorpommern unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten 15 – 25 cm (MBLU 1995) angesetzt.

An der gesamten Außenküste und einem großen Teil der Binnenküsten sind während der Sturmflut vom 12./13. November 1872 die höchsten Wasserstände gemessen worden. Lediglich an einigen Boddenküsten im Osten Mecklenburg-Vorpommerns sind am 30. Dezember 1913 die lokal höchsten Wasserstände aufgrund der hohen Verweilzeit erhöhter Außenwasserstände aufgetreten. In Tab. 12 sind an ausgewählten Pegeln der deutschen Ostseeküste die gemessenen Höchstwasserstände und die jeweiligen Bemessungshochwasserstände zusammengefasst. Bezüglich der Höchstwasserstände in Greifswald und Warnemünde beziehen sich die Bemessungshochwasserstände auf möglicherweise fehlerhaft überlieferte Hochwasserstände (vgl. Kap. 3.2). Die entsprechend DIETRICH et al. (2000) an diesen Pegeln aufgetretenen höheren Wasserstände sind der Tab. 12 mit einem * gekennzeichnet beigefügt.

Pegel	Höchstwasserstand	Bemessungshochwasserstand
Flensburg	+3,08 m NN	+3,50 m NN
Kiel	+2,97 m NN	+3,40 m NN
Fehmarn	+2,25 m NN	+3,20 m NN
Travemünde	+3,30 m NN	+3,70 m NN
Wismar	+2,80 m NN	+3,20 m NN
Heiligendamm	-	+2,90 m NN
Warnemünde	+2,43 m NN +2,69 m NN*	+2,85 m NN
Rostock	-	+3,00 m NN
Barth	-	+2,05 m NN
Stralsund	+2,39 m NN	+2,70 m NN
Greifswald Wieck	+2,64 m NN +2,79 m NN*	+3,00 m NN
Ueckermünde	-	+1,75 m NN

Tab. 12: Höchstwasserstände und Bemessungswasserstände an ausgewählten Orten an der deutschen Ostseeküste bezogen auf das Jahr 2070 (nach EAK 1993; MBLU 1995; * DIETRICH et al. 2000)

Neben den statischen Lasten aus hohen Wasserständen gehen die dynamischen Lasten aus den Seegangsbedingungen in die Bemessung der Hochwasserschutzbauwerke ein. Die Seegangseingangsdaten, wie Bemessungswellenhöhe und zugehörige Wellenperiode, entstammen hierbei Seegangsmessungen, Seegangsvorhersageverfahren auf Basis von Winddaten, Wind-Wellen-Korrelationen, numerischen Modellen bzw. zumeist aus einer Kombination der genannten Verfahren. Von Bedeutung sind die in die Bemessung eingehenden Wellenparameter an den Bauwerken, die flachwasser- und bauwerksbedingte Umformungen der Tiefwasserwellenparameter einschließen. Bei der Untersuchung der Seegangssituation am Bauwerk müssen unterschiedliche Windrichtungen, Windstärken und Winddauern, die extreme Hochwasserstände und/oder extreme Seegangsbedingungen hervorrufen, untersucht werden. Sofern die zur Bemessung anzusetzende Wellenhöhe nicht durch die am Bauwerk vorhandene maximale Wassertiefe begrenzt ist, muss ein entsprechender Bemessungsseegang mit einer bestimmten Wiederkehrperiode berechnet werden. Die gewählte Wiederkehrperiode muss nicht mit der geplanten Lebensdauer des Bauwerks übereinstimmen, sollte diese aber nicht unterschreiten (EAU 1996). Bei Hochwasserschutzbauwerken werden i.d.R. Wiederkehrperioden

von 50 bis 100 Jahren angesetzt. Allgemein geht man davon aus, dass geböschte Bauwerke gegen die signifikante Wellenhöhe $H_{1/3}$ und senkrechte Bauwerke gegen die höchste Welle $H_{\max}$ zu bemessen sind (KOHLHASE 1983). Die Bemessungswellenhöhe ist in Abhängigkeit vom zulässigen Risiko festzulegen. Bei hohen Sicherheitsanforderungen sollte das Verhältnis der Bemessungswellenhöhe H_{Bem} zur signifikanten Wellenhöhe $H_{1/3}$ zu 2,0 angesetzt werden (EAU 1996). Die Belastungsgröße hängt damit von den Seegangseingangsdaten, der Konstruktion des Bauwerks und der geforderten Sicherheit ab. Maßgebende Belastungsunterschiede ergeben sich insbesondere durch die Lastfälle reflektierende und brechende Welle sowie durch den Anlaufwinkel der Wellen, vgl. Kap. 5.2.3.4.

Extreme Binnenhoch- und Binnenniedrigwasserstände werden insbesondere zur Bemessung von Sturmflutsperrwerken untersucht. Hierbei ist der Bemessungsbinnenwasserstand abhängig von der gewählten Betriebsweise des Sperrwerks.

5.2.2 Sollhöhe und Böschungsneigung

Die Bemessung der erforderlichen Höhe von Hochwasserschutzbauwerken 1. Ordnung erfolgt i.d.R. deterministisch auf der Grundlage des Bemessungshochwasserstands sowie der charakteristischen Parameter der Bemessungswelle in Abhängigkeit von der zulässigen Überlaufwassermenge. Die zulässige Überlaufwassermenge muss am Bauwerk schadlos abgeführt werden können und ist damit direkt von der Konstruktion des Bauwerks abhängig. Zudem ist die zulässige Überlaufwassermenge auch durch die Wassermenge begrenzt, die im vor Außenhochwasserständen geschützten Bereich während eines Hochwasserereignisses schadlos rückgestaut bzw. unter Einsatz von Pumpen abgeführt werden kann.

Die Wellenaufbauhöhe ist definiert als der senkrechte Abstand zwischen dem höchsten Punkt des Wellenaufbaus und dem Ruhewasserspiegel. Sie ist bei flach geneigten Außenböschungen geringer als bei steil geneigten. Ebenso weisen raue Böschungen wegen ihres hohen Reibungsbeiwertes geringere Wellenaufbauhöhen als glatte auf. Näheres zur Berechnung des Wellenaufbaus an geneigten Bauwerken enthält EAK (1993).

Zerstörungen an geböschten Bauwerken entstehen grundsätzlich durch die erosive Wirkung des Auf- bzw. Ablaufwassers und sind aus diesem Grund von der Strömungsgeschwindigkeit desselben abhängig. Die Strömungsgeschwindigkeiten sind um so größer, je steiler und glatter die Böschung ist. Beim Überströmen entstehen Ausspülungen zunächst an den Gefällewechseln am Fuß und an den Bermen geböschter Bauwerke; die weitere Zerstörung erfolgt in Form einer Rückschreiten-

den Erosion. Anhaltswerte für zulässige Grenzwerte von Strömungsgeschwindigkeiten auf Böschungen unter bestimmten Böschungsneigungen und Böschungsrauigkeiten sind bisher kaum bekannt (SIEFERT 1996).

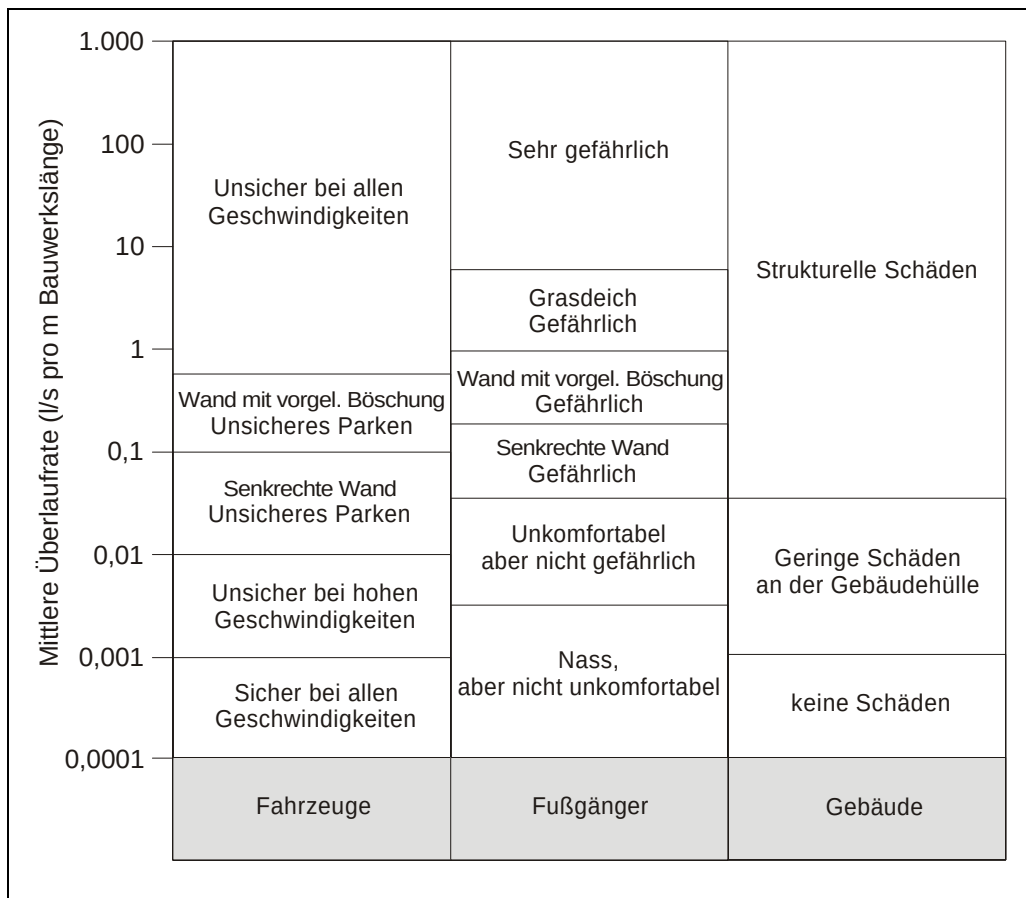


Abb. 14: Nutzungsabhängige zulässige mittlere Überlaufraten in Liter pro Sekunde pro laufendem Meter nach FRANCO et al. (1994)

Allgemein wird bei Gründeichen mit einer Binnenneigung von 1:3 oder flacher der Wellenüberlauf einzelner Wellen zugelassen. Als maximal zulässiger Wellenüberlauf werden 2 % der anlaufenden Wellen bei Eintritt des Bemessungshochwasserstands und des Bemessungsseegangs angenommen (EAK 1993). Nach MLR (2001a) geht an der Schleswig-Holsteinischen Ostseeküste jedoch wegen der fehlenden Seegangsmessungen kein zulässiger Wellenüberlauf in die Bemessung ein. Zulässige Überlaufmengen bei Grasdeichen sind in JORISSEN (2000) anhand der Ausbildung der Innendeichböschung näher spezifiziert:

- Ohne spezifische Anforderungen an die Innendeichböschung hinsichtlich Erosion oder Infiltration: 0,1 l/(m*s)
- Bei guter Klebedeckung und Rasenansaat einer nicht steiler als 1:2 geneigten

Innendeichböschung: 1 l/(m*s)

- Bei sehr guter Kleibedeckung und Rasenansaat einer nicht steiler als 1:3 geneigten Innendeichböschung: 10 l/(m*s)

Eine Zusammenfassung zulässiger Überlaufwassermengen in Abhängigkeit von der Bauwerkskonstruktion und der geplanten Nutzung des geschützten Geländes enthält FRANCO et al. (1994), Abb. 14. Die zeitliche Verteilung der Überlaufmengen weist entsprechend der spektralen Form des natürlichen Seegangs bei der Betrachtung von Zeitskalen im Sekundenbereich große Unterschiede auf und die jeweiligen zulässigen mittleren Überlaufraten ergeben sich erst bei Mittelung über ein mindestens mehrere Minuten langes Zeitintervall.

Hinsichtlich der Abschätzung von Überlaufwassermengen über vertikale Wände existieren im deutschen Schrifttum mit empfehlenden Charakter (EAK 1993; EAU 1996) keine Hinweise. Das internationale Schrifttum enthält Verfahren zur Abschätzung der mittleren Überlaufwassermengen über senkrechte Strukturen auf der Basis von hydraulischen Versuchen mit langkämmigem sowie kurzkämmigem Seegang bei senkrechtem und schrägem Wellenangriff (DAEMRICH 1999; FRANCO; FRANCO 1999; FRANCO et al. 1995; FRANCO et al. 1994; GODA 2000). In den Veröffentlichungen sind z.T. signifikante Unterschiede in den Berechnungsverfahren zu finden (DAEMRICH 1999). Der Berechnungsansatz nach DAEMRICH (1999) kann bei langkämmigem unregelmäßigen Seegang mit senkrechtem (0°) sowie schrägem Wellenangriff (20°, 40°) zur Abschätzung der mittleren Überlaufrate an einer vertikalen Wand mit Böschung im Vorlandbereich Verwendung finden. Die mittlere Überlaufrate q pro laufendem Bauwerksmeter berechnet sich unter diesen Randbedingungen nach DAEMRICH (1999) zu:

$$q = Q * \sqrt{g * H_{1/3}^3} \quad [m^3 / (m * s)] \quad \text{Gl. 1}$$

Die dimensionslose Überlaufrate Q wird berechnet zu:

$$Q = a * \exp\left(b * \frac{R_c}{H_{1/3}}\right) \quad [-] \quad \text{Gl. 2}$$

Die höchste mittlere Wellenüberlaufrate tritt bei senkrechtem Wellenangriff auf.

Mit: R_c : Höhe der senkrechten Wand über Bemessungswasserstand [m]
 $H_{1/3}$: Signifikante Bemessungswellenhöhe [m]
 a, b : Dimensionslose Koeffizienten in Abhängigkeit von der Wellenangriffsrichtung (Tab. 13)

Wellenangriffsrichtung g	Koeffizient a [-]	Koeffizient b [-]
0°	0,5	-2,34
20°	0,5	-2,73
40°	0,5	-3,42

Tab. 13: Dimensionslose Koeffizienten a und b bei linearer Regression (DAEMRICH 1999)

Neben Wellenauflauf und –überlauf kommt es an Hochwasserschutzbauwerken zur Reflexion von Wellen. Der Reflexionsgrad ist abhängig von der Steilheit und dem Angriffswinkel der anlaufenden Wellen sowie von der Bauwerksneigung und der Oberflächenbeschaffenheit. Die reflektierte Welle ist um so höher je geringer die Wellensteilheit, je steiler geneigt das Bauwerk und je glatter und undurchlässiger die Bauwerksoberfläche ist. Der Reflexionskoeffizient schwankt in weiten Grenzen und kann bei rauen und durchlässigen Böschungen nur im hydraulischen Modell bestimmt werden. Bei senkrechtem Wellenangriff auf eine glatte, senkrechte Wand kann ein stehendes Wellensystem mit einer um den Faktor 2 erhöhten Wellenhöhe (Clapotis) auftreten. Die Wellenhöhen können unter bestimmten Bedingungen an der Wand sogar über das Zweifache der einfallenden Wellenhöhe anwachsen (MACH-Reflexion). Näheres zur Reflexion von Wellen an Bauwerken in KOHLHASE (1983).

Durch das Auftreffen von Wellen auf das Bauwerk kommt es zur Druckschlagbelastung. Flach geneigte Außenböschungen haben den Vorteil, dass die Druckschlagbelastung durch das Wasserpelster des noch auf der Böschung befindlichen Rücklaufwassers verringert wird. Die Druckschlagminderung ist damit abhängig von der Periode der auflaufenden Welle. Maßgebende Wellenhöhen treten an der deutschen Ostseeküste mit Perioden von 5 bis 6 s auf. Als Mindestböschungsneigung wird an der Außenseite von einem Wert von 1:6 ausgegangen (EAK 1993).

Bei senkrechten Bauwerken stellen insbesondere die hohen dynamischen Belastungen aus dem Seegang den Bemessungslastfall dar. Bei der Bemessung sind drei Lastfälle zu unterscheiden, deren Eintritt von den örtlichen Seegangs- und Wassertiefenverhältnissen abhängig ist:

1. Am Bauwerk vollständig oder teilweise reflektierte Wellen
2. Am Bauwerk brechende Wellen
3. Bereits vor dem Bauwerk gebrochene Wellen

Die Lastfälle können bei angreifendem natürlichen Seegang in Kombination auftreten, wobei eine Trennung der Lastfälle nach Wellenhöhen vorzunehmen ist. Bei bereits vor dem Bauwerk gebrochenen Bemessungswellen können u.U. Wellen geringerer Höhe durch ihr Brechen direkt am Bauwerk höhere Belastungen ausüben als die eigentliche Bemessungswelle. Bei Lastfall 2 treten die vergleichsweise höchsten dynamischen Lasten infolge örtlich konzentrierter und sehr hoher Druckschlagbelastungen auf. An einer senkrechten Wand brechende Wellen können Aufschlagdrücke von 10.000 kN/m² und mehr ausüben, die zeitlich jedoch nur sehr begrenzt (1/1000 bis 1/100 s) wirken (EAU 1996). Das Brechen hoher Wellen am Bauwerk sollte möglichst vermieden werden. Ist dies nicht realisierbar, werden zur endgültigen Bemessung hydraulische Untersuchungen empfohlen (EAU 1996). Die Aufschlagdrücke reflektierter oder bereits vor dem Bauwerk gebrochener Wellen sind gegenüber denen von direkt am Bauwerk brechenden Wellen stark abgemindert. Die Vorlandgeometrie kann damit entscheidend für die Konstruktion der Hochwasserschutzwand sein. Bei der Bemessung von Hochwasserschutzwänden geht i.d.R. wegen der hohen Gefahr der Gesamtzerstörung des Bauwerks durch Druckschläge einzelner hoher Wellen die maximale Wellenhöhe eines extremen Seegangseignisses ein. Nähere Angaben zur Bemessung von senkrechten Hochwasserschutzbauwerken enthalten EAU (1996), EAK (1993) und OUMERACI (1996).

5.2.3 Konstruktion und Einsatz der Bauwerke

An der deutschen Ostseeküste eingesetzte Hochwasserschutzbauwerke sind Hochwasserschutzdünen, Deiche, Hochwasserschutzmauern und Verwallungen. Bisher noch nicht realisiert, für den Schutz der Hansestadt Greifswald jedoch in Planung befindlich, ist der Bau eines Sturmflutsperrwerks. Hinzu kommen weitere technische Vorsorgeeinrichtungen.

Die Wirksamkeit von Hochwasserschutzbauwerken hängt wesentlich von der Stabilität des Küstenstreifens ab, auf dem sie errichtet werden. Die Kehrung von Hochwasserständen ist in vielen Gebieten direkt mit dem Schutz der Küste vor Landverlust verbunden. Der technische Küstenschutz an der deutschen Ostseeküste wird durch Küstenschutzdünen, Buhnen, Wellenbrecher, Ufermauern, Deckwerke und Sandaufspülungen realisiert. Begleitend zu den genannten Hochwasser- und Küstenschutzmaßnahmen werden ingenieurbioologische Maßnahmen eingesetzt.

Im folgenden wird lediglich auf die Konstruktion der direkten Hochwasserschutzmaßnahmen erster Ordnung und nicht näher auf die Lagestabilisierung der Küstenli-

nie seeseitig der Hochwasserschutzbauwerke eingegangen.

5.2.3.1 Hochwasserschutzdünen

Hochwasserschutzdünen müssen im Gegensatz zu Küstenschutzdünen auf den Bemessungshochwasserstand bemessen werden. Bei reinen Küstenschutzdünen können ggf. Überflutungen zugelassen werden, sofern die Lagestabilisierung der Küstenlinie im gewünschten Umfang erhalten bleibt. Ansonsten bestehen grundsätzlich keine Unterschiede zwischen Hochwasser- und Küstenschutzdünen.

Dünen bestehen i.d.R. aus einem Sandkörper, der mit Strandhafer bewachsen ist. Die Bepflanzung verringert die durch Winderosion abgetragenen Sandmengen und damit auch die Sandverwehungen ins Hinterland, fördert die Anlagerung von Sand und damit das Höhenwachstum der Düne und erhöht durch die Verwurzelung die innere Stabilität der Deckschicht und damit den Abtragungswiderstand bei Sturmflut (MBLU 1995).

Neben der Kronenhöhe ist die Kronenbreite für die Funktionstüchtigkeit des Bauwerks ausschlaggebend, wobei der Sedimenthaushalt die entscheidende Rolle spielt. Je länger die Belastung aus Wasserstand und Seegang auf die Düne einwirkt, desto mehr Sand wird aus dem Dünenkörper ausgespült. Bei senkrechtem Wellenangriff wird das Material durch den Küstenquertransport auf dem Vorstrand abgelagert; bei schrägem Wellenangriff wird der Sand zusätzlich durch den Küstenlängstransport küstenparallel verfrachtet. Die Düne verlagert sich mit dem Rückgang der Küste bei etwa gleichbleibenden morphologischen Verhältnissen landeinwärts (EAK 1993). Durch den Küstenlängstransport nimmt das Sandvolumen jedoch mit der Zeit ab; der fehlende Sand muss durch Aufspülungen auf dem Vorland und am seeseitigen und zum Teil auch am landseitigen Teil der Düne ersetzt werden. Die Verstärkungen werden möglichst über das Bemessungsmaß hinaus mit einem vorgelagertem Sanddepot als Verschleißteil vorgenommen. Zur Verringerung des Küstenrückgangs werden zusätzlich Sandvorspülungen, uferferne Wellenbrecher und Buhnen eingesetzt. Eine Rückverlagerung der Düne kann nur unter Berücksichtigung der Nutzung und Bebauung des Hinterlandes zugelassen werden.

Eindeutige Bemessungsverfahren für die anzusetzende Dünenbreite existieren nicht. Nach MBLU (1995) sind bei Kronenhöhen von +3,5 m NN Kronenbreiten von 40 bis 45 m erforderlich, um extremen Seegangsbelastungen bei Eintritt des Bemessungshochwasserstands standzuhalten. Bei einem kombinierten System aus Düne – Küstenschutzwald - Deich sind Kronenbreiten der Düne von 20 bis 25 m und Waldbrei-

ten von 100 m vorzusehen (EAK 1993). Die Kronenhöhe der Düne kann den Bemessungshochwasserstand unterschreiten, da der Deich nach Abschwächung der Seegangsenergie durch Düne und Wald zur Kehrung der extremen Wasserstände zur Verfügung steht. Bei einem negativen Sedimenthaushalt wird langfristig die Breite des für Düne und Wald zur Verfügung stehenden Küstenstreifens verkleinert. Bei verringerten wirksamen Waldbreiten, werden die zum Dünenaufbau erforderlichen Sandaufspülungen vergrößert. Erreicht der Wald eine wirkungslose Breite von nur noch 25 m, werden Düne und Deich zu einem Sandkörper verbunden oder das aus drei Komponenten bestehende Schutzsystem muss landseitig neu erbaut werden, sofern die Hinterlandsituation dies erlaubt (EAK 1993).

An der schleswig-holsteinischen Ostseeküste existieren keine ausdrücklich vom Land unterhaltenen Hochwasserschutzdünen (MELF 1992). Die vorhandenen Dünen dienen gemeinsam mit den sehr häufig vorhandenen Strandwällen der Seegangsreduzierung vor Deichen.

In Mecklenburg-Vorpommern wird der Hochwasserschutz über 105 km der insgesamt 226 km langen Außenflachküste allein durch Dünen ohne Kombination mit Deichen gewährleistet (MBLU 1995). Die Breite der Dünen schwankt stark und unterschreitet die erforderliche Dünenbreite von rund 45 m oftmals erheblich. Der sich fortsetzende Küstenrückgang am Dünenfuß kann nur für begrenzte Zeit durch Buhnenbau und Strandvorspülung abgemindert werden. Mittel- und langfristig müssen auch landseitige Verstärkungen der Dünen vorgenommen werden, die oftmals eine Entfernung hinderlicher Baukörper erfordern (MBLU 1997b).

5.2.3.2 See-, Bodden und Haffdeiche

Nach Anordnung und Konstruktion unterscheidet man Seedeiche in Scharlage und Deiche mit über dem Mittelwasser liegenden Vorland bzw. mit vorgelagerten Dünen und ggf. Küstenschutzwäldern. Bodden- und Haffdeiche werden ohne Vorlandwirkung angeordnet, da hier die Seegangsbelastung vergleichsweise gering ist.

Im allgemeinen besteht der Deichkörper aus Seesand und besitzt eine 30 bis 50 cm starke bindige Bedeckung sowie eine 10 bis 20 cm starke Kulturbodenschicht mit Rasenansaat. Die Neigungen der Außenböschung liegen zwischen 1:3 und 1:5 (MBLU 1995). Die Außenböschungen der Bodden- und Haffdeiche können bei geringer Seegangsbelastung steiler ausgeführt werden. Bei starken Seegangseinwirkungen und/oder bei steil geneigten Deichaußenböschungen wegen beengter Platzverhältnisse sowie bei starker Frequentierung der Deichböschungen durch Fußgänger in Erholungsgebieten können Deckwerke zum Böschungsschutz ange-

ordnet sein. Bei scharliegenden Deichen werden teilweise Fußsicherungen in Form von Pfahlreihen und Deckwerken angeordnet.

Die Höhe der Deiche 1. Ordnung ergibt sich aus dem Bemessungshochwasserstand (BHW) zuzüglich des Wellenaufbaus. Ein Überlauf einzelner Wellen unter Extrembedingungen kann bei 1:3 oder flacher geneigten Innenböschungen zugelassen werden. Bei Deichen mit Vorland oder vorgelagerter Düne und ggf. Küstenschutzwald ist der am Deich ankommende Seegang abgemindert und somit ist die Druckschlagbelastung sowie die Höhe des Wellenaufbaus verringert.

Bei der Kreuzung von Verkehrswegen mit der Deichlinie müssen, sofern eine Überführung der Straße bzw. der Bahnlinie bei beengten Platzverhältnissen nicht möglich ist, Öffnungen in der Deichlinie, sogenannte Deichscharten, angeordnet werden. Diese Öffnungen sind im Hochwasserfall i.d.R. manuell durch das Einbringen von Dammbalken zu schließen.

An der Schleswig-Holsteinischen Ostseeküste beträgt die Länge der Hochwasserschutzanlagen insgesamt 129 km; 69 km hiervon sind Landesschutzdeiche und weitere 40 km sind Überlauf- oder sonstige Deiche (MLR 2001a). Im Zeitraum 1962 bis 2000 betragen die Ausgaben zur Verstärkung der Landesschutzdeiche an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste 62 Mio. Euro; rund die Hälfte dieser Summe wurde von 1986 bis 2000 ausgegeben (MLR 2001a). Die nach dem Entwurf des Generalplan Küstenschutz Schleswig-Holstein (MLR 2001a) veranschlagten Kosten für prioritär zu verstärkende Landesschutzdeiche an der schleswig-holsteinischen Ostseeküste betragen 106 Mio. Euro.

An der Ostseeküste Mecklenburg-Vorpommerns beträgt die Gesamtlänge der Deiche 1. Ordnung 212 km, wovon 67 % auf Boddendeiche, 13 % auf Flussdeiche im Rückstaugebiet und 20 % auf Seedeiche an der Außenküste entfallen (MBLU 1997b). Die Seedeiche haben eine Länge von 42 km; 38 km hiervon sind Bestandteil des traditionellen Schutzsystems aus Düne-Küstenwald-Deich (MBLU 1997b).

5.2.3.3 Sturmflutsperrwerke

Sturmflutsperrwerke existieren an der deutschen Ostseeküste bisher noch nicht. Zum Schutz der Hansestadt Greifswald vor hohen Wasserständen ist jedoch ein Sperrwerk in Planung. Gemäß des aktuellen Planungsstands soll das Sturmflutsperrwerk an der Mündung des 65 m breiten Ryck in Greifswald-Wieck mit einem Drehsegmentverschluss mit einer Öffnungsweite von 21 m versehen werden. Der verbleibende Flussquerschnitt soll durch einen Damm verbaut werden. Neben den

Anschlussdeichen sind landseitige Schiebetore zum Verschluss der am Flussufer verlaufenden Straßen geplant. Das Sperrwerk soll in den Jahren 2004 und 2005 erstellt werden, und der Bau der Anschlussdeiche ist für das Jahr 2006 geplant.

5.2.3.4 Hochwasserschutzwände

Hochwasserschutzwände sind senkrechte Linienbauwerke in Spundwand- oder Betonmauerbauweise, die bei beengten Platzverhältnissen in städtisch oder gewerblich genutzten Küstenbereichen eingesetzt werden. Bei senkrechten Bauwerken stellt insbesondere die hohe dynamische Belastungen aus Seegang die Bemessungsgröße dar.

An der Ostseeküste von Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern sind Hochwasserschutzmauern in geringem Umfang in städtischen Gebieten vorhanden. Diese bieten jedoch z.T. wegen mittlerweile nicht mehr zu verschließenden Durchgangsöffnungen keine Schutzfunktion mehr. Bei der Anordnung von hohen senkrechten HWS-Wänden werden Sicht- und Wegebeziehungen eingeschränkt, die Attraktivität von eng mit dem Wasser verbundenen innerstädtischen Gebieten kann empfindlich gestört werden.

5.2.3.5 Uferlängswerke

Uferlängswerke sind küstenparallel angeordnete Bauwerke, die Strand, Düne, Vorland, Deich oder sonstige Anlagen vor Brandung, Strömung und Eisangriff schützen (EAK 1993). Zu den Uferlängswerken gehören offene und geschlossenen Deckwerke, Strand- und Ufermauern sowie sonstige Längswerke aus Natursteinen, Betonformkörpern, Pfahlwänden, sandgefüllten geotextilen Containern u.a. Der Küste vorgelagerte Längswerke sind uferferne Wellenbrecher oder künstliche Riffe.

Längswerke werden hauptsächlich zum Schutz sandiger Küsten vor Küstenrückgang eingesetzt und dienen somit i.d.R. nur mittelbar dem Hochwasserschutz. Die kombinierte Anordnung von Längswerken mit gesonderten Hochwasserschutzanlagen, zumeist Deichen und Dünen, und mit Maßnahmen des aktiven Küstenschutzes, wie Strandaufspülungen, erfolgt häufig. Scharliegende Deiche erhalten zur Fußsicherung Pfahlreihen und zur Böschungssicherung in stark durch Seegang und / oder Verkehr belasteten Bereichen Deckwerke. Deckwerke können auch die seeseitige Böschung von Dünen vor beschleunigtem Abbruch schützen.

5.2.3.6 Weitere technische Vorsorgemaßnahmen

Zu den weiteren technischen Vorsorgemaßnahmen zum Schutz der küstennahen Niederungsgebiete vor Eintritt erhöhter Ostseewasserstände gehören u.a. Damm-balkenverschlüsse in Deichscharten, Rückstauarmaturen in der Kanalisation, sielartige Verschlussorgane in mit der Ostsee in Verbindung stehenden Entwässerungsgräben sowie infrastrukturelle Maßnahmen für den Katastrophenschutz. Die Durchführung dieser Maßnahmen erfordert immer die koordinierte Zusammenarbeit verschiedener fachspezifischer Institutionen.

Neben dem öffentlichen Hochwasserschutz gibt es private Hochwasserschutzmaßnahmen in Häfen und Industrieanlagen sowie in geringem Maße von Privathaushalten, die sich nicht innerhalb des von der öffentlichen Hand zu schützenden Bereichs befinden. Die für den Privaten Objektschutz anzusetzenden Bemessungseingangsgrößen müssen nicht mit denen der Hochwasserschutzanlagen 1. Ordnung übereinstimmen. Sie sind abhängig von der vom Objekt ausgehenden Gefahr bei Überschwemmung (z.B. durch austretende Schadstoffe) und persönlichen Risikoabwägungen bei der Sicherung der gefährdeten Sachwerte.

5.3 Hochwasservorhersage

Die Wasserstandsvorhersage für die deutsche Ostseeküste ist ein Dienst des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH), Dienstort Rostock, wobei das Wasserstandsvorhersagemodell vom BSH, Dienstort Hamburg betrieben wird. Basis der Wasserstandsvorhersage sind Prognosen aus meteorologischen Modellen und aus Seegangsmodellen des Deutschen Wetterdienstes (DWD). Es werden Daten der meteorologischen Modelle Global-Modell GME mit einer Flächen-Auflösung von 60 x 60 km und Lokal-Modell LM mit einer Flächen-Auflösung von 7 x 7 km verwendet (DICK et al. 2000, DWD 2000). Sie liefern Vorhersagen bezüglich des Windes, des Luftdrucks, der Lufttemperatur, der Wolkendichte und der spezifischen Luftfeuchte über einen Vorhersagezeitraum von bis zu 78 Stunden. Zusätzlich wird ein operationelles Seegangsmodell des DWD mit Vorhersagen von bis zu 72 Stunden hinsichtlich der zu erwartenden Wellenhöhen, der Seegangsrichtung sowie der Frequenz der Windsee und der Dünung verwendet (DICK et al. 2000).

Diese Daten gehen in das operationelle Zirkulationsmodell des BSH zur Berechnung von Strömungen, Wasserständen, Wassertemperaturen, Salzgehalten und Eisbedeckungen ein. Zur Berechnung der Randbedingungen dient ein zweidimensionales Modell für den Nordöstlichen Atlantik mit einer Auflösung von 40 km. Hiervon ausgehend wird ein dreidimensionales Modell mit einer Auflösung von 1,8 km in der Deut-

schen Bucht und in der westlichen Ostsee sowie mit einer Auflösung von 10 km in den restlichen Gebieten der Nord- und Ostsee betrieben (BSH 1999). Der Berechnungszeitschritt beträgt bei der Auflösung von 10 km 90 s und bei der Auflösung von 1,8 km 45 s. Die Berechnungszeit für eine 48-stündige Vorhersage beträgt rund 3 Stunden. Im Winter kann sich die Rechenzeit infolge der Einbeziehung der Eisbedeckung etwas verlängern (DICK et al. 2000).

Die Berechnungen werden einmal täglich ab 21:00 Uhr mit den meteorologischen Vorhersagedaten des gleichen Tages von 12:00 Uhr für einen Vorhersagezeitraum von 12 bis 84 Stunden durchgeführt (DICK et al. 2000). Diese Vorhersage wird am folgenden Tag mit neuen meteorologischen Vorhersagedaten aktualisiert.

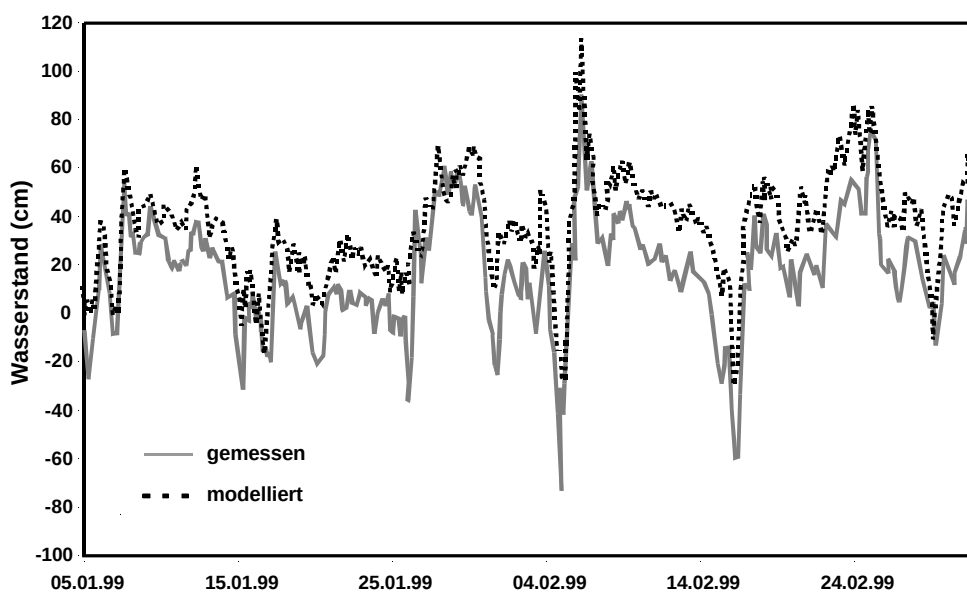


Abb. 15: Gemessene und vom BSH vorhergesagte Wasserstände im Winter 1999 an der Station Koserow (DICK et al. 2000)

In Abb. 15 ist eine gemessene und eine in einer 12-Stunden-Vorhersage vorausberechnete Zeitreihe von Wasserständen an der Station Koserow vom Winter 1999 dargestellt. Die vom Modell berechneten Wasserstandsvariationen stimmen gut mit den Messwerten überein, allerdings unterscheidet sich das mittlere Wasserstandsniveau der gemessenen und der modellierten Daten um rund 20 cm. Dies kann nach DICK et al. (2000) möglicherweise auf eine fehlerhafte Salzgehalt- und somit Dichteverteilung im Modell oder auf eine Differenz des Nullniveaus des Modells und der Pegel zurückzuführen sein. Die Standardabweichung der Wasserstandsdifferenzen zwischen Messung und Modellprognosen liegen teilweise unter 10 cm (Warnemünde 8,8 cm, Saßnitz 6,8 cm, Koserow 7,2 cm) (DICK et al 2000).

Trotz dieser im Mittel geringen Differenzen zwischen Messung und Modellvorhersage können die relativen Modellfehler bei sehr turbulenten Wetterlagen hoch sein. Beim Vergleich prognostizierter und eingetretener Hoch- und Niedrigwasserstände (Wasserstandsereignis $\geq |\pm 80 \text{ cm}|$ bezogen auf den generalisierten mittleren Wasserstand PN +500cm) seit 1995 sind bei über 70 % der prognostizierten Wasserstände Fehler von $\geq |\pm 50 \text{ cm}|$ aufgetreten (STIGGE 2000b).

Nach STIGGE (2000b) führen vollautomatische Datenassimilationstechniken – Wasserstandsdaten mehrerer Stationen an der deutschen Ostseeküste liegen dem BSH online vor – bei Kurzfristvorhersagen bis zu 12 Stunden zu signifikanten Prognoseverbesserungen. Bei längerfristigen Vorhersagen ist die Qualität der reinen hydro-numerischen Vorhersagen i.d.R. jedoch besser als wenn das hydrodynamische Modell eine Datenassimilation mit einschließt (STIGGE 2000b). Die Fehler des hydro-numerischen Modells resultieren einerseits daraus, dass die hydrodynamischen Ansätze immer nur ein ungefähres, fehlerbehaftetes Bild der Wirklichkeit widerspiegeln können und lokale Winde (STIGGE 1995), die vom Modell des DWD nicht erfasst werden, sowie der Füllungsgrad der Ostsee (STIGGE 2000b) durch das Modell nicht beschrieben werden. Andererseits muss in Betracht gezogen werden, dass Abweichungen der Modellergebnisse von Messwerten nicht nur auf Modellfehler und Modellungenauigkeiten zurückzuführen sind. Abweichungen entstehen auch infolge der Verwendung von meteorologischen Vorhersagedaten, die nicht vollständig mit den tatsächlich eingetretenen Witterungsbedingungen übereinstimmen müssen. Modellrechnenläufe mit tatsächlich eingetretenen Wetterbedingungen können häufig zu einer größeren Übereinstimmung von Modell- und Messwerten führen (DICK et al. 2000).

Insgesamt sind kurzfristige Wasserstandsprognosen mit einem Vorlauf von 12 Stunden geringer fehlerbehaftet als längerfristige Prognosen. Die Vorhersagegenauigkeit hängt wesentlich von der Zuggeschwindigkeit der Tiefdruckgebiete ab. Der Eintrittszeitpunkt des Hochwasserscheitels ist wegen des sehr geringen Gezeiteneinflusses an der deutschen Ostseeküste schwer zu bestimmen. An der Nordseeküste liegt der Eintritt des Wasserstandsscheitelwerts im Bereich des astronomisch bedingten und vorausrechenbaren Tidehochwassers. Diese Kopplung ist in der Ostsee nicht gegeben.

5.4 Katastrophenschutz

Nach Definition der Katastrophenschutzgesetze der Länder Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern (LKatSG 1996; LKatSG 1992) ist eine Katastrophe ein Ereignis, das Leben, Gesundheit oder die lebensnotwendige Versorgung zahlreicher Menschen, die Umwelt oder bedeutende Sachgüter in so außergewöhnlichem Maße gefährdet oder schädigt, dass Hilfe und Schutz nur gewährleistet werden können, wenn die zuständigen Behörden, Organisationen und eingesetzten Kräfte unter einheitlicher Leitung der Katastrophenschutzbehörden zusammenwirken. Bei Eintritt stark erhöhter Wasserstände an der deutschen Ostseeküste ist immer mit einem umfangreichen Schadensereignis zu rechnen, so dass die Katastrophenschutzbehörden bei entsprechend vorhergesagten Ereignissen in Alarmbereitschaft gesetzt werden müssen.

Im folgenden werden der Hochwassermeldedienst, die Organisation der Katastrophenabwehr sowie die Maßnahmen zum Katastrophenschutz bei Sturmflut dargestellt.

5.4.1 Hochwassermeldedienst

Am Hochwassermeldedienst an der Ostseeküste, der auf Wasserstandsmessungen und -vorhersagen beruht, sind in Mecklenburg-Vorpommern die Hochwassermeldezentren, die Kreismeldestellen und die Empfänger der Meldungen beteiligt (HwMDVO 1993). An der schleswig-holsteinischen Ostseeküste existiert bisher noch keine übergreifende Hochwassermeldedienstverordnung (vgl. Kap. 4.2.1). Somit bestehen auch keine landeseinheitlichen Regeln zur Hochwassermeldung. Die Hochwassermeldezentren in Mecklenburg-Vorpommern übernehmen das Beobachten, die Vorhersage und die Meldung von Wasserständen. Die meteorologischen Daten für die Vorhersage stammen vom Deutschen Wetterdienst DWD. Zu den Hochwassermeldezentren gehören die Wasser- und Schifffahrtsdirektion Nord und das Bundesamt für Hydrographie in Rostock. Kreismeldestellen sind die Landräte der Landkreise und die Oberbürgermeister der kreisfreien Städte in der Küstenregion. Empfänger der Hochwassermeldungen sind die sogenannten Meldeköpfe und damit kreisfreie Städte, Ämter, amtsfreie Gemeinden, Unternehmen mit besonders gefährdeten Anlagen und weitere in den regionalen und überregionalen Meldeplänen benannte Behörden und Einrichtungen. Der Standardübermittlungsweg für Wasserstandsvorhersagen ist das Telefax.

Die Bevölkerung wird über Rundfunk, Fernsehen und Fernsprechkreis der Deut-

schen Telekom und, im Katastrophenfall, über Sirenen, Lautsprecherwagen u.ä. über bevorstehende Hochwasserstände und Gefährdungen informiert.

Die Wasserstandsvorhersagen werden täglich vom BSH erstellt und herausgegeben (vgl. Kap. 5.3). Hochwasserwarnungen werden aus den Wasserstandsvorhersagen abgeleitet und i.d.R. 12 Stunden im Voraus veröffentlicht. Bei frühzeitig prognostizierten hohen Wasserständen für das Wochenende werden die Warnungen, wegen der schlechteren Erreichbarkeit der für den aktuellen Hochwasserschutz verantwortlichen Stellen, ggf. bereits 24 bis 30 Stunden im Voraus gegeben. In diesen Fällen sind die Prognosen jedoch mit größeren Unsicherheiten und damit Fehlern behaftet.

Meldungen über erhöhte Wasserstände im Bereich zwischen +0,75 bis +1,00 m NN werden lediglich an die beschriebenen Meldeköpfe geleitet. Die Bevölkerung erhält erst bei prognostizierten Wasserständen über +1,00 m NN Informationen über Hochwasserstände.

Zur Einleitung und Durchführung von Maßnahmen zur Hochwasserbekämpfung stehen vier Alarmstufen zur Verfügung (Tab. 14), sofern entsprechende Richtwasserstände erreicht wurden und ein weiterer Wasserstandsanstieg zu erwarten ist oder bei Wasserständen unterhalb des Richtwasserstandes, sofern weitere außergewöhnliche Gefahren bestehen, die ein Auslösen der Alarmstufe erfordern. Alarmstufen werden aufgehoben, wenn der jeweilige Richtwasserstand unterschritten und ein Wiederanstieg nicht zu erwarten ist (HwMDVO 1993).

Alarmstufe I	Wasserstandsmeldedienst
Alarmstufe II	Kontrolldienst
Alarmstufe III	Wachdienst
Alarmstufe IV	Hochwasserabwehr

Tab. 14: Alarmstufen der Hochwassermeldedienstverordnung (HwMDVO 1993)

Die Alarmstufe I wird in Mecklenburg-Vorpommern durch das zuständige Staatliche Amt für Umwelt und Natur (StAUN) und die Alarmstufen II bis IV werden nach Rücksprache mit dem zuständigen StAUN durch den zuständigen Landrat, Oberbürgermeister oder Bürgermeister ausgelöst und aufgehoben (HwMDVO 1993).

Die Alarmstufe I beinhaltet die regionale und überregionale Wasserstandsmeldung. Die regionale Wasserstandsmeldung erfolgt in zwei Stufen (HwMDVO 1993). Zunächst informiert das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) in Rostock die an der Ostsee befindlichen Wasser- und Schifffahrtsämter, die Landesämter für Katastrophenschutz, die Lagezentren der Landespolizeiamter, die Staatlichen

Ämter für Umwelt und Natur (StAUN) in Mecklenburg-Vorpommern und die Ämter für Ländliche Räume (ALR) in Schleswig-Holstein, die Landratsämter und Stadtverwaltungen im betroffenen Gebiet sowie einige andere Institutionen, z.B. Abwasserbetriebe. Die Institutionen des sogenannten ersten Empfängerkreises sind größtenteils rund um die Uhr besetzt. Diese Stellen geben die Warnungen sofort nach Erhalt an den zweiten Empfängerkreis, der Gemeinde- und Stadtverwaltungen, Ämter, Verbände und Betriebe umfasst, vorzugsweise per Telefax weiter. Die überregionale Wasserstandsmeldung umfasst die Information des BSH Hamburg, der für den Hochwasser- und Katastrophenschutz zuständigen Ministerien, des Deutschen Wetterdienstes, des im deutschen Ostseeraum sendenden Rundfunks, der Presseagenturen, der Telekom und der in den Nachbarländern Dänemark und Polen für den Hochwasserschutz zuständigen Ministerien.

Ein Kontrolldienst für die Hochwasserschutzlinie wird ab der Alarmstufe II eingerichtet.

Der Wachdienst der Alarmstufe III beinhaltet die Kontrolle der Hochwasserschutzlinie rund um die Uhr. Hieran beteiligt sind Angehörige der Wasserwirtschaftsämter, der Wasserwehren in Mecklenburg-Vorpommern sowie ggf. freiwillige Helfer der örtlichen Feuerwehren und anderer Vereinigungen.

Katastrophenschutzmaßnahmen werden nach Auslösung der Alarmstufe IV durchgeführt. Die Organisation und die zu ergreifenden Maßnahmen des Katastrophenschutzes werden im folgenden näher erläutert.

5.4.2 Organisation und Maßnahmen der Katastrophenabwehr

Die Katastrophenschutzbehörden und damit die Innenminister (oberste Ebene) der Länder, das Landesamt für Katastrophenschutz (obere Ebene – nur in Mecklenburg-Vorpommern) sowie die Landräte, Oberbürgermeister, Bürgermeister und Amtsvorsteher (untere Ebene) leiten und koordinieren die Zusammenarbeit des Katastrophenschutzes mit anderen fachlichen Behörden (LKatSG 1992; LKatSG 2000). Sofern die Katastrophe nicht allein durch die Länder zu bewältigen ist, kann der Bund und hierbei insbesondere die Bundeswehr und der Bundesgrenzschutz durch die Innenminister der Länder um Hilfe gebeten werden.

Die zur Katastrophenabwehr bei Sturmflut zu ergreifenden Maßnahmen sind in Katastrophenschutzplänen festgelegt, die von den unterschiedlichen Katastrophenschutzbehörden ausgearbeitet und aktualisiert werden. An der Katastrophenabwehr beteiligt sind die folgenden Organisationen:

- Die für den Hochwasserschutz zuständigen Staatlichen Ämter zur fachlichen Beratung
- Die Polizei als Ordnungsbehörde zur Absperrung von überfluteten Verkehrswegen und zur Durchführung von Evakuierungen
- Die Brandschutzstellen, Feuerwehren und Wasserwehren (nur in Mecklenburg-Vorpommern) und Hilfsorganisationen zur Durchführung von Sicherungsmaßnahmen an der Hochwasserschutzlinie, Rettung von Menschenleben und Sicherung von Sachwerten
- Weitere Ämter, Behörden und Institutionen, z.B. aus dem Gesundheits- und Hygienewesen sowie Versorgungsunternehmen, deren Aufgabenbereiche durch die Auswirkungen einer Hochwasserkatastrophe berührt sind

An der Küste Mecklenburg-Vorpommerns sind in der Katastrophenabwehr auf Gemeindeebene organisierte Wasserwehren einbezogen. In den Jahren 1997 und 1998 wurden den Wasserwehren vom Land Finanzmittel zur Beschaffung einer Grundausrüstung bereitgestellt. In diesem Zuge sind in 20 von 38 in Frage kommenden Gemeinden Wasserwehren gegründet worden. In 18 Gemeinden im Küstengebiet sind demnach die nach §95 LWaG (1992) einzurichtenden Wasserwehrdienste bisher noch nicht gegründet worden.

Die Katastrophenabwehr erfordert die Vorhaltung bzw. schnelle und sichere Beschaffung von benötigten technischen Geräten wie Baumaschinen, Motorbooten, Helikoptern und von Verbrauchsmitteln wie Sandsäcke, Sand, Folien. Die Organisation einer entsprechenden Lagerhaltung und ausreichender Übungseinsätze ist durch die Katastrophenschutzbehörden zu leisten. Einen bedeutenden Anteil an der Katastrophenabwehr haben wegen ihrer technischen und sozialen Kompetenz Hilfsorganisationen wie das Technische Hilfswerk, das Deutsche Rote Kreuz und die Deutsche Lebensrettungsgesellschaft.

6 Entwicklung eines zukünftigen Hochwasserschutzkonzeptes

Der bestehende Hochwasserschutz an der deutschen Ostseeküste entspricht in weiten Teilen nicht den in den Generalplänen Schleswig-Holsteins und Mecklenburg-Vorpommerns dargestellten Bemessungsgrundlagen. Bei Eintritt einer sehr schweren Sturmflut würden große Bereiche an der deutschen Ostseeküste überschwemmt und das finanzielle Schadensausmaß wäre in den besiedelten dörflichen und insbesondere städtischen Bereichen groß. Ebenso ist eine Gefährdung von Menschenleben insbesondere in den Bereichen der Außenküsten nicht auszuschließen.

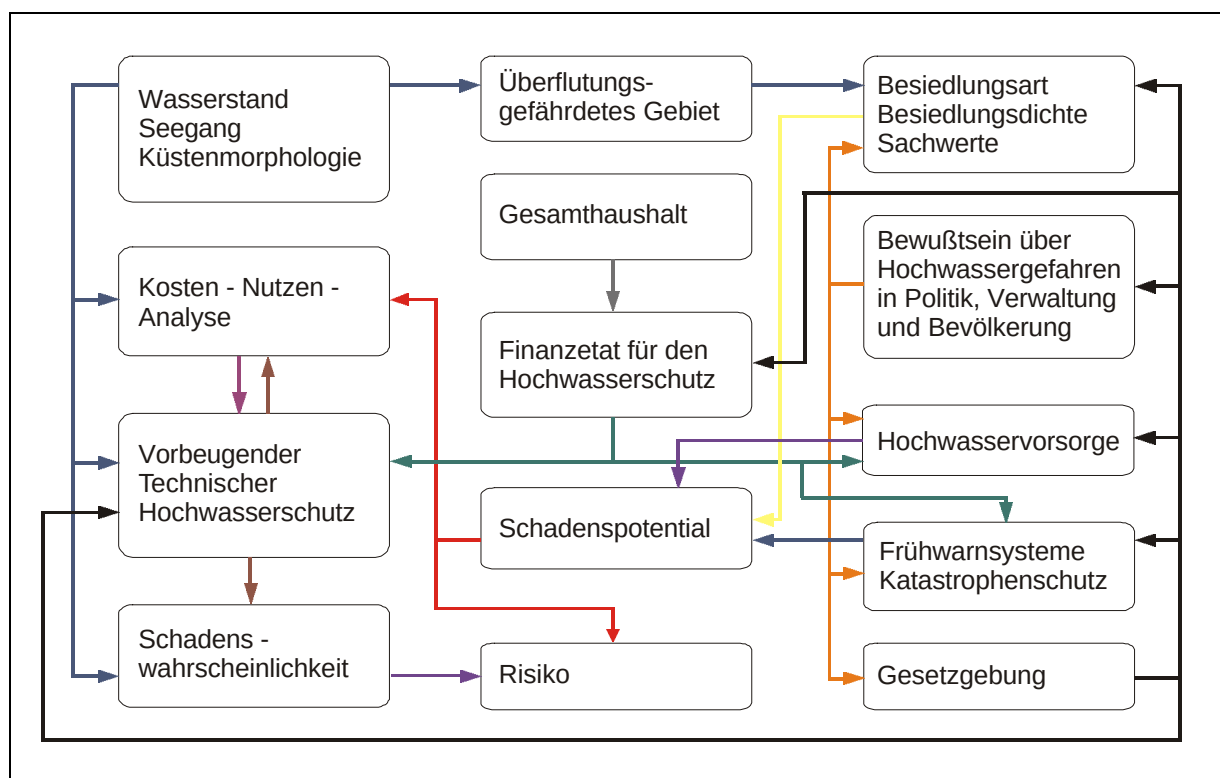


Abb. 16: Einflussfaktoren auf das Hochwasserrisiko im Küstenbereich

Eine Verbesserung des Hochwasserschutzes im Spannungsfeld begrenzter finanzieller Ressourcen einerseits sowie landschafts- und stadtplanerischer Ansprüche andererseits kann nur bei Betrachtung aller in das Hochwasserrisiko eingehenden Faktoren erfolgen. Die Hauptaspekte des zu entwickelnden Hochwasserschutzkonzeptes sind in Abb. 16 dargestellt. Das Risiko ergibt sich aus der Multiplikation der Schadenswahrscheinlichkeit mit dem Schadenspotential. Die Schadenswahrscheinlichkeit wird durch die Güte des vorbeugenden baulichen Hochwasserschutzes

sowie durch naturräumliche Randbedingungen beeinflusst, während das Schadenspotential direkt abhängig ist von der im Überschwemmungsgebiet vorhandenen Besiedlungsart und -dichte sowie von Hochwasservorsorgemaßnahmen. Übergeordnete Einflussfaktoren sind die naturräumlichen und administrativen Randbedingungen, die für Hochwasserschutzmaßnahmen zur Verfügung gestellten Finanzmittel, das in Politik, Verwaltung und Bevölkerung vorhandene Bewusstsein hinsichtlich der Hochwassergefahren sowie das Frühwarnsystem und der Katastrophenschutz.

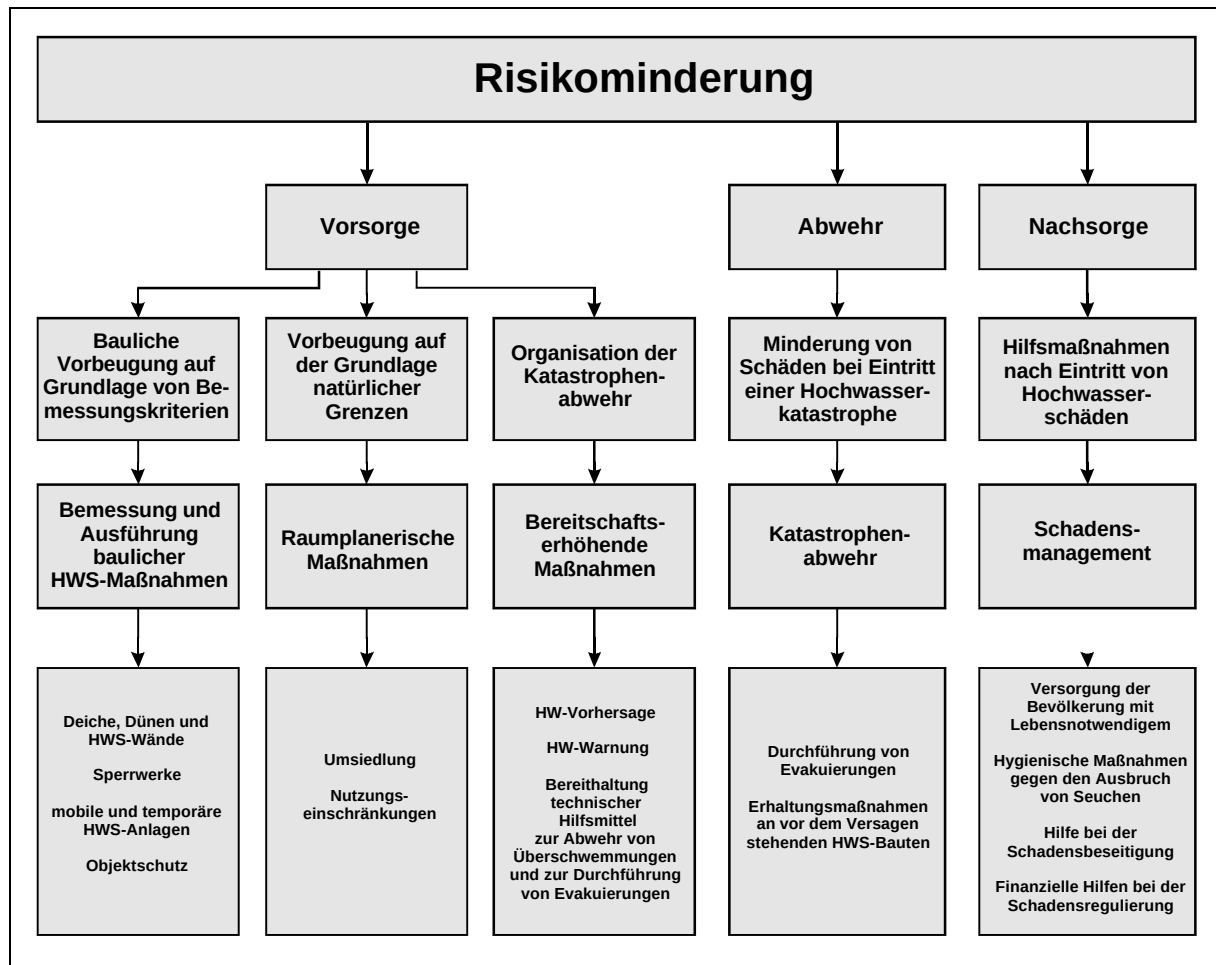


Abb. 17: Maßnahmen zur Minderung des Hochwasserrisikos (verändert nach UNDRP 1991)

Maßnahmen zur Minderung des Hochwasserrisikos können unterteilt werden in vorsorgende, abwehrende und nachsorgende Maßnahmen (Abb. 17). Zur Vorsorge gehören die Festlegung bestimmter Bemessungsverfahren sowie die Ausführung von baulichen Schutzmaßnahmen, raumordnerische Maßnahmen zur Verminderung des Schadenspotentials im überflutungsgefährdeten Raum und die Organisation des

Katastrophenschutzes. Die Abwehr umfasst Maßnahmen des Katastrophenschutzes, während die Nachsorge aus Hilfsmaßnahmen für die betroffene Bevölkerung nach Eintritt einer Hochwasserkatastrophe besteht.

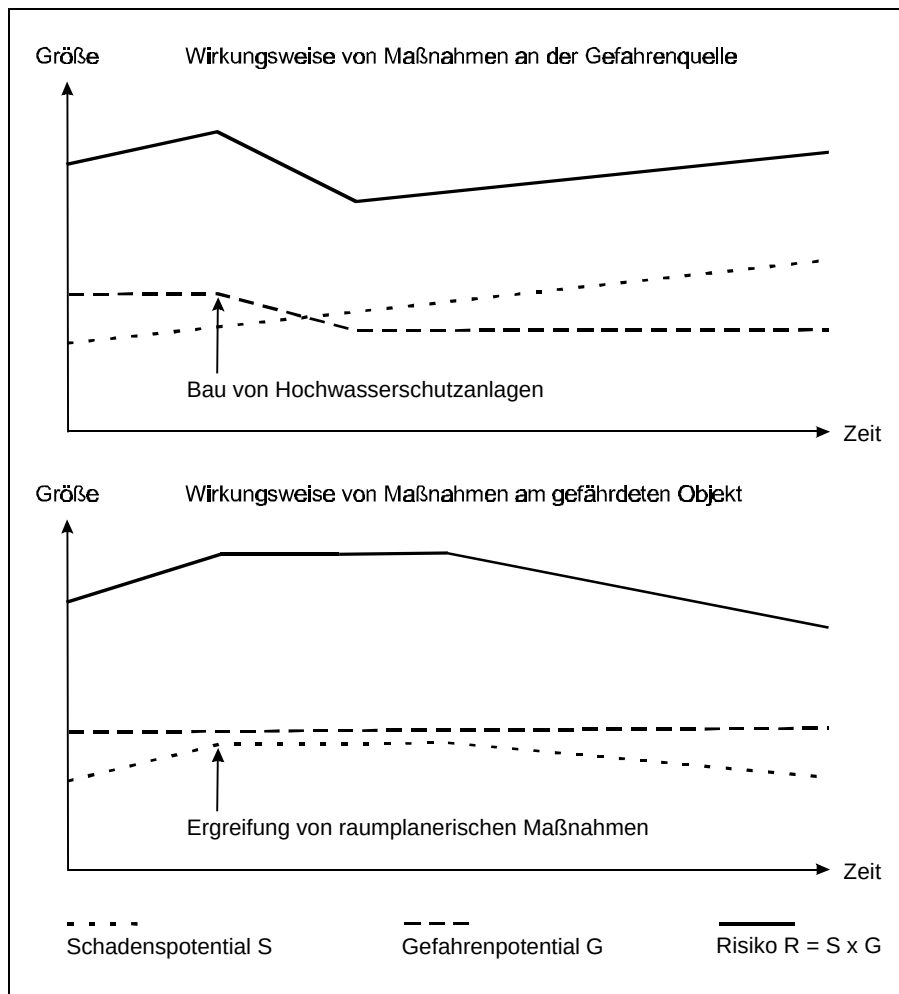


Abb. 18: Wirkungsweise von Maßnahmen zum Hochwasserschutz (EGLI 1996)

Betrachtet man die Nachhaltigkeit von Maßnahmen zur Risikovorsorge, können Maßnahmen an der Gefahrenquelle, also der Bau von Hochwasserschutzanlagen, und Maßnahmen an den gefährdeten Objekten, also bauliche und raumordnerische Maßnahmen, unterschieden werden. Eine nachhaltige Risikominderung wird durch Maßnahmen an den gefährdeten Objekten erreicht, da hierdurch langfristig eine Minimierung des Schadenspotentials eingeleitet wird, während der Bau von Hochwasserschutzanlagen keinen oder sogar einen negativen Einfluss auf das Schadenspotential haben kann und damit häufig keine langfristige Minimierung des Risikos hervorruft (Abb. 18).

Die im folgenden dargestellten und diskutierten grundlegenden Gesichtspunkte des in der vorliegenden Arbeit zu entwickelnden Hochwasserschutzkonzeptes an der deutschen Ostseeküste beziehen sich auf Vorsorgemaßnahmen zur Hochwasserrisikominderung und somit auf das Gefährdungs- ebenso wie auf das Schadenspotential. Das integrierte Hochwasserschutzkonzept basiert auf den folgenden drei Säulen:

- Maßnahmen zur Verringerung des Schadenspotentials sowie zur Verbesserung des Schadensmanagements
- Baulicher vorbeugender Hochwasserschutz unter Berücksichtigung spezieller Lösungen
- Hochwasserwarnung und Katastrophenschutz

6.1 Schadenspotential und Schadensmanagement

Hochwasserschäden entstehen nur dann, wenn Menschen in Überschwemmungsgebieten siedeln. An der deutschen Ostseeküste sind permanente menschliche Siedlungen ab dem 5. Jahrtausend vor Christus bekannt (WERNICKE 1996). Die zunächst praktizierte Hochwasserschutzstrategie des Zurückweichens vor hohen Wasserständen in höher gelegene Siedlungsgebiete wurde mit der Zeit immer stärker durch die Strategie des Verteidigens der Siedlungen und der wirtschaftlich genutzten Gebiete durch bauliche Maßnahmen wie Deiche und später Hochwasserschutzdünen abgelöst. Unter der aktuellen Raumordnungspolitik ist mit einer weiteren Intensivierung der Besiedlung insbesondere in städtischen Gebieten zu rechnen. Die Nähe zur See oder zu Bodden- und Flussgebieten ist attraktiv für Investoren im Bereich Wohn- und Geschäftsbebauung sowie Tourismus. Außerdem werden hafennahe Küstenbereiche intensiv industriell genutzt.

Hochwasserschäden können in die folgenden fünf Kategorien eingeteilt werden (BERG et al. 1994):

- Schäden an Menschen und Gesundheit
- Ökonomische Schäden
- Ökologische Schäden
- Schäden an gesellschaftlichen Institutionen (z.B. Unregierbarkeit, Beeinträchtigung der öffentlichen Ordnung)
- Beeinträchtigung der Lebensqualität

Schadenspotentialermittlungen können keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben. Es kann immer nur eine Auswahl möglicher Schäden untersucht werden, die einerseits von der Wichtigkeit der Schadensart im betrachteten Gebiet und anderer-

seits von der Möglichkeit der Erfassung sowie der Quantifizierung des Schadens abhängig ist. Beispielsweise nimmt die Erfassung von im Überflutungsraum befindlichen Kulturdenkmäler in den historisch gewachsenen Hansestädten Wismar und Stralsund einen erheblichen Stellenwert ein, während bei einer erst vor wenigen Jahrzehnten erbauten Feriensiedlung wie Damp 2000 in erster Linie mögliche Beeinträchtigungen an Erholungseinrichtungen erfasst werden müssen.

Schadenspotentiale können im makro-, meso- und mikroskaligen Bereich mit jeweils unterschiedlicher Auflösung und Genauigkeit bestimmt werden. Makroskalige Analysen beziehen sich auf nationale oder internationale Fragestellungen, während in mesoskaligen Untersuchungen größere Gebiete, z.B. einzelne Küstenbereiche, unterschieden werden. Der mikroskalige Ansatz eignet sich für die Untersuchung einzelner Städte und Gemeinden.

Die in Kap. 5.1 dargestellten Untersuchungen zum Schadenspotential an der Schleswig-Holsteinischen und der Mecklenburg-Vorpommerschen Ostseeküste basieren auf mesoskaligen Untersuchungen, die sich auf amtliche Statistiken stützen und in denen bestimmte Indikatoren zur Schadenspotentialermittlung herangezogen werden.

Schäden an Menschen und Gesundheit werden in den vorliegenden Schadenspotentialabschätzungen an der deutschen Ostseeküste nicht mit einbezogen. Hierbei stellt sich das in erster Linie in moralischen Bedenken begründete Problem der Quantifizierung des finanziellen Wertes von Menschenleben und der menschlichen Gesundheit. Katastrophale Hochwasserereignisse führen immer auch zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen, z.B. durch die Nutzung von Wohnräumen, deren Wände infolge Hochwassereinwirkungen eine zu hohe Feuchtigkeit aufweisen oder durch psychische Belastungen infolge des Verlustes der gewohnten Wohnumgebung. Direkt mit einem Hochwasserereignis in Verbindung stehende Todesfälle und schwerwiegende gesundheitliche Beeinträchtigungen können jedoch an der deutschen Ostseeküste weitgehend vermieden werden, wenn die zur Verfügung stehende Vorwarnzeit einer Sturmflut effektiv zum Schutz von Menschenleben u.U. in Verbindung mit Evakuierungen genutzt wird. Näheres hierzu in Kap.6.3.

Das Schadensausmaß eines Hochwasserereignisses ist einerseits abhängig von der Höhe des Maximalwasserstandes, von der Verweildauer hoher Wasserstände sowie von der Stärke und Dauer extremer Seegangsbedingungen und Strömungen und andererseits von vorsorgenden Maßnahmen zur Schadensreduzierung. Die Grundlage für eine wirksame Hochwasser- und Katastrophenvorsorge besteht in der Information der politisch und administrativ Verantwortlichen sowie der Bevölkerung über

Hochwasserrisiken und über Möglichkeiten zur staatlichen und individuellen Schadensminderung.

Maßnahmen zur Verringerung des Schadenspotentials und zum Schadensmanagement können wie folgt unterteilt werden:

- Risikovorsorge
- Flächenvorsorge
- Bauvorsorge
- Schadstoffvorsorge

Die Vorsorgemöglichkeiten schließen nicht nur staatliches, sondern auch eigenverantwortliches Handeln der Bürger mit ein, um eine Verminderung des Schadenspotentials in hochwassergefährdeten Gebieten zu erreichen.

6.1.1 Risikovorsorge

Die Risikovorsorge beinhaltet die Bildung finanzieller Rücklagen für den Katastrophenfall. Obwohl die Risikovorsorge kein direktes Mittel zur Minderung des Schadenspotentials darstellt, kann sie neben der finanziellen Regulierung des Schadens indirekt durch den Einschluss bestimmter Auflagen zur Flächen-, Bau- oder Schadstoffvorsorge zur Schadensminderung im Überschwemmungsfall beitragen.

Bisher besteht in Deutschland nur ein begrenzter Versicherungsschutz gegen Überschwemmungsschäden im Binnenland und keinerlei Versicherungsschutz gegen Sturmflutschäden an der Nord- und Ostsee. Eine Verteilung der Risikovorsorge auf die öffentliche Vorsorge, die Eigenvorsorge und die versicherungsgestützte Vorsorge ist jedoch sinnvoll. Aus diesem Grund sollen im folgenden Risikovorsorgekonzepte in Deutschland, in den europäischen Nachbarländern sowie in den USA dargestellt und Möglichkeiten einer flächendeckenden Risikovorsorge für Deutschland unter Einschluss der Küstengebiete diskutiert werden.

6.1.1.1 Aktueller Stand der Risikovorsorge in Deutschland

Die Versicherungswirtschaft nimmt bei der Risikovorsorge eine zentrale Rolle ein, da bei ihr einerseits die Berechnung des Risikos und der notwendigen finanziellen Rücklagen und andererseits die Verteilung von Entschädigungen im Schadensfall in fachkundiger Hand liegen kann.

Im Bundesland Baden-Württemberg wurde eine Pflichtversicherung von Elementarschäden, darunter auch Hochwasser- und Überschwemmungsschäden, im Jahr 1960 eingeführt, worauf in Kap. 6.1.1.1.1 näher eingegangen wird. Die Pflichtversi-

cherung diene einerseits dem Wohl der Gebäudeeigentümer. Andererseits hatte sie, trotz der hohen Risiken für den öffentlich-rechtlichen Monopolversicherer durch den Einschluss der schwer zu kalkulierenden Risiken von Elementarschäden, auch Vorteile für die öffentliche Hand. Aufgrund der eindeutigen versicherungstechnischen Regelungen zum Schadensausgleich, mussten im Schadensfall keine öffentlichen Nothilfeprogramme mit Finanzausschüssen und zinsverbilligten Darlehen mit in der Eile oftmals problematischen bis undurchsichtigen Verteilersystemen eingerichtet werden.

In der Vergangenheit gingen die Versicherer allgemein von der Nichtversicherbarkeit von Hochwasser- und Überschwemmungsschäden im Binnenland und an der Küste im freien Wettbewerb aus. Erst seit 1988 wird eine allgemeine Erweiterung der seit Ende des 19. Jahrhunderts bestehenden Elementarschadenversicherung für Privathaushalte gegen Sturm- und Hagelschäden auf Überschwemmung, Erdbeben, Erdsenkung, Erdrutsch, Schneedruck und Lawinen eingehender diskutiert (KRUG, 1991). Im Jahr 1991 genehmigte das Bundesaufsichtsamt für das Versicherungswesen (BAV) Bedingungen für die Versicherung von Elementarrisiken im Rahmen der Verbundenen Hausrat- und der Verbundenen Gebäudeversicherung (VerBAV 1991). Die seit 1994 nicht mehr als bindend geltenden Musterbedingungen des BAV sehen vor, die weiteren Elementarschäden als fakultative Zusatzdeckung in einem nicht aufschnürbaren Sechserpaket anzubieten, die an eine bestehende oder neu abzuschließende Grunddeckung (beispielsweise eine Feuerversicherung inklusive der Deckung der Elementarschäden aus Sturm, Hagel, Blitzschlag) angeschlossen werden kann. Im Bereich Überschwemmungsschäden wurden vom BAV Schäden aus Sturmflut und aus Rückstau (aus der Kanalisation) ausgeschlossen. Mittlerweile haben jedoch viele Versicherer Schäden aus Rückstau mit in die Deckung aufgenommen; lediglich Schäden aus Sturmfluten werden auch weiterhin wegen der sehr hohen möglichen Schadenssumme ausgeschlossen (GRAFF 1999). Eine Schadenssumme von über 5 Mrd. Euro während eines Ereignisses wird in der Versicherungswirtschaft als nicht tragbar angesehen (MÜLLER 1991). Allein für Hamburg wird das mögliche Schadenspotential bei Sturmflut auf über 10 Mrd. Euro geschätzt (CHMIELORZ, METZGER 1995).

Neben dem Gebäude selbst kann auch das Zubehör mitversichert werden, das in hochbauliches, betriebliches und Gebäudezubehör unterteilt wird (KALENBERG 1998). Hochbauliches Zubehör sind Gegenstände, die direkt zum Gebäude gehören, wie Türen und Fenster, oder mit dem Gebäude zur Ermöglichung der Benutzung festverbunden sind, wie Gas- Wasser- und Elektroinstallationen. Zum

betrieblichen Zubehör gehören Maschinen und andere Gegenstände, die aus betrieblichen Gründen fest mit dem Gebäude verbunden sind. Unter Umständen können hierzu auch Elektrogeräte zählen, deren Verbindung zum Gebäude lediglich durch den Netzanschluss gegeben ist. Zum Gebäudezubehör gehören Gegenstände, die nicht Bestandteil des Gebäudes sind, aber dem wirtschaftlichen Zweck des Gebäudes dienen und dauerhaft mit dem Gebäude verbunden sind, wie Einbauküchen, Fernsehantennen und Beleuchtungseinrichtungen.

Die Versicherung von Hausrat gegen Hochwasser- und andere Elementarrisiken wird mittlerweile auf dem Versicherungsmarkt grundsätzlich angeboten, ist in Standardpolicen jedoch nicht enthalten. Allerdings ist auch hier die Deckung von Schäden infolge Sturmflut ausgeschlossen.

Im folgenden sollen versicherungstechnische Probleme der Hochwasser- und Überschwemmungsversicherung und mögliche Versicherungsmodelle dargestellt werden. Zunächst wird auf die Sonderrolle der seit 1960 bestehenden Monopol- und Pflichtversicherung von Elementarschäden in Baden-Württemberg sowie auf einige in der Versicherungswirtschaft verwendete Begriffe näher eingegangen.

6.1.1.1.1 Erweiterte Elementarschadenversicherung in Baden-Württemberg

Die Erweiterte Elementarschadenversicherung in Baden-Württemberg stellte in der früheren Bundesrepublik Deutschland eine Sonderlösung dar. In keinem der anderen alten Bundesländer wurde ein vergleichbarer Versicherungsschutz gegen Elementarschäden geboten. Ein ähnliches Modell bestand auf dem Gebiet der ehemaligen DDR.

In Baden-Württemberg wurden bereits ab 1912 auf zunächst freiwilliger Basis Entschädigungen für Hochwasser-, Sturm-, Erdfall- und Bergsturzgeschädigte durch den Monopolversicherer Badische Gebäudeversicherungsanstalt (BGVA) geleistet. Nach einer Einstellung der Zahlungen im Jahr 1953 aufgrund der vorangegangenen Währungsreform, wurde im Jahr 1960 durch den Landtag von Baden-Württemberg die Erweiterte Elementarschadenversicherung gesetzlich eingeführt, die neben der Versicherung gegen Feuer- und Sturm- den Deckungsschutz gegen Hagel-, Erdbeben, Erdfall-, Lawinen- und Schneedruckschäden mit einschloss. Ab 1971 wurden auch Erdbebenschäden mitversichert (SCHÄFER 1991). Für die Erweiterte Elementarschadenversicherung waren in Baden-Württemberg zunächst drei Pflicht- und Monopolanstalten zuständig, denen verschiedene Landesteile zugewiesen wurden. Seit 1992 stehen diese drei Anstalten unter gemeinsamer Leitung.

Unter der Pflicht- und Monopolversicherung mussten alle Gebäude inklusive Zubehör und betrieblichem Zubehör bei der im jeweiligen Gebiet festgelegten Monopolversicherung versichert werden. Hierdurch entstand eine umfassende Gefahrengemeinschaft aller Gebäudeeigentümer, der sich niemand entziehen konnte, von der aber auch niemand von Seiten der Versicherer ausgeschlossen werden durfte. Mit der Abschaffung des Versicherungsmonopols im Jahr 1994 wurde infolge der Angleichung des nationalen Versicherungsrechts an EU-Recht auch die nach Landesrecht verfügte Versicherungspflicht für Gebäude gegen Feuer- und Elementarschäden aufgehoben.

Beim Nachfolgeunternehmen des ehemaligen Monopol- und Pflichtversicherers, der SV-Gebäudeversicherung AG mit Hauptsitz Stuttgart, werden im Privatkundenbereich Gebäudeversicherungen nur in Verbindung mit der Erweiterten Elementarschadendeckung angeboten. Der Versicherer hält aktuell im Bereich der Privatgebäudeversicherung Policen von 85 % der übernommenen Monopolversicherungsverträge (15 % der Versicherten wechselten seit Aufhebung des Monopols zu anderen Versicherungen) sowie rund 50 % des gesamten Neugeschäfts in Baden-Württemberg seit 1994. Hiermit ergibt sich ein Gesamtversicherungsanteil im Privatkundenbereich der Gebäudeversicherungen in Baden-Württemberg von rund 66 % bei der SV-Gebäudeversicherung AG. Im Industriebereich ist bei rund 70 % der bestehenden Verträge der SV-Gebäudeversicherung AG die Elementarschadenversicherung inbegriffen. Somit kann auch weiterhin von einer weitreichenden Deckung von Elementarschäden inklusive Überschwemmungsschäden in Baden-Württemberg ausgegangen werden.

Diese Versicherungssituation kann nicht ohne Einschränkungen auf andere Bundesländer übertragen werden. Der Monopolnachfolger hat in Baden-Württemberg einen großen, ausgeglichenen Versicherungsbestand aus der Pflichtversicherung übernommen. Der Aufbau eines vergleichbaren Versicherungsbestandes erfordert einen längeren Zeitraum und ist unter Wettbewerbsbedingungen nicht mit vergleichbarer Versicherungsdichte und der damit verbundenen Schadensverteilung möglich.

6.1.1.1.2 Besonderheiten bei der Versicherung von Hochwassergefahren

Bis heute sieht sich die Versicherungswirtschaft nicht in der Lage, die Hochwassergefahr auf privatwirtschaftlicher Basis flächendeckend zu versichern. Probleme ergeben sich hauptsächlich durch das hohe Kumulrisiko, die starke Antiselektion, dem hohen Rückstellungsbedarf sowie der möglichen Schadenerhöhung. Die genannten Begriffe werden im folgenden näher erläutert. Weitere Probleme bei der

Versicherung von Hochwasserschäden ergeben sich durch langfristig wirkende, natürliche und anthropogene Veränderungen des Hochwasserrisikos, die bisher nur mit vergleichsweise großen Fehlermargen abgeschätzt werden können.

Kumulrisiko

"Ein Kumulrisiko liegt vor, wenn eine Vielzahl von Risikoobjekten derselben objekttypischen Gefahr ausgesetzt ist und der Schaden an den einzelnen Risikoobjekten stets durch ein einziges Ereignis verursacht wird, das eine sehr große Zahl der bedrohten Objekte zur gleichen Zeit erfasst und dadurch zu einem Größtschaden führt" (BOETIUS 1996). In der Hochwasser- und Überschwemmungsversicherung sind die auftretenden Schadensfälle nicht voneinander unabhängig, sondern treten i.d.R. flächendeckend auf. Für den Versicherer besteht damit die Gefahr eines Kumulschadens, dessen Schadenshöhe einerseits durch die Intensität und räumliche Ausdehnung des Schadensereignisses sowie durch die Wertkonzentration und andererseits durch die Versicherungsdichte im betroffenen Gebiet bestimmt wird.

Antiselektionsgefahr

Die Gefahr, von einem Hochwasserereignis betroffen zu sein, ist in Deutschland, im Gegensatz zur Gefährdung durch Sturm und Hagel, sehr ungleichmäßig verteilt. Das Überflutungsrisiko ist lediglich in Flusstälern und in Küstenregionen hoch. Ein Versicherungsinteresse gegen Hochwasserschäden besteht demnach nur bei Personen, die in fluss- oder küstennahen Niederungsgebieten wohnen, in denen ein hohes Schadensrisiko besteht. Hieraus ergibt sich eine starke Antiselektionsgefahr.

Bei Einführung des weiter gefassten Begriffs der Überschwemmung in die Schadensdeckung, der den Rückstau aus der Kanalisation mit einschließt, werden Schäden auch außerhalb tiefliegender Fluss- und Küstenbereiche reguliert. Hiermit ist eine Versicherung gegen Überschwemmungsschäden auch entfernt von Fluss- und Küstengebieten sinnvoll, wie die Schadensereignisse in Baden-Württemberg zeigen. Die höchsten Hochwasser- und Überschwemmungsschadensregulierungen seit Bestehen des Versicherungsschutzes gegen Elementarschäden sind in Baden-Württemberg in den Jahren 1993 und 1994 aufgetreten. Etwa die Hälfte dieser Aufwendungen waren nicht auf die Übertretung von Flüssen, sondern auf Starkregen und weitere Witterungseinflüsse zurückzuführen (POHLHAUSEN 1999), die insbesondere zu Überlastungen der Kanalisation und damit zu Rückstauschäden führten. Somit sind Überschwemmungsschäden auch in Siedlungen aufgetreten, die nicht direkt mit Flussläufen in Verbindung stehen. Sofern die Hochwasser- und Rückstau-

gefahr stärker als bisher durch die Bevölkerung wahrgenommen wird, verringert sich die Antiselektionsgefahr bei der Versicherung von Überschwemmungsschäden.

Rückstellungsbedarf

Bei hoher Antiselektionsgefahr ist ein Risikoausgleich im Kollektiv der Versicherten bei alleiniger Versicherung des Hochwasserrisikos nur mit unattraktiv hohen Prämien möglich. Ein Risikoausgleich allein im Kollektiv kann nur dann erfolgen, wenn der Gesamtschadenswert durch die Prämieinnahmen des Versicherungskollektivs des jeweiligen Geschäftsjahres ausgeglichen werden können. Bei einem großräumigen Hochwasserereignis wird dies, bei für den Versicherten attraktiver Prämiegestaltung im Zehntel Promillebereich, nicht möglich sein.

Aus diesem Grund kann der Risikoausgleich nur in der Zeit erfolgen. Hochwasser- und Überschwemmungsschäden weisen eine sehr große zeitliche Streuung auf und nähern sich grundsätzlich erst bei langjähriger Betrachtung der mittleren jährlichen Schadensrate. Ein zumindest anteiliger Risikoausgleich kann erreicht werden, indem in schadensarmen Jahren ausreichend Mittel angespart werden, die in schadensreichen Jahren ausgezahlt werden können.

Bei der Versicherung von Risiken mit hohem Kumulrisiko in Verbindung mit einem erheblichen Schadenspotential und einem nicht funktionierendem Schadensausgleich im Kollektiv innerhalb eines Geschäftsjahres ist der Rückstellungsbedarf hoch. Solche Rückstellungen erfordern besondere steuer- und bilanzrechtliche Regelungen. Ein als Gewinn zu verbuchender Überschuss liegt erst dann vor, wenn aus der Summe der eingenommenen Prämien, nach Abzug laufender Schadensaufwendungen und Verwaltungskosten, Vorsorge zur Deckung der Schäden eines zu quantifizierenden, sehr starken und großräumigen Hochwasserereignisses getroffen ist. Als Voraussetzung für die Inanspruchnahme der steuerlichen Vergünstigungen durch den Versicherer gilt, daß das Risiko nicht in die Kollektive anderer Versicherungsarten, die zu einem Ausgleichseffekt führen könnten, eingegliedert werden kann. Eine Bündelung des Versicherungsrisikos Hochwasser bei einem Risikoausgleich in der Zeit ist somit nur mit anderen Elementargefahren ohne Ausgleichseffekt möglich.

Schadenerhöhung

Das Schadensausmaß eines Hochwasserereignisses ist abhängig von den Vorsorge- und Schadensminderungsmaßnahmen, die seitens des Staates und der Ge-

fährdeten selbst getroffen werden. Bei der Versicherung von Hochwasserschäden besteht die Gefahr, dass Schutz- und Vorsorgemaßnahmen der für den Hochwasserschutz zuständigen öffentlichen Stellen und der Versicherungsnehmer verringert werden oder ganz entfallen, sofern keine begleitenden Maßnahmen festgelegt werden. Es besteht damit die Gefahr, dass sich der zu regulierende Schaden mittelbar durch den Versicherungsschutz erhöht.

Eine wesentliche Voraussetzung der Hochwasserversicherung ist eine funktionierende Risikopartnerschaft der Versicherungsnehmer, des Staates sowie der Versicherer. Die zuständigen staatlichen Stellen müssen dazu motiviert werden, auch unter Versicherungsschutz Vorsorgemaßnahmen wie Bau und Unterhaltung von Hochwasserschutzanlagen durchzuführen. Auf Seiten der Versicherungsnehmer muss gewährleistet sein, dass bestimmte Sicherheitsvorschriften wie das Vorhalten von Pumpen und Sandsäcken sowie ggf. Nutzungseinschränkungen zur Schadensminderung eingehalten werden.

6.1.1.1.3 Ansätze zur Versicherung von Hochwasser- und Überschwemmungsrisiken in Deutschland

Bei der Diskussion um die Versicherbarkeit von Überschwemmungsschäden für Privathaushalte wurden in der Vergangenheit zwei Wege vorgeschlagen (KRUG 1991):

- Alle Hochwasserschäden, also auch die kleineren, häufig auftretender Hochwasserereignisse, sollen versichert werden. Dem Versicherer steht frei, ob er das Risiko im Einzelfall annimmt.
- Lediglich außergewöhnliche, näher definierte Überschwemmungsrisiken sollen versichert werden.

Im letzteren Fall müssen Abgrenzungskriterien für eine normale und eine außergewöhnliche Überschwemmung festgelegt werden, die sich für Flussgebiete auf Wasserstand und Abflussmenge sowie Jährlichkeiten der hydrologischen Größen und für Küstengebiete auf Höchstwasserstand und Seegangsbelastung, möglicherweise unter Einschluss der Verweilzeit hoher Wasserstände, beziehen können. Zur Bestimmung dieser Größen sind langjährige, statistisch auswertbare Wasserstands- bzw. Abflussmessungen notwendig, die bisher nicht flächendeckend vorliegen. Hieraus ergeben sich Konflikte mit dem Transparenz und Klarheitsgebot des Gesetzes zur Regelung des Rechts der Allgemeinen Geschäftsbedingungen (AGB 1976). Hiernach ist eine unangemessene Benachteiligung des Versicherungsnehmers im Zweifel immer dann anzunehmen, wenn eine Bestimmung der Versicherungsbedin-

gungen wesentliche Rechte oder Pflichten, die sich aus der Natur des Versicherungsvertrages ergeben, so einschränkt, dass die Erreichung des Versicherungszweckes gefährdet ist (§9 Abs. 2 AGB). Nach dem Bundesgerichtshof (BGH 1990) muss der Versicherungsnehmer klare Bedingungen vorfinden, die im täglichen Leben auch praktikabel sind. Ein Verstoß der Versicherer gegen das Transparenz- und Klarheitsgebot des AGB geht zu Lasten des Versicherers. Bei der Angabe der Jährlichkeit eines Hochwasserereignisses ab der oder eines Mindestwasserstandes mit einer bestimmten Jährlichkeit ab dem ein Versicherungsschutz eintritt, liegt nach KRUG (1991) ein Verstoß gegen das Transparenz- und Klarheitsgebot vor. Damit wäre die Beschränkung des Versicherungsschutzes unwirksam; der Versicherer müsste für jeden Hochwasser- und Überschwemmungsschaden haften.

Grundsätzlich anders kann bei der Versicherung im Industriebereich verfahren werden, da nach §24 AGB bei Kaufleuten nur eine eingeschränkte Inhaltskontrolle vorgesehen ist. Ein geschäftserfahrener Kaufmann wird vom Gesetzgeber nicht im gleichen Maße als schutzbedürftig angesehen wie ein Privatkunde. Industrieversicherer können deshalb neben Sturmflutwasserschäden auch Überschwemmungsschäden mit einer Jährlichkeit von beispielsweise kleiner/gleich 10 Jahre ausschließen (KRUG 1991).

Momentan können in Deutschland Wohngebäude, Hausrat und gewerbliche Risiken gegen Elementarschäden aus Sturm, Hagel, Blitzschlag sowie Überschwemmung (ohne Sturmflutwasserschäden), Erdbeben, Erdsenkung, Erdbeben, Erdrutsch, Schneedruck und Lawinen in Kombination mit der Gebäude- bzw. der Hausratversicherung (Verbundene Gebäude- bzw. Verbundene Hausratversicherung) versichert werden. Die Gefahr der Antiselektion wird durch die Zusammenfassung der Gefahren vermindert. Das Versicherungsangebot richtet sich vorwiegend an die Bevölkerung in mittelfährdeten Gebieten, wobei es dem Versicherer frei steht, den Versicherungsschutz im jeweiligen Fall anzubieten. Die Gefährdung wird zumeist anhand früherer Schadensfälle ermittelt.

Ein neuer Weg zur Versicherung von Elementarrisiken wird in Deutschland seit kurzem in Form eines Zonierungssystems für Überschwemmung, Rückstau und Starkregen (ZÜRS) beschritten (Schäden aus Sturmflut sind ausgeschlossen). Das Modell wird vom Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft entwickelt und soll ein wettbewerbsneutrales Instrument darstellen. Das Konzept basiert auf einem digitalen Geländehöhen- und einem digitalen Flussnetzmodell unter Berücksichtigung der Flüsse 1. bis 3. Ordnung, die miteinander verbunden ein digitales Landschaftsmodell darstellen. Das Geländehöhenmodell enthält keine

technischen Hochwasserschutzmaßnahmen wie Deiche und Hochwasserschutzmauern, so dass diese Einrichtungen in ihrer Schutzfunktion nicht berücksichtigt werden (POHLHAUSEN 1999).

In Form von Modellrechnungen werden Hochwasserstände und damit Überschwemmungsszenarien bestimmter Jährlichkeiten berechnet. Hierbei werden die folgenden drei Zonen entsprechend berechneter Schadensfallfrequenzen festgelegt (POHLHAUSEN 1999):

- 0 bis 10 Jahre – Gefährdungsklasse 3
Überschwemmung im statistischen Mittel mindestens einmal in 10 Jahren
- 10 bis 50 Jahre – Gefährdungsklasse 2
Überschwemmung im statistischen Mittel mindestens einmal in 50 Jahren und seltener als einmal in 10 Jahren
- 50 Jahre und darüber – Gefährdungsklasse 1
Überschwemmung im statistischen Mittel seltener als einmal in 50 Jahren

Die berechneten Überschwemmungszonen werden über den digitalen Kreisgemeindegischlüssel KGS16 unterteilt, der als regionale statistische Einheit unterhalb der Postleitzahlebene fungiert und in besiedelten Gebieten einzelne Straßenzüge innerhalb eines Stadtteils differenziert darstellt (POHLHAUSEN 1999).

Ziel des Zonierungsmodells ist es, eindeutige Abgrenzungsmöglichkeiten zur Versicherung von Überschwemmungsschäden exklusive Schäden aus Sturmflut zu definieren. Hiernach ist es geplant, Haushalte in der Gefährdungsklasse 1 generell gegen Überschwemmungsschäden zu versichern, dem Versicherer jedoch die Zeichnung der Gefährdungszonen 2 und 3 freizustellen und bei Versicherung ggf. nach Gefährdung gestaffelte Selbstbehalte einzuführen (POHLHAUSEN 1999). Welche Ursachen zu den Hochwasser- und Überschwemmungsschäden geführt haben, ist im weiteren für den Versicherungsschutz unbedeutend. Es ist also unerheblich, ob die Schäden durch natürliche Faktoren oder durch technisches Versagen, z.B. infolge eines Deichbruchs, entstanden sind.

Die Güte des Zonierungsmodells wird einerseits durch die Genauigkeit bei der Ermittlung der topographischen und sozio-ökonomischen Daten bestimmt. Andererseits stellt die Bestimmung der Jährlichkeiten von Hochwasserereignissen, bezüglich des Binnenbereichs also der maßgeblichen Abflussmenge (HQ_{100}) und der zugehörigen Wassertiefen, ein großes Problem dar. Nach KRON (1998) wird eine hydrologische Restunsicherheit immer bestehen bleiben, allerdings werden Versicherungsgesellschaften im Massengeschäft Bedarf an einem solchen Zonierungsmodell haben, da die vergleichsweise geringen Jahresprämien keine

objektorientierte Gefährdungsanalyse zulassen.

Nach POHLHAUSEN (1999) soll das Zonierungsmodell nach Erfahrungen und Bewertungen der wasserwirtschaftlichen Behörden hinsichtlich des technischen Hochwasserschutzes nachgerüstet werden, so dass die Schutzfunktion in die Berechnung der Überschwemmungshäufigkeit mit einbezogen werden kann. Der technische Hochwasserschutz wird allerdings nicht als den natürlichen Begrenzungen gleichwertig angesehen. Eine Einstufung von Niederungsgebieten ist bestenfalls in die Gefährdungsklasse 2 geplant, eine Einstufung in Gefährdungsklasse 1 ist nicht vorgesehen.

6.1.1.2 Versicherung des Hochwasserrisikos außerhalb Deutschlands

Unterschiedliche Regelungen zur Versicherung des Überschwemmungsrisikos bestehen in den europäischen Nachbarländern (CHMIELORZ, METZGER 1995). In Großbritannien und Italien kann das Überschwemmungsrisiko auf freiwilliger Basis mitversichert werden, während in Frankreich und Spanien ein gesetzlicher Versicherungszwang gegen "Catastrophes Naturelles" bzw. "Riesgos Extraordinaire" in Kopplung mit der Feuerversicherung besteht. In den beiden letztgenannten Ländern werden Hochwasserereignisse im Binnenland und an den Küsten mit jeweils festgelegten Selbstbehalten des Versicherungsnehmers versichert. In Spanien werden die Prämien außerdem nach Gefährungsgraden berechnet. In der Schweiz und in Norwegen besteht ebenfalls ein obligatorischer Einschluss von Überschwemmungsrisiken, wobei sich die Versicherungen in beiden Ländern an einem Elementarschadenpool zum Kauf des Rückversicherungsschutzes beteiligen. In der Schweiz sind die Entschädigungsleistungen pro Versicherungsnehmer und Schadensereignis nach oben begrenzt.

In den USA stellt das National Flood Insurance Program (NFIP) einen Versicherungsschutz gegen Überschwemmungsschäden aller Art mit starker staatlicher Beteiligung dar (FEMA 1999). Das NFIP ist ein Bundesprogramm, das Privatpersonen in teilnehmenden Gemeinden den Abschluss eines Versicherungsschutzes gegen Überschwemmungsschäden an Gebäuden und Zubehör ermöglicht. Das Programm wurde 1968 eingesetzt, um die vom Staat zu tragenden hohen jährlichen Kosten zur Bewältigung von Überschwemmungskatastrophen zu verringern (FEMA 1999). Hierbei wird einerseits das zukünftige Schadenspotential in überflutungsgefährdeten Gebieten minimiert und andererseits wird gegen Zahlung einer Prämie eine finanzielle Deckung von Überschwemmungsschäden außerhalb von Nothilfeprogrammen ermöglicht. Es stellt eine Kombination von Versicherungsschutz und

Risikominderung dar.

Seit Beginn des Programms sind verschiedene grundsätzliche Änderungen und Erweiterungen vorgenommen worden, die die Versicherungsrate in überflutungsgefährdeten Gebieten stark erhöht hat. Die Organisation der Versicherung unterliegt grundsätzlich staatlichen Behörden. Seit 1983 besteht allerdings eine Kooperation mit der privaten Versicherungswirtschaft, so dass mittlerweile viele Versicherungsunternehmen die im NFIP-Programm festgelegten Leistungen anbieten und die jeweiligen Prämien eintreiben.

Zur Teilnahme am NFIP sind alle Gemeinden aufgefordert, die dem überflutungsgefährdeten Raum an der Küste und im Binnenland angehören und die dementsprechend in Gefährdungskarten markiert sind. Als überflutungsgefährdeter Raum gilt das Gebiet, in dem Gebäude infolge eines Hochwassers mit einer Jährlichkeit von 100 Jahren (oder mit einer jährlichen Wiederkehrwahrscheinlichkeit von 0,01) Schäden aufweisen können. An der Küste wird das überflutungsgefährdete Gebiet zusätzlich unterschieden in lediglich durch Überschwemmungswasserstände und in auch durch Seegangsbelastung betroffene Gebiete. Am NFIP können auch Gemeinden teilnehmen, die nicht dem über das 100-jährliche Hochwasser definierten überflutungsgefährdeten Raum angehören, die aber beispielsweise durch Rückstau in der Kanalisation Überschwemmungen befürchten.

Die Teilnahme am NFIP wird zunächst auf Gemeindeebene beschlossen. Ist ein bestehendes Überschwemmungsrisiko für ein Gemeindegebiet durch die Bundesbehörden festgestellt und ausgewiesen, verbleibt der Gemeindevertretung eine Frist von einem Jahr zur Entscheidungsfindung, ob die Teilnahme am Versicherungsprogramm erwünscht ist oder nicht. Bei Nicht-Teilnahme können einige ansonsten zur Verfügung stehende Fördermittel des Bundes (bspw. Bauförderungen) nicht in Anspruch genommen werden. Zudem können die in der jeweiligen Gemeinde wohnenden Bürger keinen entsprechenden Versicherungsschutz für Gebäude und Zubehör abschließen.

Die am NFIP teilnehmenden Gemeinden verpflichten sich zu bestimmten Raumplanungs- und Vorsorgemaßnahmen, die zur Minimierung des Schadenspotentials im betrachteten Gebiet beitragen sollen. In diesen Gemeinden können Privatpersonen einen Versicherungsschutz gegen Überschwemmungsschäden erhalten. Ein Zwang zum Abschluss einer entsprechenden Versicherung besteht jedoch i.d.R. nicht. Allerdings ist bei der Hypothekenvergabe in überflutungsgefährdeten und am NFIP teilnehmenden Gemeinden seit 1994 eine Versicherung gegen Überschwemmungsschäden obligatorisch (FEMA 1999). Die Entschädigungsleistungen sind in Abhän-

gigkeit von der Größe des Hauses pro Versicherungspolice und Schadensereignis nach oben begrenzt.

In den am NFIP teilnehmenden Gemeinden wird der Versicherungsschutz für fast alle Gebäude angeboten. Vom Versicherungsschutz ausgeschlossen sind nur diejenigen Gebäude, die bereits zur Bauzeit gegen bestehende Raumplanungsregelungen verstoßen haben. Die Höhe der für die Gebäude- und Zubehörversicherung zu erhebende Prämie ist abhängig vom betrachteten Ort, vom Alter und von der Konstruktion des Gebäudes sowie unter Umständen von der relativen Höhenlage des Gebäudes zum Gelände, wobei gemeindeabhängige Mindestprämien festgelegt sind (NFIP 1999). Für Gemeinden, die eine gegenüber den gesetzlichen Mindestforderungen verbesserte Flächen-, Bau- und Schadstoffvorsorge praktizieren, werden verringerte Versicherungsprämien angeboten. Demgegenüber werden Gemeinden, die keine den Mindestanforderungen entsprechende Vorsorgemaßnahmen vornehmen, vom NFIP ausgeschlossen. Sie können erst dann wieder am Programm teilnehmen, wenn entsprechende Regelungen und Maßnahmen nachgewiesen werden können.

In den USA sind über 19.000 Gemeinden als überflutungsgefährdet (100-jährliches Hochwasser) eingestuft; 95 % dieser Gemeinden nehmen am NFIP teil (FEMA 1999). Der angebotene, von der öffentlichen Hand unterstützte Versicherungsschutz ist an Mindestanforderungen hinsichtlich der privaten und öffentlichen Hochwasservorsorge gekoppelt. Hiermit werden Maßnahmen des Hochwasserschutzmanagements aktiv unterstützt und es wird im Katastrophenfall eine Schadensregulierung angeboten, die einerseits von den potentiell Hochwassergefährdeten und andererseits vom Staat finanziert wird.

6.1.1.3 Lösungsansätze zur flächendeckenden Versicherung des Hochwasserrisikos in Deutschland

Eine flächendeckende Versicherung von Elementarschäden ist in Deutschland bisher nicht vorhanden. Es besteht kein Versicherungsangebot in hochgefährdeten Gebieten im Binnenland sowie im gesamten Küstenraum.

Die Erweiterte Elementarschadenversicherung wird nach GRAFF (1999) von der Mehrzahl der Versicherer, die in der Verbundenen Hausrat- und der Verbundenen Gebäudeversicherung in Deutschland tätig sind, angeboten. Die Annahmerichtlinien der Versicherungsunternehmen variieren bisher allerdings stark. Beispielsweise wird eine Schadensfreiheit innerhalb der letzten 10 Jahre zum Abschluss des Versicherungsschutzes gefordert oder es werden pauschal keine Gebäude in Flussnähe oder

in Hanglage versichert. Die fakultative Zusatzdeckung ist insgesamt nur sehr gering verbreitet und liegt schätzungsweise bei der Gebäudeversicherung bei 1 % und bei der Hausratversicherung unter 5 %. Nach GRAFF muss zum Erreichen einer umfassenden Verbreitung des Versicherungsschutzes gegen Elementarschäden im Privatbereich die Ausgestaltung der Erweiterten Elementarschadenversicherung neu überdacht werden.

Mit Hilfe des Zonierungsmodells wird nach POHLHAUSEN (1999) zukünftig die Möglichkeit bestehen, ca. 90% der in Deutschland vorhandenen Risiken Versicherungsschutz gegen Überschwemmung zu gewähren und die Deckung von Überschwemmungsschäden wird innerhalb von zehn Jahren zum Standardmodell der deutschen Gebäudeversicherung gehören. Hierbei werden jedoch weiterhin pauschal die Risiken aus Sturmflut ausgeschlossen sein.

Eine Möglichkeit zur flächendeckenden Versicherung gegen Überschwemmungsschäden besteht in der Einführung einer diesbezüglichen Versicherungspflicht. Eine rein privatwirtschaftlich geregelte "Paketlösung", bei der das bisher separat versicherte Sturm- und Hagelrisiko mit den Erweiterten Elementarrisiken gekoppelt wird, ist nach KALENBERG (1998) nicht lebensfähig. Der überwiegende Teil der Bevölkerung, der durch die Erweiterten Elementarrisiken nur gering gefährdet ist (oder sich nur einer geringen Gefährdung bewusst ist), würde die preisgünstigere, ausschließliche Sturm- und Hagelversicherung vorziehen. Hiermit wäre eine wirtschaftliche Prämienkalkulation der Erweiterten Elementarschadenversicherung nicht möglich, bzw. der durch Elementarrisiken stark gefährdete Anteil der Bevölkerung würde wegen hoher Prämien weiterhin keinen Versicherungsschutz in Anspruch nehmen können.

Bei der Erwägung einer Pflichtversicherung von Elementarschäden muss geklärt werden, inwieweit eine staatliche Regulierung des privatwirtschaftlichen Wettbewerbs im Bereich der Elementarschäden zulässig ist. Hierbei muss der Nutzen für die Allgemeinheit in einem vernünftigen Verhältnis zum staatlichen Zwang stehen. Eine ablehnende Haltung zu den Regulierungsmaßnahmen wird damit begründet, dass sich der überwiegende Teil der Bevölkerung auf rein privatwirtschaftlicher Basis gegen Elementarschäden versichern kann und lediglich ein kleiner Bevölkerungsanteil keinen Schutz erfährt (DIETZ 1995). Die Befürworter der staatlich gelenkten Pflichtversicherung begründen ihre Ansicht dagegen damit, dass einerseits ein relativ großer Bevölkerungsanteil durch Elementarrisiken gefährdet ist und dass andererseits, bei bisheriger Verfahrensweise mit Nothilfeprogrammen im Katastrophenfall, von allen steuerpflichtigen Personen erhobene Steuergelder zur Regulierung der Schäden herangezogen werden müssen (KALENBERG 1998). Es

handelt sich hierbei also um einen indirekten Solidaritätsbeitrag, wobei der entstandene Schaden jedoch i.d.R. nicht in voller Höhe reguliert wird.

Nach KALENBERG (1998) wäre es sinnvoll, bei einer staatlich gelenkten Pflichtversicherung die Grundgedanken des privatrechtlichen Versicherungssystems zu beachten und somit keinen einheitlichen, sondern nach Gefährdungszonen gestaffelten Beitrag zu erheben. Ebenso könnten die Selbstbehalte für die einzelnen versicherten Elementargefahren und Gefährdungszonen unterschiedlich hoch bemessen werden, um dem jeweiligen Gefährdungspotential Rechnung zu tragen. Wichtig wäre hierbei, dass alle Versicherungsnehmer, die einen Basisversicherungsvertrag, i.d.R. eine Feuerversicherung für Gebäude und Inhalt, abschließen, gesetzlich verpflichtet sind, eine Zusatzprämie für die Pflicht-Elementarschadenversicherung zu entrichten. Auf der anderen Seite müssen die Versicherer verpflichtet sein, ausnahmslos alle Ihnen angetragenen Elementarschadenrisiken zu versichern, damit auch stark gefährdete Gebäude einen Versicherungsschutz erfahren können.

Einen gangbaren Weg zur Erzielung eines flächendeckenden Versicherungsangebots für Überschwemmungsschäden ohne Einführung eines Versicherungszwangs stellt das seit 1968 in den USA bestehende National Flood Insurance Program (NFIP) dar, vgl. Kap. 6.1.1.2. Insbesondere die Kopplung der Versicherung von Überschwemmungsschäden mit Maßnahmen zur Schadenspotentialminderung sowie die Einbindung der betroffenen Gemeindeverwaltungen und Privatpersonen ist vorteilhaft. Hierdurch kann neben der Risikovorsorge ein Mindestmaß an Flächen-, Bau- und Schadstoffvorsorge in Gebieten mit Versicherungsschutz gewährleistet werden. Der Versicherungsschutz motiviert zu einer der Hochwassergefährdung angepassten Raumordnung sowie zu privaten Vorsorgemaßnahmen.

Zur Deckung der bei Elementargefahren möglichen sehr hohen Kumulschäden müssen, gleich welche Versicherungsform betrachtet wird, besondere Finanzierungswege gefunden werden. Dies kann durch eine gemeinsame Risikotragung der Versicherer in einem Versicherungspool (mit definierter staatlicher Beteiligung), durch die Einrichtung eines staatlichen Fonds, der durch von den Versicherern erhobene Prämienzuschläge für Elementarschäden sowie durch Steuergelder finanziert wird, oder durch eine staatliche Rückversicherung erfolgen. Der Einsatz von Steuergeldern zur Regulierung von schweren Überschwemmungskatastrophen ist unvermeidbar, allerdings kann infolge einer flächendeckenden Versicherungsregelung eine finanzpolitisch geordnete Situation hergestellt werden, und die staatlichen Zuschüsse kön-

nen infolge des Einsatzes der privat eingezahlten Versicherungsprämien verringert werden.

Eine Voraussetzung für das Funktionieren einer flächendeckenden Elementarschadenversicherung ist der Aufbau einer Risikopartnerschaft zwischen Staat, Versicherten und Versicherern:

- Der Bund und ggf. auch die Länder müssen zur Deckung der hohen Kumulrisiken in die Elementarschadenversicherung eingebunden sein. Hiermit wird staatlicherseits auch bei bestehendem Versicherungsschutz ein Interesse an der Regelung und Finanzierung des Hochwasserschutzmanagements aufrechterhalten.
- Die Gemeinden müssen in Regelungen zur Versicherung von Überschwemmungsschäden eingebunden sein, damit eine der Überschwemmungsgefährdung entsprechende Bauplanung auf kommunaler Ebene erwirkt werden kann. Beispielsweise kann die Mittelvergabe spezieller Bundes- oder Landesprogramme zur Bauförderung an den Nachweis bestimmter Mindestmaßnahmen bezüglich des Hochwasserschutzmanagements gekoppelt werden.
- Die Mithilfe der Versicherten bei der Schadensminderung muss durch Selbstbehalte sowie durch Sicherheitsvorschriften gewährleistet werden. Selbstbehalte können die Anzahl der Schäden und damit den Verwaltungsaufwand und die Entschädigungssumme deutlich reduzieren. Zur effektiven Schadensminderung ist ein prozentual vom Gesamtschaden zu berechnender Selbstbehalt in Kopplung mit einem Festbetrag des Mindestselbstbehalts zur Verringerung des Verwaltungsaufwands sinnvoll. Bei der Berechnung der prozentualen Selbstbehalte im Überschwemmungsfall ist darauf zu achten, dass i.d.R. nur Keller und Erdgeschoss eines Gebäudes Schäden aufweisen. Bei einem mehrgeschossigen Gebäude sollte deshalb die Versicherungssumme der oberen Stockwerke nicht mit in den Selbstbehalt einbezogen werden. Zur Versicherung von Gebäuden, die häufig von Überflutungen heimgesucht werden, ist es möglich, gesonderte Selbstbehaltsformen und -höhen einzuführen. Durch hohe Mindestselbstbehalte in stark gefährdeten Zonen können somit Schäden durch häufig wiederkehrende Überflutungen, auf die sich der Gebäudeeigentümer einstellen und gegen die er von daher Eigenvorsorge treffen kann, vom Versicherungsschutz ausgeschlossen werden.
- Die Schadensdeckung sowie die Organisation der Schadensregulierung sollte wegen der einschlägigen Erfahrungen auf diesem Gebiet dem Versicherungsmarkt vorbehalten sein.

Zusammenfassend kann geschlussfolgert werden, dass eine Versicherung von Sturmflutschäden nicht einzeln und nicht allein an der deutschen Ostseeküste realisierbar ist. Vielmehr muss eine im gesamten Bundesgebiet gültige Lösung zur Versicherung von Überschwemmungsschäden, u.U. in Verbindung mit anderen Elementargefahren, gefunden werden.

Die Durchsetzung einer entsprechenden Elementarschadenversicherung wird nur mittelfristig möglich sein, da Meinungsbildung und Interessenabgleich in Politik, Wirtschaft und Gesellschaft noch nicht abgeschlossen sind. Eine kurzfristig zu erreichende Risikovorsorge allein über die Versicherungswirtschaft kann sich nur auf einzelne Objekte und, im günstigsten Fall, auf einzelne Regionen beziehen. Eine Einschränkung des Versicherungsschutzes auf die Überschreitung bestimmter Wasserstände kann nach §24 AGB (1976) gegenüber geschäftserfahrenen Versicherungsnehmern vorgenommen werden, vgl. Kap. 6.1.1. Somit besteht grundsätzlich für einzelne Betriebe und Kommunen die Möglichkeit, sich gegen Schäden zu versichern, die bei extremen Sturmflutwasserständen eintreten. Dies kann sinnvoll sein, wenn die Ausbauhöhen der Hochwasserschutzanlagen im betrachteten Gebiet unterhalb des Bemessungshochwasserstands liegen und die jährlichen finanziellen Aufwendungen für den Ausbau der Hochwasserschutzanlagen den jährlich zu entrichtenden Versicherungsbeitrag übersteigen.

6.1.2 Flächenvorsorge

Eine optimale Flächenvorsorge ist dann erzielt, wenn überschwemmungsgefährdete Gebiete nicht besiedelt oder landwirtschaftlich genutzt werden. In der Regel kann dieses Maximalziel nicht erreicht werden. Die Minimalforderung besteht in der Freihaltung ausreichender Räume zur Erstellung und zur Erweiterung von Hochwasserschutzanlagen. Hierbei sind der säkulare Meeresspiegelanstieg und die in Zukunft möglicherweise steigenden Sicherheitsansprüche der Bevölkerung in Betracht zu ziehen.

Die Gründe für die Besiedlung des überschwemmungsgefährdeten Küstenraums sind vielschichtig:

- Es liegen oftmals, insbesondere bei nicht ortsansässigen Investoren, mangelnde Erfahrungen und ein nur begrenztes theoretisches Wissen über die möglichen Gefahren und Eigenheiten von Ostseesturmfluten vor. Die Ostsee wird wegen der im Vergleich zur tidebeeinflussten Nordsee zumeist nur gering vom Mittelwasserstand abweichenden Wasserspiegellagen als ruhig und ungefährlich angesehen. Vergleichsweise seltene Extremwetterlagen und

die zugehörigen Wasserstands- und Seegangszustände werden nicht berücksichtigt.

- Es wird angenommen, dass als Bauland ausgewiesenes Land nicht überschwemmungsgefährdet ist. Dies ist jedoch nicht immer der Fall. Wegen der Attraktivität des küstennahen Landes mit großen, ebenen Freiflächen in verkehrsgünstiger Lage werden die Nachteile hinsichtlich der Hochwassergefährdung häufig auch von Städten und Gemeinden nicht berücksichtigt.
- Es wird angenommen, dass bei bestehendem baulichen Hochwasserschutz Überschwemmungsschäden ausgeschlossen sind. Das technische System wird als unfehlbar und grenzenlos wirksam angesehen.

Ein Zurückweichen von der Küste kann lediglich bei der landwirtschaftlichen Nutzung von Überschwemmungsgebieten in begrenztem Maße beobachtet werden. Dieser begrenzte Rückzug steht i.d.R. im Zusammenhang mit der wirtschaftlichen Situation von Landwirtschaftsbetrieben, insbesondere in Mecklenburg-Vorpommern seit der Wiedervereinigung, und mit Entschädigungszahlungen für brachliegende Flächen zur Förderung des Naturschutzes und ist nicht in erster Linie in der Sturmflutgefahr begründet.

Für die Ausschreibung von Baugebieten und die Erteilung von Baugenehmigungen sind die jeweiligen Kommunen zuständig, die i.d.R. Steuereinnahmen versprechende Ansiedlungen begrüßen. Der Schutz der Bauten gegen Einwirkungen von Sturmfluten liegt im Aufgabenbereich der Wasserwirtschaftsämter der Länder, die einer weiteren Bebauung des überflutungsgefährdeten Raums skeptisch und einer Bebauung nahe der Hochwasserschutzlinie ablehnend gegenüber stehen. Die kommunalen Bauplanungen werden, sofern sie im überflutungsgefährdeten Raum vorgesehen sind, mit den Wasserwirtschaftsämtern abgestimmt. Dies erfolgt i.a. zu einem Zeitpunkt, an dem Vorplanungen zur Ausschreibung von Baugebieten bereits abgeschlossen sind. Oftmals stehen dann der ablehnenden bzw. einschränkenden Haltung der Wasserwirtschaftsverwaltung bereits Stadtvertreter und Investoren mit klar definierten Vorstellungen über Lage und Art der Gebäude gegenüber. Eine Unterbindung von Neuansiedlungen im Überflutungsraum von Seiten der Wasserwirtschaftsverwaltung ist nur dann möglich, wenn festgelegte Küstenschutzgebiete betroffen sind (vgl. Kap. 4.2). Ansonsten kann die Wasserwirtschaftsverwaltung lediglich Stellungnahmen mit empfehlendem Charakter zu Bauvorhaben abgeben. Die Entscheidung über ein Bauvorhaben wird jedoch auf kommunaler Ebene getroffen. Der entscheidende Grund für eine mangelnde Berücksichtigung der Belange des Hochwasserschutzes liegt damit im oftmals feh-

lenden politischen Willen auf kommunaler Ebene.

Zur verbesserten Flächenvorsorge muss eine frühzeitige Einschaltung der Wasserwirtschaftsverwaltung in Bauplanungen an der Küste durch administrative Regelungen, ggf. in Verbindung mit der Vergabe von Fördermitteln des Landes und des Bundes, gewährleistet werden. Beim Aufbau eines Versicherungsprogramms für Überschwemmungsschäden, vgl. Kap. 6.1.1.3, können Kommunalverwaltungen zu entsprechenden Nutzungseinschränkungen im Überschwemmungsgebiet motiviert werden.

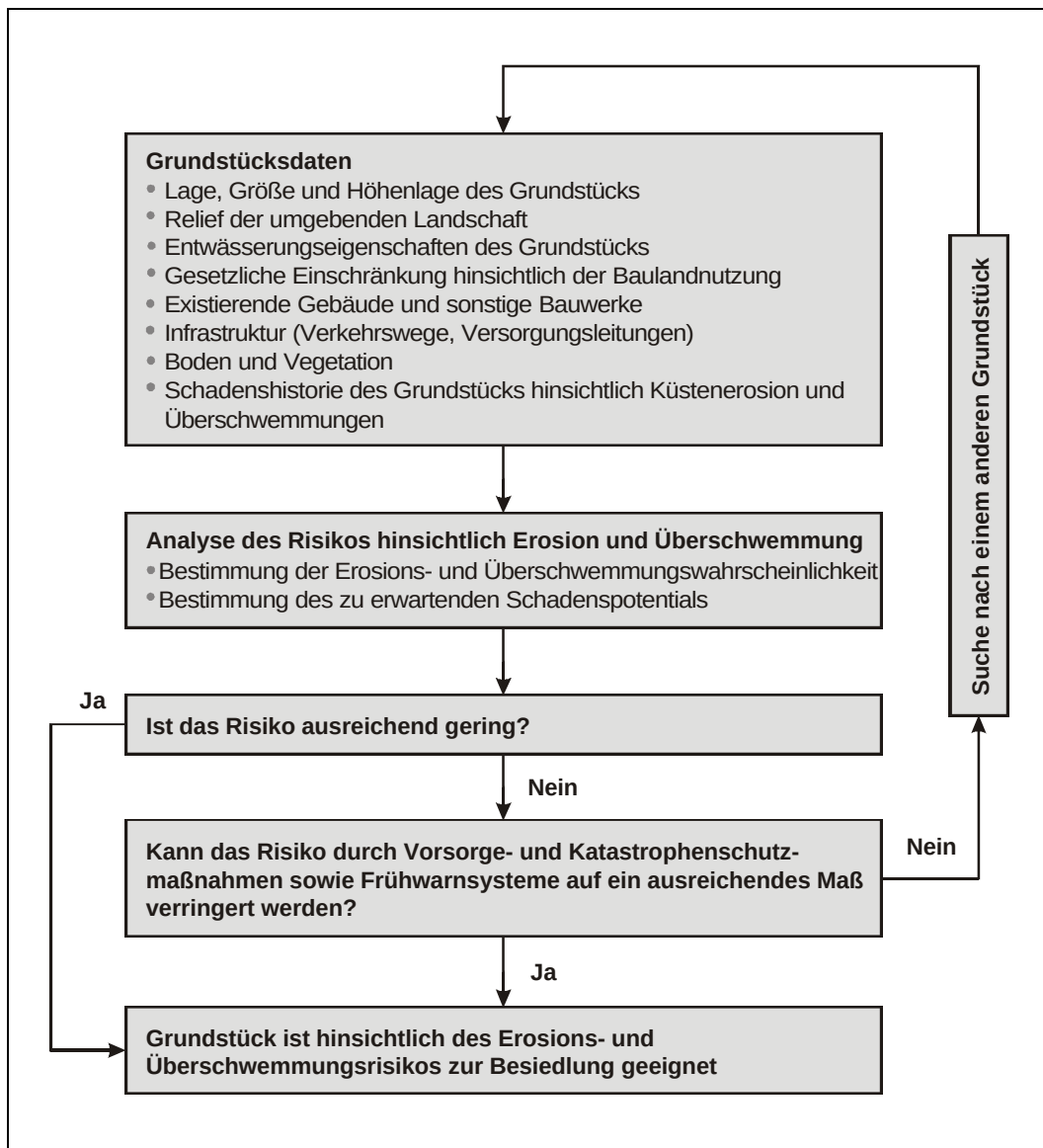


Abb. 19: Schema zur Auswahl geeigneter Siedlungsflächen im Küstenraum

Eine intensive Nutzung des überflutungsgefährdeten Raums sollte zukünftig erst

nach Ermittlung und Bewertung des vorhandenen Schadensrisikos infolge Hochwasser und Küstenerosion erfolgen. Ein Schema zur Auswahl geeigneter Siedlungsflächen im Küstenraum ist in Abb. 19 dargestellt. Anhand zusammengestellter Grundstücksdaten kann das Risiko hinsichtlich Erosion und Überschwemmung ermittelt werden. Ist das Risiko gering oder kann es durch Vorsorgemaßnahmen auf ein ausreichendes Maß verringert werden, kann das Grundstück hinsichtlich der vorhandenen Erosions- und Hochwassergefahren besiedelt werden. Bei einem zu hohen verbleibenden Risiko muss ein Alternativgrundstück ausgewählt und nach gleichem Schema untersucht werden.

6.1.3 Bauvorsorge

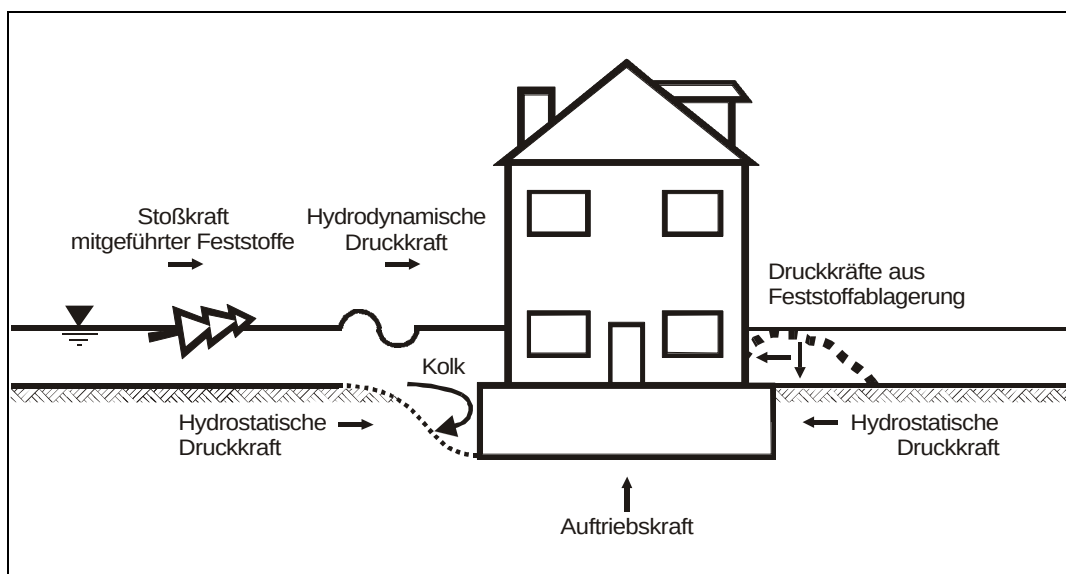


Abb. 20: Mechanische Beanspruchung von Gebäuden bei Überschwemmung

Bauwerke sind bei Überschwemmungen mechanischen Belastungen sowie Einwirkungen aus Nässe und Schmutz ausgesetzt. Die mechanischen Belastungen können unterteilt werden in statische Lasten aus hydrostatischem Wasserdruck, Auftrieb und Feststoffablagerungen sowie in hydrodynamische Lasten aus Seegang, Strömungen und Feststoffstoß. Durch strömendes Wasser können zudem Kolke entstehen, die die Standsicherheit von Bauwerken beeinträchtigen (Abb. 20).

Nässe und Schmutz beeinträchtigen die Gebrauchstauglichkeit, die Standfestigkeit und die äußere Gestalt von Bauwerken auf Zeit oder auf Dauer. Vernässungen führen bei Materialien aus Holz, Papier und wasseraufnehmenden Dämmstoffen zu Volumenänderungen, Ablösungen und Änderungen der Lagerungsdichte. Holzbau- teile wie Fenster und Türen sind oft auf Dauer geschädigt und müssen ersetzt wer-

den. Bei im Überflutungsbereich liegenden elektrischen Leitungen und Anschlüssen können elektrische Kurzschlüsse auftreten, wodurch Brandgefahr entsteht. Längerfristige Vernässungen führen zudem zu Pilz- und Schimmelbefall an Gebäudezugehör und Mauerwerk. Weitere hygienische Probleme stehen im Zusammenhang mit dem Eintrag von im Überflutungswasser transportierten Materialien. Bei der Zersetzung von organischen Stoffen kommt es zu Bakterienbildung und in Folge zu Geruchsbelästigung und Gesundheitsgefährdung. Feine Feststoffe können sich an Oberflächen anlagern und sind ggf. kaum zu entfernen. Elektrische und mechanische Geräte können durch Korrosion und Schmutzeinlagerungen ihre Funktion einbüßen. Vernässungen wirken infolge von Kapillarität und Wasserdampfkondensation immer auf größere Bereiche als die der eigentlichen Überschwemmungshöhe entsprechenden Fläche.

Bei Deichbrüchen kann strömendes Wasser mit hoher Fließgeschwindigkeit Kolke von etlichen Metern Tiefe und mehreren Hektar Größe verursachen. Den hierbei wirkenden Kräften ist nur mit für den üblichen Hochwasserschutz unverhältnismäßigen Mitteln entgegen zu treten. Der Großteil der Bauwerke ist jedoch bei Überschwemmungen geringeren Belastungen ausgesetzt, so dass bei einer angepassten Bauweise die meisten aus Überschwemmung resultierenden Belastungen Schadensarm aufgenommen werden können. Wichtig ist eine massive Bauweise; Holzständer- und Fachwerkbauweisen sind nicht geeignet. Darüber hinaus gibt es mehrere Möglichkeiten des Objektschutzes.

Bei der Bauvorsorge sind permanente und temporäre Maßnahmen zu unterscheiden. Die temporären Maßnahmen, wie das hochwassersichere Verschließen von Fenster- und Türöffnungen und die Sicherung von Fahrzeugen im Überschwemmungsgebiet, werden i.d.R. erst nach Ausgabe einer Sturmflutwarnung vorgenommen. Hierzu ist es notwendig, dass sich befugte und fachkundige Personen in ausreichender Anzahl vor Ort befinden, die die Maßnahmen zeitnah durchführen können. Eine Ausnahme bilden temporäre Maßnahmen, die über die gesamte Sturmflut-saison installiert bleiben und die insbesondere in hauptsächlich touristisch genutzten Küstengebieten eine sinnvolle Lösung darstellen können. Bei Sommersaisonbetrieb von Hotels, Pensionen, Ladenlokalen, Sportboothäfen u.ä. sind Nutzungsbeschränkungen im Erdgeschossbereich in der Sturmflutsaison (siehe Kap. 3.2) realisierbar. Die Räume müssen dann im Oktober jeden Jahres vollständig geräumt und gesichert werden und können ab Mai wieder in Betrieb genommen werden.

Insgesamt ist darauf zu achten, dass Maßnahmen zur Bauvorsorge u.U. nicht die

Evakuierung bei drohender Überschwemmung ausschließen. Kann ein substantieller Schaden des Gebäudes wegen zu erwartender hoher statischer und dynamischer Belastungen nicht ausgeschlossen werden, muss das Gebäude bei Hochwasserwarnung verlassen werden.

Grundsätzlich sind fünf Varianten des Objektschutzes zu unterscheiden: Örtliche Verlagerung bestehender Gebäude, Bauen in erhöhter Lage, Ringdeichung, Dichtung gegen Wassereintritt sowie Schadenspotentialminderung unter Zulassung des Wassereintritts.

6.1.3.1.1 Umsetzung bestehender Gebäude

Vorteile	Nachteile
• Erhebliche bzw. vollständige Reduzierung des Schadenspotentials • Vollständige Nutzung des Gebäudes möglich • Sicherung von Gegenständen bei Hochwasser nicht erforderlich • Keine Schädigungen am das Gebäude umgebende Gelände • Evakuierung infolge Hochwasser nicht notwendig • In der Regel keinerlei finanzielle, psychische und sonstige Beeinträchtigungen bei Hochwasser	• Sehr kostenintensiv • Zusätzlicher Landbedarf

Tab. 15: Umsetzung bestehender Gebäude

Die sicherste Methode des Objektschutzes ist die Meidung überschwemmungsgefährdeter Zonen, also der Rückzug. Bei starker Hochwassergefährdung, insbesondere in Verbindung mit einem wesentlichen Küstenrückgang, können bestehende Gebäude im Einzelfall versetzt werden (Tab. 15). Sinnvoll kann dies bei kulturhistorisch wertvollen Gebäuden sein. Beispielsweise wurde im Südosten Englands in Beachy Head ein als Wohngebäude genutzter rund 170 Jahre alter Leuchtturm hydraulisch angehoben und um 20 m ins Binnenland versetzt (AP). Maßnahmen dieser Art können u.U. kostengünstiger als der Objektschutz durch Hochwasser- und Küstenschutzmaßnahmen sein. Die Kosten für entsprechende Maßnahmen belaufen sich laut Firmenauskunft (Abbey Pynford plc, Watford, England) zumeist auf 100.000

bis 250.000 britische Pfund pro Objekt (170.000 bis 440.000 Euro).

6.1.3.1.2 Bauen in erhöhter Lage

Eine bewährte Methode des Objektschutzes ist die Errichtung von Gebäuden in erhöhter Stellung, auf sogenannten Warften. Die unterste Geschosssohle ist hierbei oberhalb eines für den Objektschutz festgelegten Bemessungshochwasserstands zu legen, der nicht zwingend mit dem Bemessungshochwasserstand des Öffentlichen Hochwasserschutzes übereinstimmen muss. Neben der Erhöhung des Geländes mit Erdmassen können Gebäude grundsätzlich auch auf freistehenden Pfählen gegründet werden. Inwieweit diese für den norddeutschen Raum ungewöhnliche, aber bspw. in den USA zum hochwassersicheren Bauen häufig angewendete Gründungsart an der deutschen Ostseeküste eingesetzt werden kann, muss im Einzelfall entschieden werden. Denkbar ist der Einsatz von freistehenden Pfahlgründungen in Ferienhaussiedlungen. Die Vor- und Nachteile des Objektschutzes durch Bauen in erhöhter Lage sind in Tab. 16 aufgeführt.

Vorteile	Nachteile
• Reduzierung des Schadenspotentials • Vollständige Nutzung des Gebäudes möglich • Entfernung von Einrichtungsständen bei Hochwasser nicht erforderlich • Kein zusätzlicher Landbedarf	• Keine Vorsorgemöglichkeit für bestehende Gebäude • Unter Umständen sehr kostenintensiv • Unter Umständen starke Beeinträchtigung der Gebäudeansicht • Unter Umständen starke Beeinträchtigung des Gebäudezugangs • Schäden am das Gebäude umgebende Gelände werden nicht reduziert • Evakuierung des Gebäudes bei Hochwasser kann nicht ausgeschlossen werden

Tab. 16: Bauen in erhöhter Lage

6.1.3.1.3 Ringdeichung

Einzelne Objekte können durch Hochwasserschutzdämme oder –mauern gesichert werden. Hierbei handelt es sich um Ringdeiche oder um Anschlussdeiche an höher gelegenes Gelände. Einzurichten sind Pumpensümpfe und Pumpen zur Abführung des eindringenden Sicker-, Regen- und Brauchwassers. Neben festen Verwallungen

können u.U. auch temporäre oder mobile Hochwasserschutzwände verwendet werden, die in Kap. 6.2.2.3 im Zusammenhang mit dem Öffentlichen Hochwasserschutz näher erläutert sind. In Tab. 17 sind die Vor- und Nachteile einer Ringdeichung näher erläutert.

Vorteile	Nachteile
• Reduzierung des Schadenspotentials bei Funktion der Schutzanlage • Ringdeichungen i.d.R. kostengünstiger als Umsetzungen von Gebäuden oder Bauen in erhöhter Lage • Sicherung nicht nur von Gebäuden, sondern auch von umliegendem Gelände vor Überschwemmungen • Vollständige Nutzung des Gebäudes möglich • Entfernung von Einrichtungsständen bei Hochwasser nicht notwendig	• Keine Schadensminderung bei Versagen der Ringdeichung infolge Überströmung oder Bruch • Unter Umständen kostenintensiv, insbesondere beim Einsatz von senkrechten Mauern • Unter Umständen Störung der Sichtbeziehungen • Wartung der Schutzanlage, insbesondere bei mobilen oder temporären Systemen, erforderlich • Manuelle Vorkehrungen innerhalb der Vorwarnzeit bei mobilen oder temporären Systemen oder Systemteilen (Dambalkenverschlüsse) erforderlich • Vorkehrungen zur Abfuhr von Dränge- und Niederschlagswasser erforderlich • Bei unterkellerten Gebäuden ggf. Dichtigkeit gegen Drängewasser notwendig • Tief einbindende Spundwandverbauten führen u.U. zu Störungen des Grundwasserhaushalts • Zugang zum geschützten Bereich und Sichtbeziehungen u.U. eingeschränkt • Evakuierung des Gebäudes bei Hochwasser kann nicht ausgeschlossen werden

Tab. 17: Ringdeichung

6.1.3.1.4 Dichtung gegen Wassereintritt

Eine weitere Möglichkeit des Objektschutzes besteht in der Dichtung der Gebäude gegen Wassereintritt. Hierzu müssen die Wände eine ausreichende Standsicherheit

gegen die auftretenden dynamischen und statischen Lasten aufweisen; ggf. muss das Gebäude, insbesondere bei Unterkellerung, vor Auftrieb gesichert werden. Zur Vermeidung von Rissen bei Setzungen ist eine monolithische Bauweise zu bevorzugen. Eine wasserdichte Gebäudehülle kann entweder in Form einer Betonkonstruktion erstellt werden oder es ist an Außenwänden und Fundamenten eine äußere oder innere Wassersperrschicht bis zur Höhe eines möglichen Hochwasserscheitels plus Wellenauflauf aufzutragen. Tür- und Fensteröffnungen sind durch Metalleinsätze manuell oder elektrisch verschließbar auszuführen und Abwasserleitungen sind mit Rückschlagventilen auszustatten. Alle weiteren Gebäudeöffnungen, wie Kabeldurchgänge und Lüftungsschlitze, sind möglichst in hochwasserfreier Lage auszuführen oder bedürfen einer gesonderten Dichtung (Tab. 18).

Vorteile	Nachteile
• Reduzierung des Schadenspotentials bei Funktion der Schutzmaßnahme • Dichtungsmaßnahmen sind i.d.R. kostengünstiger als Umsetzungen von Gebäuden und Bauen in erhöhter Lage • Kein zusätzlicher Landbedarf • Vollständige Nutzung des Gebäudes außerhalb der aktuellen Hochwassergefahr möglich • Entfernung von Einrichtungsständen bei Hochwasser nicht notwendig • Äußere und innere Erscheinungsform des Gebäudes bleibt nahezu vollständig erhalten	• Keine Vorsorgemöglichkeit für bestehende Gebäude • Keine Schadensminderung bei Versagen der Dichtung insbesondere bei langanhaltender Belastung • Bei auftretenden Belastungen, die die Bemessungskriterien überschreiten, können Gebäudeschäden entstehen (z.B. Einsturz des Gebäudes), die die reinen Überschwemmungsschäden überschreiten • Keine Schadensminderung an der Außenhülle des Gebäudes und des umliegenden Geländes • U. U kostenintensive Vorkehrungen • Wartung der Schutzanlage, insbesondere der mobilen oder temporären Systemteile, erforderlich • Manuelle Vorkehrungen innerhalb der Vorwarnzeit bei mobilen oder temporären Systemteilen (Verschlüsse von Fenster und Türöffnungen) erforderlich • Evakuierung des Gebäudes bei Hochwasser notwendig

Tab. 18: Dichtung gegen Wassereintritt

6.1.3.1.5 Minderung des Schadenspotentials unter Zulassung des Wassereintritts

Vorteile	Nachteile
• Reduzierung des Schadenspotentials auch bei Maßnahmen sehr geringen Umfangs möglich • Bereits kostengünstige Maßnahmen reduzieren wirkungsvoll das Schadenspotential • Kein zusätzlicher Landbedarf • Äußere und innere Erscheinungsform des Gebäudes bleiben nahezu vollständig erhalten • Keine Schadenserhöhung infolge Überbelastung des Bauwerks durch hydrostatischen Druck (siehe Dichtung gegen Wassereintritt)	• Eingeschränkte Nutzung des Gebäudes auch außerhalb der akuten Hochwassergefahr • Manuelle Vorkehrungen innerhalb der Vorwarnzeit bei mobilen oder temporären Systemteilen erforderlich • Entfernung von Einrichtungsgegenständen innerhalb der Vorwarnzeit notwendig • Evakuierung des Gebäudes bei Hochwasser sollte erfolgen, sofern nicht allein das Kellergeschoss vom Wassereintritt betroffen ist • Aufräum- und Reinigungsarbeiten sind nach einer Überschwemmung notwendig • Das Gebäude kann nach Überflutung zeitweise unbewohnbar sein • Auspumpen von Kellerräumen kann infolge des erhöhten hydrostatischen Außendrucks erst verzögert erfolgen

Tab. 19: Minderung des Schadenspotentials unter Zulassung des Wassereintritts

Eine schadensmindernde Form des Objektschutzes stellt die Erstellung der Hochwassersicherheit unter Zulassung des Wasserzutritts dar. Hierbei muss das Gebäude lediglich den dynamischen Belastungen standhalten, der statische Wasserdruck ist wegen der gleichen Wasserstände innen und außen ausgeglichen. Bis auf Höhe des möglichen Hochwasserstandes sind wasserresistente Baumaterialien wie Stein, Beton, Keramik und rostfreier Stahl zu wählen. Als Dämmmaterialien kommen Schäume oder Materialien mit geschlossenen Zellen in Frage. Farbanstriche und Kleber müssen wasserresistent sein. Elektrische Installationen sind in hochwassersicherer Lage zu verlegen. Sofern eine elektrische Versorgung unterhalb des Bemessungshochwasserstandes notwendig ist, ist ein vom übrigen System unabhängiger Leitungskreis, der im Hochwasserfall automatisch vom Netz getrennt wird, anzuordnen. Der Hauptschalter muss sich in jedem Fall in hochwassersicherer

Lage befinden. Die Abwasserleitung muss mit einem Rückschlagventil ausgestattet werden. Die Einrichtungsgegenstände der überschwemmungsgefährdeten Bereiche sind bei Hochwasserwarnung vorsorgend zu entfernen und sollten deshalb leicht zu transportieren sein. Größere Gegenstände, bspw. Waschmaschinen, können bei Hochwasserwarnung in wasserdichte Säcke verpackt werden. Sofern lediglich eine Höhe von wenigen Dezimetern Wasserstand im Raum zu erwarten ist, können Schränke und Regale erhöht befestigt werden. Eine Nutzung des Erdgeschosses als Garage oder Lagerraum für wasserunempfindliche Gegenstände ist anzustreben. Die hochwasserfreien Gebäudeteile sollten über Treppen oder Leitern von den unterhalb des Bemessungshochwasserstands liegenden Gebäudeteile erreichbar sein.

Diese Form des Objektschutzes hat gegenüber den anderen den Vorteil, dass bereits mit relativ geringem Aufwand eine effektive Reduzierung des Schadenspotentials erzielt werden kann. Ebenso ist eine entsprechende Nachrüstung bzw. Nutzungseinschränkung bestehender Gebäude vergleichsweise einfach (Tab. 19).



Abb. 21: Hochwassersichere Sanierung eines durch Überschwemmung geschädigten Neubaus bei Frankfurt/Oder

Ein Beispiel einer hochwassersicheren Sanierung eines Neubaus im norddeutschen Raum nach einem Hochwasserschaden ist in Abb. 21 dargestellt. Im Vordergrund sind Reste des ursprünglichen Baus in Holzständerbauweise zu sehen. Der Wandaufbau des Erdgeschosses war nach einer Überschwemmung mit Maximalwasserständen von etwa 2 m über Gelände vollständig zerstört. Das Gebäude wurde in gleicher Weise mit dem unversehrt gebliebenen Obergeschoss und dem Dachauf-

bau wenige Meter neben dem ursprünglichen Standplatz in erhöhter Lage wieder aufgebaut. Als Unterbau wurden wasserresistente Baustoffe verwandt. An zwei Hausseiten ermöglichen Böschungen den Übergang zum umliegenden Gelände. An den beiden weiteren Hausseiten werden Garagenzufahrten und Eingänge zu Lageräumen angeordnet. Im Untergeschoss wird der Wassereintritt im Hochwasserfall zugelassen, die wasserempfindlichen Bauteile im oberen Gebäudeteil sind durch die erhöhte Lage vor Wassereintritt geschützt.

6.1.4 Schadstoffvorsorge

Schadstoffe sollten möglichst hochwasserfrei gelagert werden. Neben Giftstoffen sind hierunter insbesondere Stoffe zu verstehen, die bei Kontakt mit Wasser Brand- und Explosionseigenschaften besitzen.

Betriebe, die mit wassergefährdenden Stoffen arbeiten oder handeln, sind nicht innerhalb des potentiellen Überschwemmungsgebiets, auch bei bestehendem baulichen Hochwasserschutz, anzusiedeln. Dies gilt beispielsweise auch für Tankstellen.

Auf die Installation von Öltankanlagen sollte in Überschwemmungsgebieten verzichtet werden bzw. sollten sie in hochwasserfreier Lage angeordnet werden. Ist dies nicht möglich, ist eine Sicherung gegen Auftrieb unter dem Lastfall "Leerer Tank" vorzunehmen; Zu- und Abflussleitungen müssen fixiert werden. Außerdem muss der leere Tank dem maximal möglichen umgebenden Wasserdruck zerstörungsfrei standhalten können. Die Tankentlüftung ist in hochwasserfreier Lage anzuordnen.

6.2 Vorbeugender baulicher Hochwasserschutz

Der von der öffentlichen Hand geplante und finanzierte bauliche Hochwasserschutz wird im folgenden hinsichtlich der Bemessungsgrundlagen von Bauwerken sowie der Bauwerke selbst betrachtet. Hierbei wird die Anwendung verschiedener Bemessungsverfahren für den baulichen Hochwasserschutz an der deutschen Ostseeküste diskutiert und es werden grundlegende Hinweise zu den wichtigsten Bemessungsparametern Wasserstand und Seegang gegeben. Bezüglich der Bauwerke selbst werden die Einsatzmöglichkeiten spezieller Hochwasserschutzanlagen an der deutschen Ostseeküste diskutiert und bewertet.

6.2.1 Bemessung von Hochwasserschutzanlagen

Hochwasserschutzanlagen können i.d.R. aus finanziellen sowie häufig auch aus

technischen und optischen Gründen nicht in der Höhe, Stärke und Materialbeschaffenheit gebaut werden, in der ein vollständiger Schutz vor jedem künftig zu erwartenden Extremereignis unter allen möglichen Randbedingungen bestehen würde. Eine Restwahrscheinlichkeit des Versagens bleibt beim technischen Hochwasserschutz i.d.R. bestehen.

Zur Bemessung von Hochwasserschutzanlagen können vier unterschiedliche Ansätze herangezogen werden (PLATE 1993):

- Deterministische Bemessung (Stufe I)
- Quasi-Probabilistische Bemessung (Stufe II)
- Probabilistische Bemessung (Stufe III)
- Bemessung nach dem Risiko (Stufe IV)

Bei der in Deutschland üblichen deterministischen Bemessung von Hochwasser- und Küstenschutzbauwerken (Stufe I) werden sowohl die Belastungen als auch die Belastbarkeit als deterministische Größen angesetzt. Einer etwaigen Variabilität dieser Größen wird durch den Ansatz von Sicherheitsfaktoren oder Sicherheitszuschlägen Rechnung getragen (PLATE 1993). Grundsätzlich werden Grenzelastungen über die Wahl der Bemessungsparameter vorgegeben; eine Aussage über Versagenswahrscheinlichkeiten ist nicht möglich.

Als Grundlage der probabilistischen Bemessung (Stufe III) dient die Fehlerbaumanalyse (Abb. 23), mit der die einzelnen Versagensmöglichkeiten erkannt und dargestellt werden können. Darauf aufbauend sind die Verteilungsfunktionen des Versagens der einzelnen Schutzkomponenten unter den Belastungen, z.B. Extremwasserstände, Seegang, Eisgang, und den Belastbarkeiten, z.B. Überströmen, Wellenüberlauf, Böschungsbruch, zu ermitteln und zur Berechnung der Gesamtversagenswahrscheinlichkeit des Bauwerks heranzuziehen. Die Ermittlung der einzelnen Verteilungsfunktionen ist zumeist nicht für alle Einflussgrößen möglich, da i.d.R. einerseits keine theoretisch fundierte Übertragungsfunktion vorhanden ist und andererseits zur empirischen Lösung eine nur ungenügende Datenbasis zur Verfügung steht.

Bei der quasi-probabilistischen Bemessung werden die Verteilungsfunktionen der Belastungen und Belastbarkeiten, soweit nicht genauer bestimmbar, als normalverteilt angenommen. Die charakteristischen Parameter Mittelwert und Standardabweichung der jeweiligen Normalverteilung werden abgeschätzt. Sofern die Verteilungsfunktionen einzelner Größen, z.B. Wasserstände und Seegang, analysiert werden können, werden diese in die Berechnung einbezogen.

Sind alle in die probabilistische Bemessung eingehenden Größen normalverteilt oder werden alle Größen als normalverteilt angenommen, ist eine vergleichsweise einfache geschlossene Lösung nach der Methode der zweiten Momente möglich, bei der nicht die Versagenswahrscheinlichkeit direkt, sondern nur indirekt über Mittelwert und Varianz zur Spezifizierung der Bemessungsgrößen herangezogen wird (PLATE 1993). Ist es nicht oder nur mit hohem mathematischen Aufwand möglich, eine direkte Lösung der Wahrscheinlichkeitsfunktion zu finden, kann die Versagenswahrscheinlichkeit mit numerischen Verfahren ermittelt werden. Ausgehend von der Wahrscheinlichkeitsverteilung der Zufallsvariablen werden Zufallszahlen generiert, und für jede dieser Zufallszahlen wird der Systemausgang simuliert. Hiermit können auch sehr komplexe Systemzusammenhänge dargestellt und deren Versagenswahrscheinlichkeit berechnet werden. Ein beschränkender Faktor sind jedoch die zumeist sehr vielen Simulationsläufe, die zur Lösung notwendig sind. Eine Beschränkung der Simulationen ist durch die Wahl einer kleineren Stichprobe und einer anschließenden Extremwertanalyse möglich (PLATE 1993).

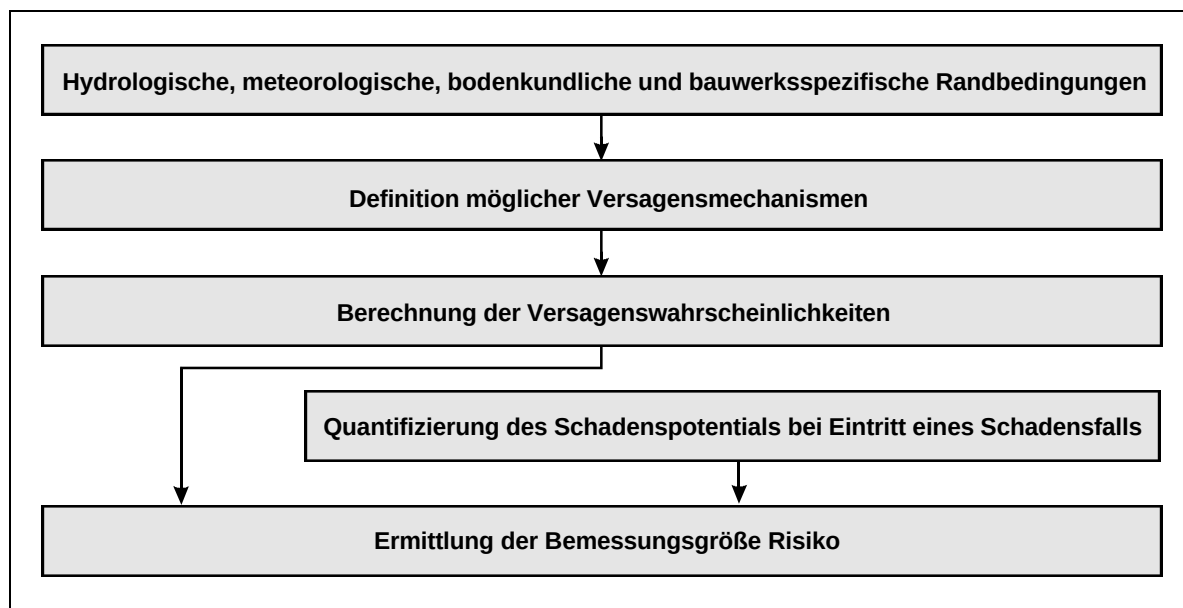


Abb. 22: Elemente der Risikoanalyse (verändert nach MAI, ZIMMERMANN 2000)

Eine Bemessung nach dem Risiko, also der aus der Multiplikation der Versagenswahrscheinlichkeit des Gesamtsystems mit dem vorhandenen Schadenspotential im betrachteten Gebiet resultierenden Bemessungsgröße, wird als Bemessung der Stufe IV bezeichnet. Hierbei ist es notwendig, eine Auswahl zu betrachtender Schäden und die erforderliche Güte des zu wählenden Bewertungsverfahrens festzule-

gen, vgl. Kap.6.1. Die Schadenspotentialbestimmung muss in bestimmten Zeitabständen zur Neubestimmung des vorhandenen Risikos aktualisiert werden.

Die Elemente einer Risikoanalyse (Stufe IV) sind in Abb. 22 dargestellt. Zunächst sind die Randbedingungen hinsichtlich der Hydrologie, Meteorologie, Bodenkunde und der zum Bau der Schutzanlagen verwendeten Materialien zu bestimmen. Hierauf folgt die Definition möglicher Versagensmechanismen i.d.R. in Form eines Versagensbaums (Abb. 23), der die Grundlage zur Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeiten (Stufe II oder III) bildet. Hieran schließt sich eine Quantifizierung der zu erwartenden Schäden bei Versagen des Schutzsystems sowie die Ermittlung des Risikos an.

6.2.1.1 Kriterien zur Wahl eines Bemessungsansatzes

Bei der deterministischen Bemessung werden Bemessungswasserstände und Bemessungsseegangsverhältnisse festgelegt, nach denen Schutzanlagen konzipiert werden. Hierbei wird in der Regel eine Zonierung des Niederungsgebiets nach zu erwartenden Schäden vorgenommen. So werden an der deutschen Ostseeküste nur im Zusammenhang besiedelte Gebiete gegen Eintritt des Bemessungshochwasserstands (BHW), der auf dem am Ort jemals messtechnisch sicher erfassten höchsten Wasserstand zuzüglich säkularem Meeresspiegelanstieg beruht, geschützt. Gebiete, die lediglich eine Einzelbesiedlung oder landwirtschaftliche Nutzung aufweisen, werden nicht oder gegen vergleichsweise niedrigere Wasserstände geschützt.

Bei der probabilistischen Bemessung werden zulässige Versagenswahrscheinlichkeiten definiert, die bei der Bemessung von Schutzanlagen eingehalten werden müssen. Die Festlegung der Versagenswahrscheinlichkeiten erfolgt hierbei ebenso wie bei der deterministischen Bemessung gemäß der Nutzungsart und basiert auf einer groben Zonierung des Niederungsgebiets.

Die Entscheidung für oder wider die probabilistische Bemessung muss in erster Linie in Abhängigkeit von der vorhandenen Datenlage getroffen werden. Eine probabilistische Bemessung ist dann sinnvoll, wenn die einzelnen Versagensmechanismen des zu bemessenden Systems stochastisch beschrieben und den Stichproben der Belastungsparameter Extremwertverteilungsfunktionen zugeordnet werden können. Der Vorteil einer probabilistischen Bemessung liegt in der Betrachtung aller möglichen Belastungs- und Versagensfälle und in der Möglichkeit, die Sicherheitsstandards zum Schutz von Gebieten zu vereinheitlichen oder, bei Nutzung der Versagenswahrscheinlichkeiten für eine Risikobemessung, bewusst unterschiedliche Schutzgrade einzusetzen. Eine Vereinheitlichung der

Sicherheitsstandards ist bei Nutzung der probabilistischen Bemessung insbesondere für aus mehreren Komponenten wie Deichlinien und Dammbalkenverschlüssen zusammengesetzte und / oder für verschieden lange Schutzsysteme möglich, bei denen sich die Gesamtversagenswahrscheinlichkeit aus der Summe der Einzelversagenswahrscheinlichkeiten berechnet (vgl. Kap. 6.2.1.2). Außerdem kann die probabilistische Bemessung auch dazu dienen, Gebieten den gleichen Schutzgrad zuzuordnen, die einerseits durch hohe Fluss- und hohe Seewasserstände und andererseits durch nur eine Hochwasserart bedroht sind.

Die vorhandenen Eingangsdaten zur probabilistischen oder quasi-probabilistischen Bemessung von Hochwasserschutzanlagen sind zumeist unzureichend. Die Einschätzung der Reaktionskräfte des im Hochwasserschutz häufig verwendeten Baumaterials und auch des den natürlichen Untergrund der Baukörper darstellenden Bodens ist i.d.R. stark fehlerbehaftet und kann nicht als ausreichende Datengrundlage für ein probabilistisches Bemessungsverfahren herangezogen werden. Basieren die Eingangsparameter nur auf groben Schätzungen, können Unsicherheiten in der Bemessung nicht durch verfeinerte Berechnungsverfahren, sondern nur durch eine Verbesserung der Datengrundlage verringert werden.

Die bestehenden Schwierigkeiten bei der probabilistischen Bemessung sollen am Beispiel der Bemessung eines Deichabschnitts dargestellt werden. Die in Abb. 23 dargestellte, nicht als vollständig anzusehende Fehlerbaumanalyse enthält mögliche Versagensmechanismen an einem scharliegenden Deichabschnitt ohne Einbauten an einem Küstenabschnitt mit ausgeglichenem Sedimenthaushalt. Es können drei Versagensmechanismen unterschieden werden:

- Deichbruch infolge der Erosion der Außenböschung
- Deichbruch infolge der Erosion der Innenböschung
- Deichbruch infolge vollständigen Abgleitens des Deichkörpers

Das Versagen ist abhängig von den jeweils in haltende (Reaktion) und belastende (Aktion) Größen zu unterteilende Einflussgrößen Wasserstand, Seegang, Verweildauer hoher Wasserstände, Eisgang, Treibgut, Deichgeometrie, Deckwerksausbildung, Materialeigenschaften des Deiches sowie Schichtung und Setzungseigenschaften des Deichuntergrunds.

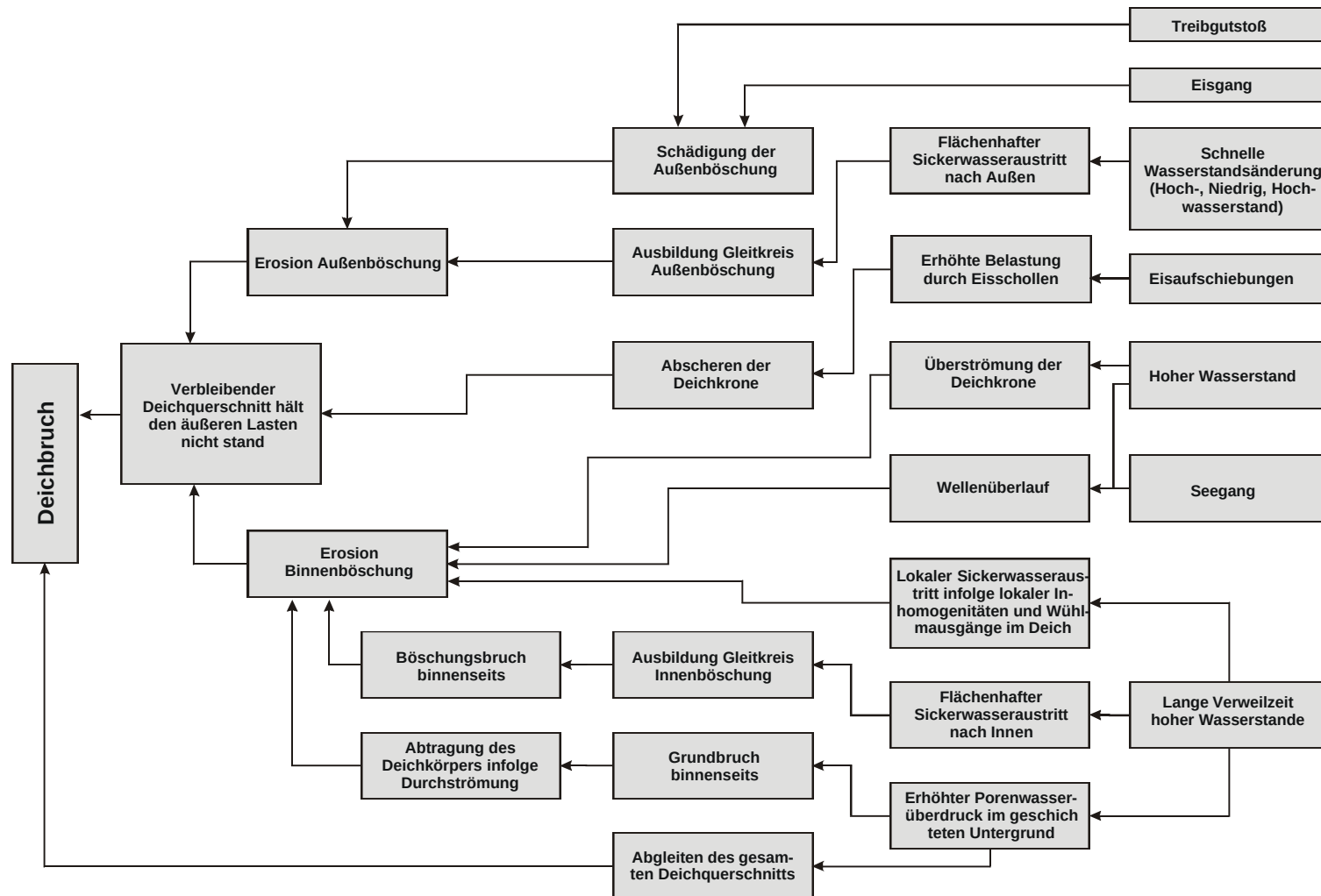


Abb. 23: Fehlerbaum zum Versagen eines scharliegenden Deiches an der Ostseeküste (ausgeglichener Sedimenthaushalt)

Die Bemessung nach dem Risiko stellt eine probabilistische Bemessung dar, die hinsichtlich der Zonierung des zu schützenden Gebiets eine verfeinerte Abstufung aufweist. So können im Zusammenhang besiedelte Gebiete aufgrund der vorhandenen unterschiedlichen Wertekonzentrationen Schutzsysteme mit unterschiedlichen Versagenswahrscheinlichkeiten zugeordnet werden. Betrachtet man nur die gefährdeten Sachwerte, würde ein zu errichtendes Schutzsystem an der Kieler Förde (Schadenspotential von 7,735 Mrd. Euro im betrachteten Gebiet - MLR 1998) eine um den Faktor 24 geringere Versagenswahrscheinlichkeit aufweisen als ein entsprechendes Schutzsystem im Raum Eckernförde / Eckernförder Bucht (Schadenspotential von 0,317 Mrd. Euro - MLR 2001b).

Im Bereich des privaten Hochwasserschutzes ist eine Bemessung nach dem Risiko durchaus praktikabel. Im Bereich des Öffentlichen Hochwasserschutzes muss die Entscheidung, ob eine Bemessung mit oder ohne Einschluss des Risikoaspekts durchgeführt werden soll, auf politischer Ebene getroffen werden. Eine Risikobemessung öffentlicher Hochwasserschutzanlagen führt dazu, dass dem Einzelnen und seinem Eigentum in dünn besiedelten Gebieten mit einer entsprechend geringen Wertekonzentration ein geringerer Schutzgrad zugeordnet wird als in städtischen Bereichen. Der bisher praktizierte Gleichbehandlungsansatz von Gebieten, die im Zusammenhang besiedelt sind, wird bei einer Bemessung nach dem Risiko durch eine Bemessung anhand einer Kosten-Nutzen-Analyse ersetzt, die auch die Wirkung von Vorsorge- und Katastrophenschutzmaßnahmen einbeziehen sollte. Hierbei muss entschieden werden, in welcher Form z.B. die Gefährdung von Menschenleben und die potentielle Zerstörung von Kulturdenkmälern in die Kosten-Nutzen-Analyse eingehen soll. Es stellt sich also auch die Frage nach der monetären Bewertung gefährdeter Menschenleben.

Die Datengrundlage zur Schädigung von Deichabschnitten an der deutschen Ostseeküste ist bisher äußerst ungenügend, so dass eine stochastische Beschreibung der Versagensmechanismen nicht möglich ist. Insgesamt existieren kaum Schadensbeschreibungen von Deichen, und zwar einerseits, weil Schäden selten auftreten und andererseits, weil die Ursachenforschung infolge des i.d.R. vollständigen Abtrags des Deichkörpers und der Untergrundschichten nach einem Deichbruch oftmals unmöglich ist. Damit sind Deichbrüche zumeist nur nachvollziehbar, wenn Augenzeugen die Entwicklung des Bruches dokumentieren können.

Eine Analyse von Schadensbildern an Deichbrüchen an der niederländischen Nordseeküste nach den Sturmfluten 1953, 1962 und 1976 hat ergeben, dass die Mehrzahl der Schadensfälle auf Überströmen und Wellenüberlauf zurückzuführen war

(NMELF 1979). Die im Jahr 1997 aufgetretenen Schadensfälle an den deutschen Oderdeichen sind dagegen überwiegend auf Schäden an der Innenböschung infolge Grund- und Böschungsbruch sowie auf das Abgleiten gesamter Deichquerschnitte zurückzuführen (KOPPE 1999). Begründet ist dies einerseits im mangelhaften Aufbau der z.T. sehr alten Flussdeiche und andererseits in den langen Verweilzeiten hoher Wasserstände, wobei die Maximalwasserstände die Kronenlage der Deiche nicht überstiegen. Im Falle des Oderhochwassers waren insbesondere die Untergrundverhältnisse von Bedeutung, da unterhalb der Deichkörper anstehende Auelehmschichten, die auf vor einigen hundert Jahren die heutige Deichlinie kreuzende Flussläufe zurückzuführen sind, als nahezu unkontrollierbare Gleitflächen fungierten.

Der Schadensfall Überströmung und Wellenüberlauf nimmt grundsätzlich bei kurzen Verweilzeiten sehr hoher Wasserstände einen prozentual höheren Stellenwert ein als bei langen Verweilzeiten hoher Wasserstände. Wegen der möglichen langen Verweilzeiten hoher Wasserstände an der deutschen Ostseeküste, können hier die Versagensfälle Böschungsbruch, Grundbruch und Abgleiten des Deichkörpers nicht vernachlässigt werden.

Bei in der Literatur dargestellten probabilistischen oder quasi-probabilistischen Bemessungen von Deichsystemen wird i.d.R. lediglich die Deichhöhe bemessen und hierbei wird nur der Versagensfall Überströmung ohne Einbeziehung eines zulässigen Wellenüberlaufs betrachtet (MAI, VON LIEBERMANN 2000; MAI, ZIMMERMANN 2000; PLATE 1998). Auch wenn der Versagensfall Überströmung unter bestimmten Umständen der am häufigsten auftretende Versagensfall ist, ist eine Beschränkung auf diesen Versagensfall in erster Linie auf Vorteile bei der Berechnung zurückzuführen. VRIJLING (1990) stellt Versagenswahrscheinlichkeiten eines Deichabschnitts nicht nur infolge Überlauf, sondern auch infolge der Ausbildung eines Gleitkreises, Innerer Erosion und Mikroinstabilitäten dar. Diese sind, mit Ausnahme der Extremwertverteilung der anzusetzenden Hochwasserstände nach GUMBEL, mit normalverteilten Eingangsdaten berechnet worden. Zur Güte der Eingangsdaten sind keine Angaben vorhanden.

Die probabilistische Bemessung von Deichen an der deutschen Ostseeküste kann wegen der bestehenden Mängel in den Eingangsdaten der Bemessungsverfahren bisher noch nicht sinnvoll in der Praxis angewendet werden. Wird die Verbesserung der Datengrundlage erzielt, kann die probabilistische Bemessung jedoch ein gutes Werkzeug zur Bemessung von Hochwasserschutzanlagen darstellen.

6.2.1.2 Versagenswahrscheinlichkeiten von Schutzsystemen

Die Berechnung von Versagenswahrscheinlichkeiten zusammengesetzter und redundanter Systeme ist eine Voraussetzung für die probabilistische Bemessung. Die Berechnung von Versagenswahrscheinlichkeiten kann jedoch auch bei der deterministischen Bemessung zur Optimierung eines Schutzsystems sinnvoll sein. Hierbei können auch Berechnungen mit in erster Näherung abgeschätzten Einzelversagenswahrscheinlichkeiten zum Vergleich unterschiedlicher Lösungsvarianten herangezogen werden.

Besteht ein Schutzsystem aus zwei Komponenten A und B, die unabhängig voneinander versagen können und deren Versagen jeweils zum Versagen des Gesamtsystems führen, berechnet sich die Gesamtversagenswahrscheinlichkeit $P\{A,B\}$ aus der Summe der Einzelversagenswahrscheinlichkeiten:

$$P\{A,B\} = P\{A\} + P\{B\} \quad \text{Gl. 3}$$

Besteht ein Schutzsystem aus zwei Komponenten A und B, die unabhängig voneinander versagen können und bei denen nur deren gemeinsames Versagen zum Versagen des Gesamtsystems führt, berechnet sich die Gesamtversagenswahrscheinlichkeit $P\{A,B\}$ aus dem Produkt der Einzelversagenswahrscheinlichkeiten:

$$P\{A,B\} = P\{A\} * P\{B\} \quad \text{Gl. 4}$$

Die Berechnung der Versagenswahrscheinlichkeit redundant ausgelegter Systeme erfolgt unter Verwendung der Binominalverteilung.

Versagen tritt ein, wenn $y > m - k$:

$$P\{y > m - k; m\} = 1 - \sum_{y=0}^{m-k} P(y; m) \quad \text{Gl. 5}$$

$$P(y; m) = \binom{m}{y} p^y (1-p)^{(m-y)} \quad \text{Gl. 6}$$

Mit: $\binom{m}{k} = \frac{m!}{k! * (m-k)!}$

$P\{y > m - k; m\}$: Versagenswahrscheinlichkeit des Gesamtsystems

p: Versagenswahrscheinlichkeit der einzelnen Teilsysteme

k: Anzahl der zur Funktion notwendigen Teilsysteme

m: Anzahl der vorhandenen Teilsysteme

y: Anzahl der funktionsuntüchtigen Teilsysteme

6.2.1.3 Zuverlässigkeit von Hochwasserschutzanlagen

Die Zuverlässigkeit $RE(T_{LD})$ ist die Wahrscheinlichkeit für das Nichtversagen des Bauwerks in der Bemessungslebensdauer T_{LD} (PLATE 1993). Ist die Belastung eines Bauwerks als stochastische Größe zu beschreiben, so ist auch die Zeitdauer T_L bis zum Versagen eine Zufallsvariable.

Die Zuverlässigkeit $RE(n)$ eines Bauwerks innerhalb einer bestimmten Zeitspanne n bei konstanter Versagenswahrscheinlichkeit P_V über die betrachtete Zeitspanne kann für kleine Werte von P_V berechnet werden nach (PLATE 1993):

$$RE(t) = e^{-P_V * t} \quad \text{Gl. 7}$$

mit: $RE(t)$: Zuverlässigkeit während der Zeitspanne t Jahre
 P_V : Versagenswahrscheinlichkeit (Bezugshorizont 1 Jahr)
 t : angesetzte Zeitdauer in Jahren

Berechnungsbeispiel:

Eine Hochwasserschutzwand ist gegen einen 200-jährlichen Hochwasserstand (BHW_{200}) bemessen worden. Die geplante Standzeit der Hochwasserschutzwand beträgt 50 a. Wie groß ist die Wahrscheinlichkeit, dass der BHW innerhalb der geplanten Standzeit des Bauwerks eintritt?

$$RE(50) = e^{-0,005 * 50} = 0,779$$

$$P_{VL} = 1 - RE(50) = 0,221$$

Die Wahrscheinlichkeit P_{VL} , dass der BHW_{200} während der geplanten Standzeit von 50 Jahren auftritt, beträgt 0,221.

Die Zuverlässigkeit $RE(t)$ kann auch als Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines bestimmten Ereignisses mit definierter Eintrittswahrscheinlichkeit innerhalb eines bestimmten Zeitraums interpretiert werden, wie in Abb. 24 dargestellt. Hiernach beträgt die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines Hochwasserereignisses mit einer Jährlichkeit von 100 Jahren innerhalb eines Zeitraums von 100 Jahren $RE(t) = 0,63$.

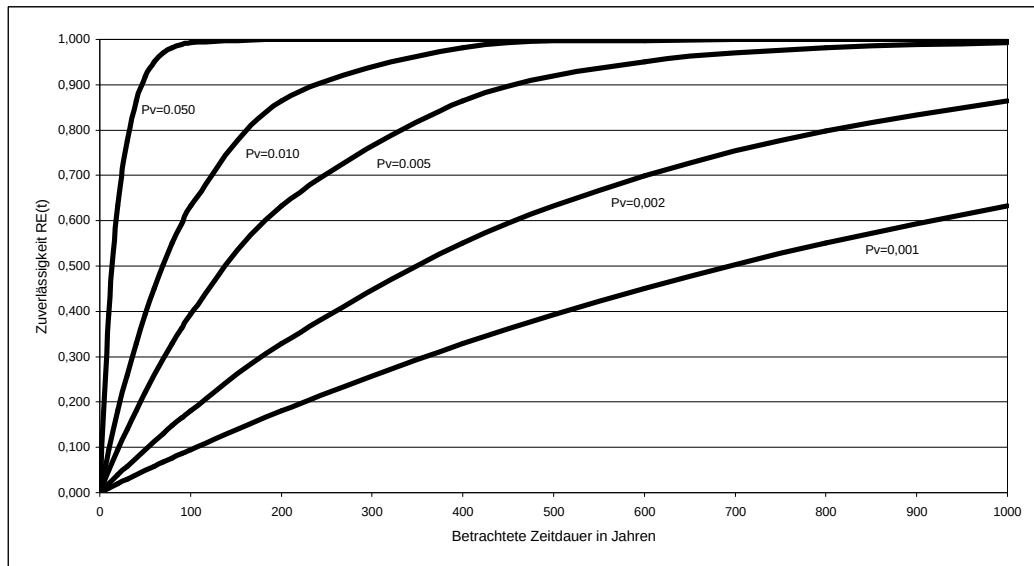


Abb. 24: Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Ereignisses innerhalb eines bestimmten Zeitraums (Zuverlässigkeit $RE(t)$) in Abhängigkeit von der Eintrittswahrscheinlichkeit P_v

Die Zuverlässigkeit $RE(t)$ eines Bauwerks innerhalb einer bestimmten Zeitspanne n bei ansteigender Versagenswahrscheinlichkeit P_v über die betrachtete Zeitspanne kann für eine potentielle Zunahme der Versagenswahrscheinlichkeit und für kleine Werte von P_v berechnet werden nach (PLATE 1993):

$$RE(t) = \exp \left\{ -\frac{1}{m+1} P_{v0} * t^{m+1} \right\} \quad \text{für } t > 1 \quad \text{Gl. 8}$$

mit: $P_v(t) = P_{v0} * t^m$: Zeitabhängige Versagensfunktion

Berechnungsbeispiel:

Eine Hochwasserschutzwand ist gegen einen 200-jährlichen Hochwasserstand (BHW_{200}) bemessen worden. Die geplante Standzeit der Hochwasserschutzwand beträgt 50 a. Die infolge Korrosion zeitabhängige Versagensfunktion der Hochwasserschutzwand basiert auf den Werten $P_{v0} = 0,005$ und $m = 0,2$. Wie groß ist die Zuverlässigkeit $RE(50)$ der Hochwasserschutzwand innerhalb der geplanten Standzeit?

$$RE(50) = \exp \left\{ -\frac{1}{0,2+1} 0,005 * 50^{0,2+1} \right\} = 0,634$$

Kann die Korrosion des Bauwerks verhindert werden, könnte die Zuverlässigkeit bei konstanter jährlicher Versagenswahrscheinlichkeit von

$P_{V0} = 0,005$ in der geplanten Standzeit von 50 a auf $RE(50) = 0,779$ erhöht werden.

6.2.1.4 Extremwertstatistische Bewertung von Sturmflutwasserständen

Sturmfluten an der Ostsee entstehen durch Überlagerung verschiedener meteorologischer, hydrologischer und in geringem Maße astronomischer Einflüsse, vgl. Kap. 2.3. Hiermit können unterschiedliche statistisch unabhängige Komponenten der Wasserstandserhöhung entsprechend der zugrundeliegenden meteorologischen, hydrologischen und astronomischen Einflüsse definiert werden, die jedoch quantitativ mit den bisher zur Verfügung stehenden Berechnungsmodellen nicht voneinander zu trennen sind. Berechnungen der beiden wichtigsten Einflussfaktoren, Windstau und Eigenschwingungen, können aufgrund der stark gegliederten Tiefenstruktur und Beckenform der Ostsee bedeutende Fehlergrößen aufweisen. In die statistische Analyse von Hochwasserständen gehen somit Summenwerte der Einzeleinflüsse ein, wodurch zwangsläufig verschiedene Grundgesamtheiten von Eingangsdaten kombiniert werden. Dies ist in statistischen Auswertungen grundsätzlich problematisch, und die so erzielten Ergebnisse können stark fehlerbehaftet sein.

Die Güte der statistischen Auswertung ist zudem abhängig von der Güte der Daten sowie von den angewendeten Anpassungs- und Bewertungskriterien. Die Qualität der Stichprobendaten ist abhängig vom Messverfahren und den hiermit einhergehenden Messfehlern sowie von der Länge und Homogenität (z.B. Berücksichtigung von Trends) der Datenreihe. Die ältesten kontinuierlichen Wasserstandsmessungen liegen an der deutschen Ostseeküste am Pegel Travemünde seit 1826 vor (JENSEN, TÖPPE 1986).

Die statistische Analyse von Daten kann immer nur als Hilfsmittel für die Entscheidungsfindung bei praktischen Fragestellungen beispielsweise hinsichtlich der Festlegung von Bemessungshochwasserständen dienen. Bei der Definition von Eintrittswahrscheinlichkeiten von Sturmflutwasserständen an der deutschen Ostseeküste ist wegen der genannten Mängel der Stichprobe besondere Vorsicht geboten.

6.2.1.4.1 Methodische Grundlagen

Bei der extremwertstatistischen Auswertung von Hochwasserscheitelwerten wird nur eine Auswahl aus den zur Verfügung stehenden Wasserstandsdaten am betrachteten Pegel verwendet, da ansonsten Daten aus der Grundgesamtheit der extremen Ereignisse mit Daten aus anderen Grundgesamtheiten vermischt werden würden

(FRÖHLE 2000). Hierbei bestehen grundsätzlich zwei Auswahlkriterien:

- Einbeziehung der jeweils in einem bestimmten Zeitraum, z.B. einem Jahr, aufgetretenen höchsten Wasserstände – jährliche Maximalwerte
- Einbeziehung aller Wasserstände, die einen bestimmten Schwellenwert überschreiten, z.B. alle Wasserstände größer 1 m NN – Schwellenwertverfahren

Es muss darauf geachtet werden, dass jedes Ereignis nur einmal berücksichtigt wird. Bei einem Hochwasserereignis mit zwei ausgebildeten Scheitelwasserständen darf nur der höchste Scheitelwasserstand in die Rechnung eingehen.

Oftmals ist es infolge von nur zum Teil in digitalisierter Form vorliegenden Wasserstandsganglinien einfacher, die jährlichen Maximalwasserstände in die Berechnung einzubeziehen, da diese seit etwa 1900 den amtlichen Jahrbüchern wie Gewässerkundliches Jahrbuch und deren Vorläufer zu entnehmen sind. Für die Anwendung des Schwellenwertverfahrens müssen die Extremwasserstände, sofern die Wasserstandsdaten nur in analoger Form vorliegen, aus der gesamten Datenreihe extrahiert werden oder es muss zunächst eine Digitalisierung der Datenreihe vorgenommen werden.

Die berechnete Eintrittswahrscheinlichkeit P_V eines definierten Wasserstands kann in eine Jährlichkeit J (der im Mittel zu erwartende Wiederholungszeitraum) des Wasserstands nach folgendem Ansatz umgerechnet werden:

$$J = \frac{B}{n * P_V} \quad \text{Gl. 9}$$

Mit:

J:	Jährlichkeit [a]
B:	Beobachtungszeitraum [a]
n:	Anzahl der Werte der Stichprobe [-]
P_V :	Eintrittswahrscheinlichkeit des Wasserstands [-]

Wird die Eintrittswahrscheinlichkeit anhand einer Stichprobe von Jahresmaxima berechnet, ist der Wert des Beobachtungszeitraums B identisch mit der Anzahl der Werte der Stichprobe n . Somit stellt die Jährlichkeit J den Kehrwert der Eintrittswahrscheinlichkeit dar.

Zur extremwertstatistischen Analyse von Wasserständen werden möglichst lange, geschlossene Datenreihen benötigt (vgl. Kap. 3.1 und Kap. 3.2 bezüglich der Schwierigkeiten bei Wasserstandsmessungen). Die über die Zeit aufgetretenen Sturmflutwasserstandsscheitelwerte müssen hinsichtlich der Trends der Mittelwasserlage normiert werden. Dies geschieht durch die Beaufschlagung mit dem für den

betrachteten Ort berechneten säkularen Meeresspiegelanstieg bezogen auf einen festgesetzten Zeitpunkt.

Die extremwertstatistische Auswertung erfolgt auf der Grundlage von mathematischen Funktionen, den sogenannten Verteilungsfunktionen. Die im folgenden verwendeten Verteilungsfunktionen werden vom Deutschen Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. (DVWK 1999) zur statistischen Beschreibung von Hochwasserdaten empfohlen. Die Verteilungsfunktionen sind in Tab. 20 zusammengestellt:

- Allgemeine Extremwertverteilung (AE)
- Gumbel-Verteilung (E1)
- Pearson-III-Verteilung (P3)
- Weibull-Verteilung mit 3 Parametern (WB3)
- Log-Normal-Verteilung mit 3 Parametern (LN3)
- Log-Pearson-III-Verteilung (LP3)

Die in Tab. 20 aufgeführten Verteilungsfunktionen weisen bis zu drei Parameter auf, die wie folgt bezeichnet werden können (KLUGE 1996):

- a: Formparameter
- c: Lageparameter
- d: Maßstabsparameter

Zur Anpassung der Verteilung an die Daten der Stichprobe müssen diese Parameter abgeschätzt werden. Hierzu stehen verschiedene Methoden der Parameterschätzung zur Verfügung, wie die Momentenmethode, die Wahrscheinlichkeitsgewichtete Momentenmethode und die Maximum-Likelihood-Methode (DVWK 1999). Im folgenden wird die Momentenmethode zur Parameterschätzung verwendet.

Nach Anpassung der Parameter der Verteilungsfunktion an die Stichprobendaten muss bewertet werden, ob die Verteilungsfunktion tatsächlich die Stichprobendaten und damit die Grundgesamtheit der extremen Hochwasserstände am betrachteten Pegel widerspiegelt. In der Regel werden hierzu die Anpassungen verschiedener Verteilungsfunktionen nach verschiedenen Verfahren miteinander verglichen. Nach FRÖHLE (2000) können grundsätzlich visuelle Methoden, Korrelationsmethoden sowie statistische Tests angewendet werden.

Bei den visuellen Methoden werden die Stichprobendaten gemeinsam mit einer oder mit mehreren Verteilungsfunktionen auf Wahrscheinlichkeitspapier mit logarithmischer Einteilung der Abzisse eingetragen und optisch miteinander verglichen. Hierzu müssen die ausgewählten Daten zunächst, mit dem höchsten Wasserstand begin-

nend, der Größe nach geordnet werden. Ihnen wird jeweils über einen Index i ihr Rang in der Stichprobe zugeordnet. Darauf folgend wird den Daten eine empirische Unterschreitungswahrscheinlichkeit oder "Plotting Position" zugeordnet. Es sind unterschiedliche Formeln gebräuchlich, die sich einerseits auf bestimmte Verteilungsfunktionen beziehen oder andererseits bei unterschiedlichen Verteilungsfunktionen angewandt werden können wie die Formel von HAZEN (DVWK 1999; FRÖHLE 2000).

	Verteilungsfunktion	Dichtefunktion
AE	$F(x) = \exp \left[- \left(1 - a \frac{x-c}{d} \right)^{\frac{1}{a}} \right]$	$f(x) = \frac{1}{d} \left(1 - a \frac{x-c}{d} \right)^{\frac{1}{a}-1} * \exp \left[- \left(1 - a \frac{x-c}{d} \right)^{\frac{1}{a}} \right]$
E1	$F(x) = \exp \left[- \exp \left(- \frac{x-c}{d} \right) \right]$	$f(x) = \frac{1}{d} \exp \left(- \frac{x-c}{d} \right) * \exp \left[- \exp \left(- \frac{x-c}{d} \right) \right]$
P3	$F(x) = \frac{\Gamma \left(a \frac{x-c}{d} \right)}{\Gamma(a)}$	$f(x) = \frac{\left(\frac{x-c}{d} \right)^{a-1} * \exp \left(- \frac{x-c}{d} \right)}{ d * \Gamma(a)}$
WB3	$F(x) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{x-c}{d} \right)^a \right]$	$f(x) = \frac{a}{d} \left(\frac{x-c}{d} \right)^{a-1} * \exp \left[- \left(\frac{x-c}{d} \right)^a \right]$
LN3	$F(x) = \Phi \left(\frac{\ln(x-c)-e}{d} \right)$ Φ : normierte Normalverteilung $N(0,1)$	$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} (x-c) d} * \exp \left[- \frac{1}{2} \left(\frac{\ln(x-c)-e}{d} \right)^2 \right]$
LP3	$F(x) = \int_{-\infty}^x f(x') dx'$	$f(x) = \frac{\left(\frac{\ln x - c}{d} \right)^{a-1} * \exp \left(- \frac{\ln x - c}{d} \right)}{x d * \Gamma(a)}$

Tab. 20: Ausgewählte Verteilungsfunktionen und deren Dichtefunktionen zur extremwertstatistischen Beurteilung von Hochwasserstandsdaten (DVWK 1999)

Korrelationsmethoden zur Überprüfung der Anpassungsgüte der gewählten Verteilungsfunktion an die Daten sind nach SACHS (1984) nur für normalverteilte Daten sinnvoll und somit in der Extremwertstatistik i.d.R. nicht anwendbar. Weit verbreitete statistische Testverfahren sind der χ^2 -Test und der KOLMOGOROFF-SMIRNOW-Test (K-S-Test), mit denen eine mögliche Unvereinbarkeit der Stichprobe mit der

angenommenen Verteilungsfunktion statistisch abgeschätzt werden kann. Die Tests können unabhängig von der zu beurteilenden Verteilung angewendet werden, sie verlieren jedoch an Aussagekraft, wenn zuvor die Parameter der zu prüfenden Verteilungsfunktion, wie bei der Analyse von hydrologischen Daten üblich, aus der zu beurteilenden Stichprobe abgeschätzt werden (DVWK 1999). Im allgemeinen werden deshalb nur selten Verteilungen durch Anpassungstests abgelehnt, sie sollten jedoch nach DVWK (1999) trotzdem durchgeführt werden, da ihre Prüfgrößen einen Hinweis auf die Anpassungsgüte verschiedener Verteilungen auf die Stichprobe liefern. Zusätzlich zum Anpassungstest sollte insbesondere im Bereich der extremen Hochwasserstände eine optische Prüfung der Anpassung durchgeführt werden.

Wenn eine Verteilung F entsprechend der Testverfahren eine gute Schätzung der Stichprobendaten Hochwasserstände liefert, kann mit hoher Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass die Stichprobe und hiermit auch die Grundgesamtheit der Hochwasserstände am betrachteten Pegel durch die Verteilung beschrieben werden kann. Ein diesbezüglicher Irrtum kann jedoch nicht ausgeschlossen werden.

Bei der statistischen Bewertung hydrologischer Daten wird i.d.R. davon ausgegangen, dass eine Extrapolation der Daten in etwa auf den dreifachen Zeitraum der vorliegenden Datenreihe zulässig ist. Hiernach kann anhand der vorhandenen Daten am Pegel Travemünde ein Scheitelwasserstand einer Sturmflut mit einer Wiederkehrperiode von rund 500 Jahren sinnvoll abgeschätzt werden. Die Abschätzung eines 1.000-jährigen Hochwasserscheitelwertes ist demnach jedoch nur mit entsprechend großen Unsicherheiten möglich. Untersuchungen von FRÖHLE (2000) zur Extrapolation von Wellenhöhen zeigen, dass bei den verwendeten Seegangsdaten eine Datenbasis von rund 20 Jahren notwendig ist, um verlässliche Aussagen über zu erwartende extreme Seegangseignisse mit einer Jährlichkeit von 20 oder auch 100 Jahren erzielen zu können. Es ist demnach davon auszugehen, dass eine Mindestdatenbasis vorhanden sein muss, um sinnvolle Aussagen über Extremereignisse treffen zu können. Ist dies der Fall, kann jedoch eine Extrapolation auf einen längeren Zeitraum als den dreifachen Messzeitraum zugelassen werden. Unter Berücksichtigung dieser Ergebnisse bezüglich Seegangsdaten werden im folgenden auch Scheitelwasserstände von Sturmfluten mit einer Wiederkehrperiode von 1.000 Jahren angegeben.

6.2.1.4.2 Extremwertstatistische Auswertung der Sturmflutwasserstände am Pegel Travemünde

Die am Pegel Travemünde gemessenen Extremwasserstände sollen im folgenden exemplarisch extremwertstatistisch untersucht werden. Die Zeitreihe ist einerseits die längste an der deutschen Ostseeküste vorhandene und andererseits wurden die Daten von JENSEN, TÖPPE (1986) insbesondere hinsichtlich der Normierung auf einen einheitlichen Bezugshorizont eingehend untersucht.

Die Wasserstandsmessungen am Pegel Travemünde wurden zunächst nur zur Feststellung der Wassertiefe im Eingangsbereich des Lübecker Hafens eingesetzt, und der Pegelnullpunkt wurde somit entsprechend der morphologischen Umlagerungen in der Fahrrinne und den seeverkehrsbedingten Fahrwasservertiefungen in der Zeit von 1826 bis 1855 häufig und zwar bis zu zweimal monatlich verstellt. Die Wasserstandsangaben erfolgten bis Ende 1871 in Zoll und Fuß und wurden seitdem in Meter angegeben. Bis zum Jahr 1882 sind tägliche Terminwerte in Form von 12:00 Uhr-Ablesungen vorgenommen worden. Stündliche Werte liegen seit 1883 von 4:00 bis 20:00 Uhr und seit 1886 wurden am Pegel Travemünde Schreibpegel zur kontinuierlichen Wasserstandsmessung eingesetzt. (JENSEN, TÖPPE 1986)

Bei der Bewertung der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, dass die Wasserstandsdaten Fehler in Dezimeterhöhe aufweisen können (vgl. Kap. 3.2). Die Genauigkeit der erfassten Daten kann allerdings als ausreichend für eine statistische Analyse angesehen werden. Eine schwerwiegendere Qualitätseinschränkung resultiert aus der Zusammenfassung physikalisch unterschiedlich begründeter Wasserspiegelerhöhung zu einer Einzelgröße (vgl. Kap. 6.2.1.4.).

Eine extremwertstatistische Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeiten von Jahreshöchstwasserständen am Pegel Travemünde wurde bereits von JENSEN, TÖPPE (1990) durchgeführt. Hiernach sind bei der Anpassung von 15 verschiedenen Verteilungsfunktionen an die vorhandenen Daten keine signifikanten Unterschiede in der Anpassungsgüte von 14 dieser Verteilungen festzustellen, wobei die Unterschiede in den ermittelten Eintrittswahrscheinlichkeiten von Wasserständen in Abhängigkeit von der betrachteten Verteilungsfunktion groß sind. Es kann keine der Verteilungen besonders empfohlen oder abgelehnt werden. Die Anpassungsgüte wurde hierbei über die mittlere Abweichung zwischen dem Funktionswert der Verteilung und dem Messwert definiert.

Die Bewertung anhand des mittleren Fehlers stellt eine anschauliche Methode dar, ist nach SACHS (1997) jedoch als statistisches Bewertungskriterium nur für normal-

verteilte Variablen zulässig und sollte somit nicht bei der Betrachtung von nicht-normalverteilten Daten herangezogen werden. Aus diesem Grund wird im folgenden die extremwertstatistische Analyse der Jahreshöchstwasserstände am Pegel Travemünde auch unter Verwendung von statistischen Testverfahren sowie der visuellen Gegenüberstellung der gemessenen und der berechneten Funktionswerte der Verteilungen durchgeführt.

Die verwendete Datenreihe der jährlichen Höchstwasserstände am Pegel Travemünde ist im Anhang dokumentiert. Die Werte sind der Untersuchung von JENSEN, TÖPPE (1986) und den Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbüchern (DGJ 1985 - 1995) zur Erweiterung der Datenreihe von 1985 auf 1995 entnommen. Weiterhin wurden die Höchstwasserstände der hydrologischen Jahre 1996 bis 2000 vom Wasser- und Schifffahrtsamt Lübeck zur Verfügung gestellt. Die Normierung der Daten auf das Jahr 2000 erfolgt entsprechend JENSEN, TÖPPE (1986) unter Berücksichtigung eines säkularen Meeresspiegelanstiegs von 15 cm pro Jahrhundert.

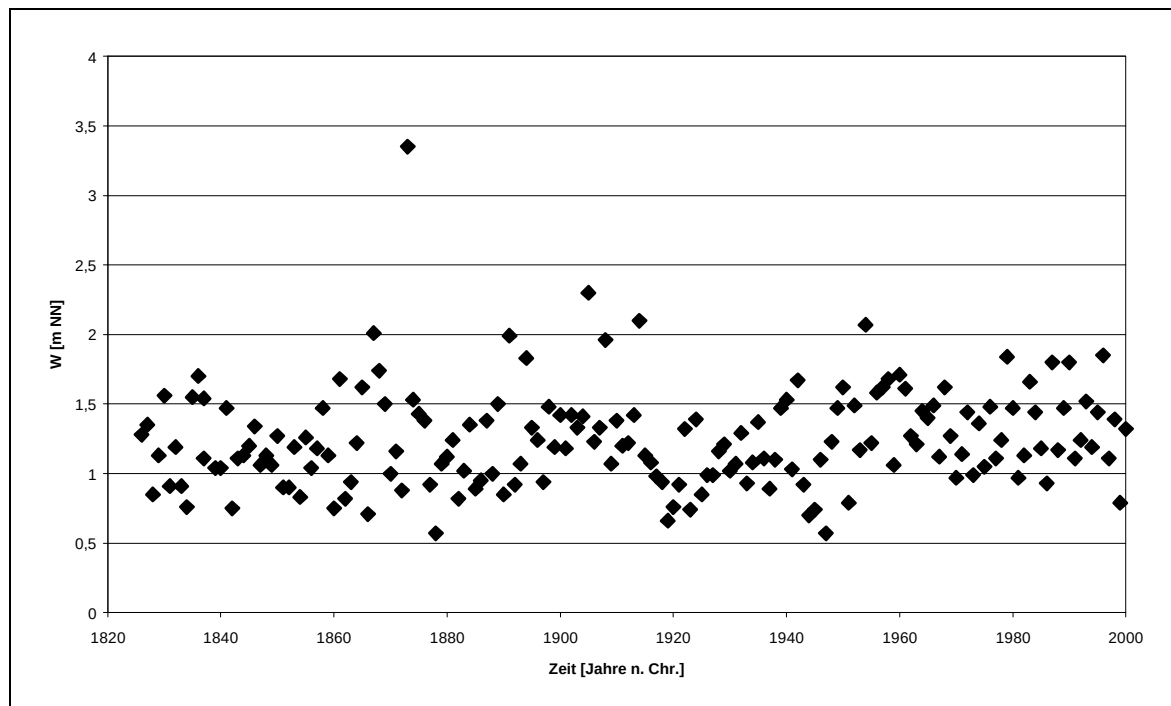


Abb. 25: Normierte Jahreshöchstwasserstände am Pegel Travemünde des Zeitraums 1826 bis 2000 (Bezugsjahr 2000, säkularer Meeresspiegelanstieg: 15 cm/100 a (Datenquellen JENSEN, TÖPPE 1986, DGJ 1985 - 1995, WSA Lübeck)

Innerhalb der betrachteten Zeitreihe stellt der Sturmflutwasserstand des hydrologischen Jahres 1873 (November 1872) ein singuläres Ereignis dar (Abb. 25). Aus diesem Grund sollte er in der statistischen Auswertung als "Ausreißer" behandelt wer-

den und somit keine Berücksichtigung finden. Im folgenden wird einerseits die auf das Jahr 2000 normierte Datenreihe der Jahreshöchstwasserstände von 1826 bis 1995 am Pegel Travemünde inklusive und andererseits exklusive des Maximalwasserstands von 1872 (hydrologisches Jahr 1873) analysiert. Werden auch historische Sturmflutwasserstände berücksichtigt, kann die Sturmflut von 1872 jedoch nicht als singuläres Ereignis betrachtet werden (vgl. Kap. 3.2). Innerhalb der letzten 1.000 Jahre sind nach SCHUMACHER (2000) 7 Sturmfluten an der deutschen Ostseeküste mit vergleichbaren Scheitelwasserständen aufgetreten. In erster Näherung kann man somit von einer Jährlichkeit des Sturmflutwasserstandes von 1872 von etwa 150 Jahren ausgehen.

Die sechs betrachteten Verteilungsfunktionen werden nach dem χ^2 -Test sowie dem K-S-Test unter Verwendung beider Datenreihen (mit und ohne Extremereignis von 1872) angenommen (Tab. 21). Wird das Extremereignis des Jahres 1872 in der Auswertung nicht berücksichtigt wird insgesamt eine bessere Anpassung an die Messwerte erzielt. Bei Berücksichtigung des Extremereignisses vom November 1872 liefern alle außer der Gumbel-Verteilung (E1) sehr gute Anpassungen. Eine Entscheidung hinsichtlich einer Verteilungsfunktion, die die Messwerte eindeutig am besten beschreibt, kann anhand der statistischen Testverfahren nicht getroffen werden.

	Zeitraum 1826-2000 inklusive 1872			Zeitraum 1826-2000 exklusive 1872		
	χ^2 -Test	K-S-Test	mittl. Abweichung	χ^2 -Test	K-S-Test	mittl. Abweichung
	RW / GW	RW / GW		RW / GW	RW / GW	
AE	6,5 / 9,5	0,055 / 0,092	4,09 %	1,5 / 9,5	0,032 / 0,092	1,53 %
E1	2,6 / 11,1	0,041 / 0,092	3,15 %	8,7 / 11,1	0,061 / 0,092	3,94 %
P3	4,6 / 9,5	0,070 / 0,092	6,28 %	1,4 / 9,5	0,033 / 0,092	1,51 %
WB3	5,5 / 9,5	0,083 / 0,092	7,36 %	1,1 / 9,5	0,029 / 0,092	2,37 %
LN3	6,6 / 9,5	0,056 / 0,092	4,62 %	1,5 / 9,5	0,034 / 0,092	1,49 %
LP3	2,3 / 9,5	0,033 / 0,092	2,90 %	1,4 / 9,5	0,033 / 0,092	1,56 %

Tab. 21: Güte der Anpassung verschiedener Verteilungsfunktionen an die gemessenen Jahreshöchstwasserstände am Pegel Travemünde mit und ohne November 1872 entsprechend statistischer Tests (RW = Rechenwert; GW = Grenzwert)

In Abb. 26 und Abb. 27 sind die Auftrittswahrscheinlichkeiten bzw. Wiederkehrperioden von Hochwasserständen am Pegel Travemünde entsprechend unterschiedlicher Verteilungsfunktionen unter Verwendung der Jahreshöchstwasserstände im Zeitraum 1826 bis 2000 inklusive bzw. exklusive des Extremereignisses des Jahres 1872 dargestellt. In Abb. 26 ist ersichtlich, dass keine der sechs Verteilungsfunktionen

nen annähernd das Extremhochwasser des Jahres 1872 zu beschreiben vermag. Insgesamt verlaufen die Verteilungen jedoch bei Berücksichtigung des Hochwassers 1872 oberhalb der sonstigen sehr schweren Hochwasserstände, die im betrachteten Zeitraum erreicht wurden. Wird der Extremhochwasserstand von 1872 bei der Anpassung der Verteilungen an die Daten nicht berücksichtigt, werden die weiteren sehr schweren Sturmflutwasserstände besser als im vorherigen Fall durch die Verteilungen beschrieben (Abb. 27). Die Gumbel-Verteilung (E) wird nur sehr gering durch den Extremhochwasserstand von 1872 beeinträchtigt. Die Verteilung hat mit und ohne Betrachtung des Extremhochwasserstandes von 1872 in etwa den gleichen Verlauf.

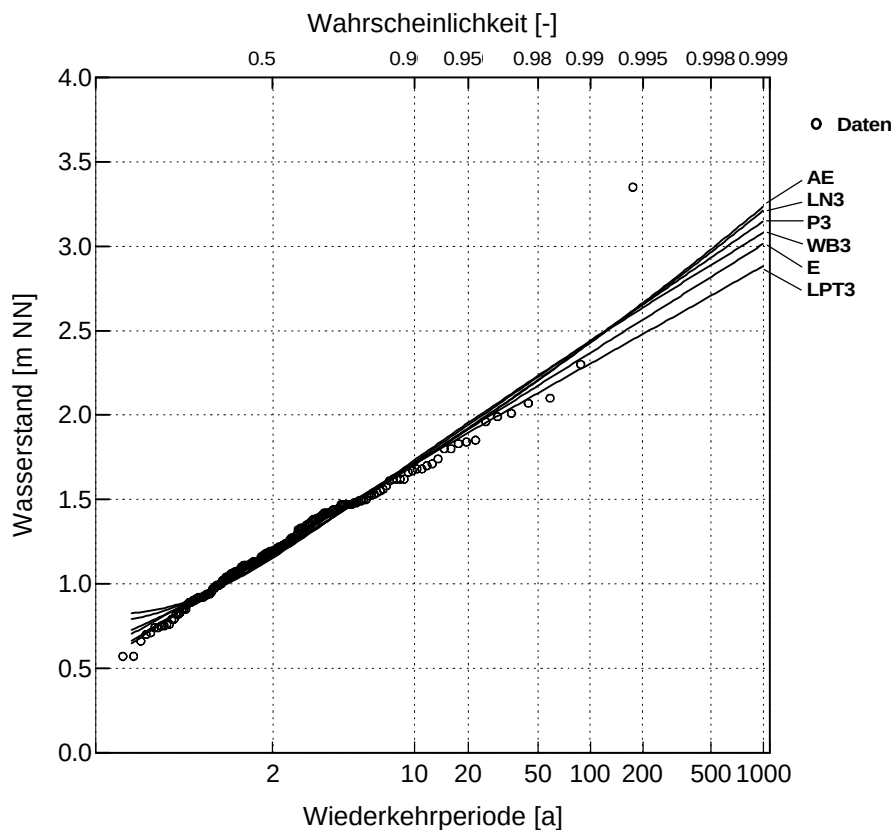


Abb. 26: Unterschreitungswahrscheinlichkeit bzw. Wiederkehrperiode von Hochwasserständen am Pegel Travemünde entsprechend verschiedener Verteilungsfunktionen unter Verwendung aller Jahreshöchstwasserstände im Zeitraum 1826 bis 2000

Die Scheitelwasserstände definierter Wiederkehrperioden weisen Unterschiede auf, je nachdem ob in der Berechnung das Extremereignis von 1872 berücksichtigt wird oder nicht (Tab. 22). Die geringste Differenz der Scheitelwasserstände mit und ohne Berücksichtigung des Ereignisses des Jahres 1872 bei Wiederkehrperioden von 1.000 Jahren beträgt 19 cm bei der Gumbel-Verteilung (E1) und die größte Differenz

72 cm bei der Log-Normal-Verteilung (LN3). Die berechneten Scheitelwasserstände definierter Wiederkehrintervalle der einzelnen Verteilungsfunktionen weisen vergleichsweise geringere Unterschiede auf. Die Scheitelwasserstände mit einer Wiederkehrperiode von 1.000 Jahren bei einer Berechnung inklusive 1872 liegen zwischen 2,88 m und 3,23 m NN und bei der Berechnung exklusive 1872 zwischen 2,41 und 2,82 m NN.

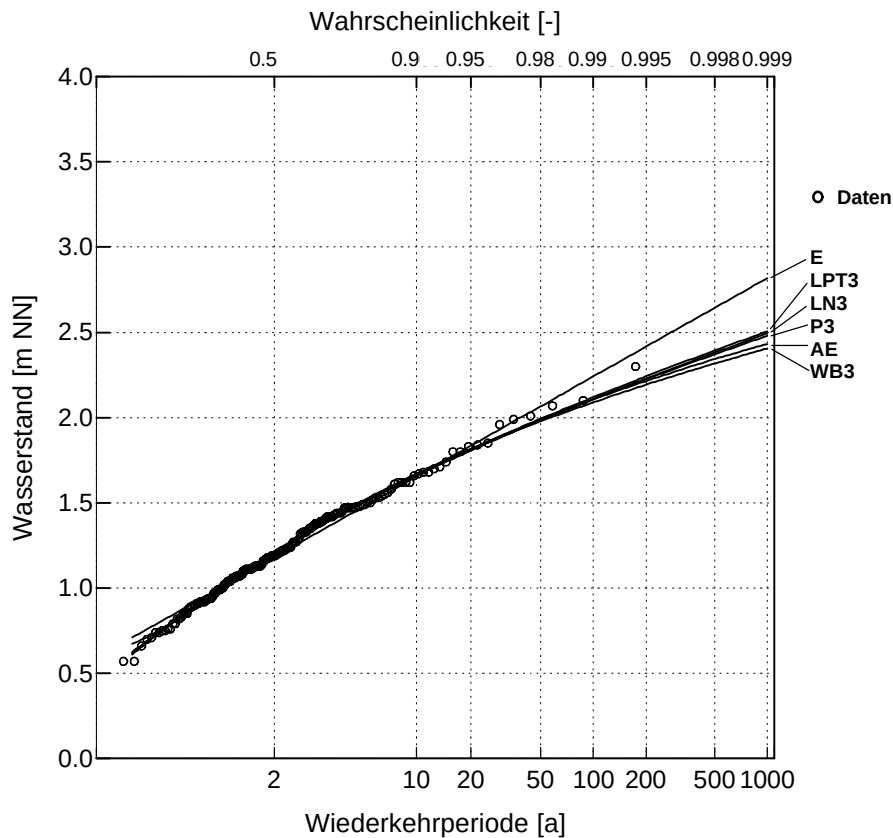


Abb. 27: Unterschreitungswahrscheinlichkeit bzw. Wiederkehrperiode von Hochwasserständen am Pegel Travemünde entsprechend verschiedener Verteilungsfunktionen unter Verwendung der Jahreshöchstwasserstände im Zeitraum 1826 bis 2000 ohne Berücksichtigung des Höchstwasserstandes vom November 1872

Entsprechend der extremwertstatistischen Auswertung weist das Hochwasserereignis vom November 1872 mit einem auf das Jahr 2000 normierten Scheitelwasserstand von 3,35 m NN entsprechend der an die Messwerte angepassten Verteilungsfunktionen eine längere Wiederkehrperiode als 1.000 Jahre auf.

Wären lediglich die Jahreshöchstwasserstände des Zeitraums 1826 bis 2000 am Pegel Travemünde bekannt und würden keinerlei Hinweise auf sehr schwere historische Sturmflutwasserstände vorliegen, wäre es sinnvoll, die Sturmflut des Jahres 1872 bei der Anpassung der Verteilungsfunktionen an die Daten nicht zu berücksichtigen.

sichtigen und zwar unter der Voraussetzung, dass es sich um eine Sturmflut mit einer sehr langen Wiederkehrperiode handelt, das nur zufällig innerhalb des betrachteten Messzeitraums von 175 Jahren aufgetreten ist. Anhand einer Extrapolation der extremwertstatistischen Auswertung könnte dann unter Berücksichtigung der vergleichsweise hohen Unsicherheiten bei der Berechnung sehr langer Wiederkehrperioden die Wiederkehrperiode des Sturmflutscheitelwertes von 1872 abgeschätzt werden.

		Wiederkehrperiode								
		2	5	10	25	50	100	200	500	1.000
AE	mit	1,18 m	1,49 m	1,70 m	1,99 m	2,20 m	2,43 m	2,66 m	2,98 m	3,23 m
AE	ohne	1,20 m	1,49 m	1,66 m	1,86 m	1,99 m	2,11 m	2,21 m	2,34 m	2,43 m
E1	mit	1,19 m	1,50 m	1,71 m	1,98 m	2,17 m	2,37 m	2,56 m	2,82 m	3,01 m
E1	ohne	1,18 m	1,47 m	1,65 m	1,89 m	2,07 m	2,24 m	2,42 m	2,65 m	2,82 m
P3	mit	1,16 m	1,49 m	1,72 m	2,01 m	2,23 m	2,44 m	2,65 m	2,93 m	3,15 m
P3	ohne	1,21 m	1,49 m	1,66 m	1,85 m	1,98 m	2,11 m	2,22 m	2,37 m	2,48 m
WB3	mit	1,16 m	1,50 m	1,73 m	2,02 m	2,23 m	2,44 m	2,63 m	2,89 m	3,08 m
WB3	ohne	1,20 m	1,50 m	1,67 m	1,86 m	1,98 m	2,09 m	2,19 m	2,32 m	2,41 m
LN3	mit	1,18 m	1,49 m	1,71 m	1,99 m	2,21 m	2,43 m	2,66 m	2,97 m	3,21 m
LN3	ohne	1,21 m	1,49 m	1,66 m	1,85 m	1,98 m	2,11 m	2,23 m	2,38 m	2,49 m
LP3	mit	1,20 m	1,51 m	1,71 m	1,95 m	2,13 m	2,30 m	2,48 m	2,71 m	2,88 m
LP3	ohne	1,20 m	1,49 m	1,66 m	1,86 m	1,99 m	2,12 m	2,24 m	2,39 m	2,51 m

Tab. 22: Hochwasserstände definierter Wiederkehrperioden in Abhängigkeit von der Verteilungsfunktion am Pegel Travemünde (mit: Daten im Zeitraum 1926 bis 2000; ohne: Daten im Zeitraum 1926 bis 2000 ohne Nov. 1872)

Berücksichtigt man jedoch die nach SCHUMACHER (2000) an der deutschen Ostseeküste innerhalb der letzten 1.000 Jahre aufgetretenen sieben Hochwasserereignisse mit Scheitelwasserständen in Höhe der Sturmflut von 1872, muss davon ausgegangen werden, dass die Messdaten sowie die historischen Hochwasserstandsdaten zwei unterschiedliche Datenkollektive beschreiben. Hiermit wäre eine Zuordnung der vorhandenen Daten zu den beiden Datenkollektiven und eine getrennte extremwertstatistische Auswertung erforderlich. Für Fragen des Hochwasserschutzes wären die mit dem Datenkollektiv der sehr hohen Scheitelwasserstände berechneten Wiederkehrperioden in erster Linie als relevant anzusehen. Mit der vorhandenen Datengrundlage ist diese Auswertung nicht durchzuführen. SCHUMACHER (2000) gibt lediglich maximale Wasserstände sowie durchschnittliche Aufstauhöhen

an der deutschen Ostseeküste ohne Bezug zu den betrachteten Pegeln an und die Anzahl der allein für den Pegel Travemünde überlieferten historischen Hochwasser (vgl. Kap. 3.2) reicht für eine extremwertstatistische Auswertung nicht aus.

Einer extremwertstatistischen Auswertung muss ein statischer Zustand zugrunde liegen. Ist dies nicht der Fall, müssen genormte Daten verwendet werden, die es erforderlich machen, u.U. vorhandene Trends berechnen zu können. Untersuchungen zu den historischen Mittelwasserständen an der deutschen Ostseeküste haben ergeben, dass der langfristige Meeresspiegelanstieg nicht kontinuierlich, sondern phasenhaft in Wellenbewegung erfolgt ist (vgl. Kap. 2.3.1.2). Nach KLUG (1980) lag der Meeresspiegel vor 1.000 Jahren an der südwestlichen Ostseeküste etwa 80 cm unterhalb des heutigen Niveaus, stieg dann aber bis vor 600 Jahren auf etwa 20 cm unterhalb des heutigen Meeresspiegels an. Innerhalb der letzten 600 Jahre schwankte der Meeresspiegel zwischen dem heutigen Mittelwasser und 20 cm darunter (Abb. 3). Zum Teil ist dieser Prozess auf isostatische Hebungen und Senkungen zurückzuführen. Es können aber auch besondere klimatische Verhältnisse die mittleren Wasserstände und insbesondere die Hochwasserstände infolge veränderter Sturmhäufigkeiten und –stärken beeinflusst haben. Eine Extrapolation der aus der Historie überlieferten Sturmflutwasserstände in die Zukunft ist somit nur unter Berücksichtigung der genannten methodischen Mängel und Unsicherheiten möglich.

Unter Einbeziehung der genannten Einschränkungen wird empfohlen, einem in der Größenordnung des Scheitelwasserstand von 1872 liegenden Wasserstand eine mittlere Wiederkehrperiode von 100 bis 200 Jahren zuzuordnen. Hiermit ist ein entsprechender Hochwasserscheitel an der deutschen Ostseeküste mit einer Wahrscheinlichkeit von rund 40 bis 60 % während einer Zeitspanne von 100 Jahren zu erwarten (vgl. Kap. 6.2.1.3).

6.2.1.4.3 Zusammenfassung

Zur Optimierung von Hochwasserschutzsystemen sollte eine Abschätzung der Versagenswahrscheinlichkeiten zusammengesetzter und redundanter Systeme unter Verwendung abgeschätzter Einzelversagenswahrscheinlichkeiten erfolgen. Eine grundsätzliche Bemessung von Hochwasserschutzanlagen nach probabilistischen Ansätzen ist jedoch wegen der mangelhaften Eingangsdaten bisher nicht sinnvoll.

Ebenso wird von einer Risikobemessung baulicher Hochwasserschutzanlagen abgeraten, da einerseits keine mit ausreichender Genauigkeit berechneten Versagenswahrscheinlichkeiten vorliegen und da andererseits eine strikte Durchführung einer Risikobemessung zu sehr unterschiedlichen Schutzgraden in verschiedenen Küsten-

regionen führen würde.

Entsprechend des heutigen Kenntnisstandes sollte weiterhin eine deterministische Bemessung unter der grundsätzlichen Verwendung eines Bemessungshochwasserstandes in der Größenordnung des Sturmflutwasserstandes von 1872 zuzüglich des säkularen Meeresspiegelanstiegs für den Hochwasserschutz 1. Ordnung gewählt werden. Allerdings ist eine größere Flexibilität in der Festlegung von Bemessungshochwasserständen und damit Schutzgraden unter Berücksichtigung eines vernünftigen Einsatzes der vorhandenen Finanzmittel anzustreben. Besonders schützenswerte Bereiche, insbesondere jene von denen bei Sturmflut Gefahren für die Umwelt ausgehen können, sollten u.U. einen erweiterten baulichen Hochwasserschutz erhalten. Für Küstengebiete mit geringer Baudichte und entsprechend geringer Wertekonzentration kann u.U. ein geringerer baulicher Schutzgrad zugelassen werden.

Die Festlegung eines geringeren oder eines erhöhten Schutzgrades im Vergleich zum üblichen Schutzgrad des baulichen Hochwasserschutzes 1. Ordnung sollte im Einzelfall unter Berücksichtigung der folgenden Gesichtspunkte erfolgen:

- Gefährdung von Menschenleben
- Gefährdung von Sachgütern
- Gefährdung von Kulturgütern
- Nachhaltige ökologische Schäden

6.2.1.5 Bemessungsseegang

Der bei der Bemessung von Hochwasserschutzbauwerken anzusetzende Seegang muss in Kombination mit den anzusetzenden Wasserständen betrachtet werden. Bei Eintritt des Bemessungshochwasserstandes muss nicht zwangsläufig die maximale Seegangsbelastung einer definierten Wiederkehrperiode am Bauwerk auftreten.

Stark erhöhte Wasserstände von über NN +1,50 m entstehen an der deutschen Ostseeküste beim Zusammenwirken des Rückschwingens von in der nördlichen Ostsee angestauten Wassermassen und Windstau infolge von Starkwinden aus nördlichen oder nordöstlichen Richtungen (vgl. Kap. 3.2). Befindet sich ein zu bemessendes Schutzbauwerk in einer vor Seegang aus nördlichen und nordöstlichen Richtungen abgeschirmten Lage, kann die Seegangsbelastung bei Eintritt extrem hoher Wasserstände als gering eingestuft werden. Je nach den örtlichen Gegebenheiten kann es zulässig sein, extreme Seegangsbelastungen nur in Kombination mit schweren, aber nicht sehr schweren Sturmfluten und entsprechenden Sturmflutwasserständen zur Bemessung heranzuziehen. Zur Festlegung der erforderlichen Bauwerkshöhe muss die sich aus unterschiedlichen Wasserstands-Seegangs-Kombinationen ergebende

maximale Auflaufhöhe ermittelt werden.

Die am Bauwerk wirkende Seegangsbelastung ist abhängig von der Wellenhöhe (und damit von der Windrichtung, Windstärke, Winddauer und Wassertiefe im Seegebiet sowie von flachwasser- und bauwerksbedingten Umformungen des Seegangs), vom Lastfall brechende, nichtbrechende oder reflektierende Welle (und damit von der Wassertiefe vor dem Bauwerk und der Bauwerksform) sowie vom Brechertyp Reflexionsbrecher, Sturzbrecher, Schwallbrecher (und damit von der Wellensteilheit und der Schorreineigung). Im vorgelagerten freien Seegebiet maximal zu erreichende Wellenhöhen können am Bauwerk selbst, infolge von Refraktion und Shoaling sowie Diffraktion, vergleichsweise geringere Belastungen hervorrufen als im freien Seegebiet entstandene Wellen geringerer Höhe aus anderen Richtungen. Die höchste Tiefwasserwelle liefert nicht zwangsläufig die höchste Wellenbelastung am Bauwerk. Die Bestimmung der maßgebenden Seegangsrichtung ist an der freien Küste von den Windparametern und der Morphologie im Seegebiet abhängig, an Buchten, Küstenvorsprüngen oder an durch Bauwerke gegliederten Küstenabschnitten sind darüber hinaus Flachwasser- und Bauwerkseffekte von Bedeutung. Bei den bei der Bemessung von Hochwasserschutzbauwerken anzusetzenden Wiederkehrperioden des Bemessungsseegangs von fünfzig bis hundert Jahren (EAU 1996) können, soweit überhaupt vorhanden, Seegangsmessdaten nicht direkt verwendet werden. Grundlage der Bestimmung des Bemessungsseegangs sind vielmehr Extremwertstatistiken auf der Basis von Seegangsmessungen oder von Windmessungen in Kombination mit Seegangsvorhersagemodellen und ggf. Wind-Wellen-Korrelationen.

6.2.2 Bauwerke

Der Schutz eines tiefliegenden Küstengebiets vor Überflutung kann durch ein System baulicher Hochwasserschutzmaßnahmen gewährleistet werden, das aus Dünen, Deichen, permanenten, temporären oder mobilen Hochwasserschutzwänden und Sturmflutsperrwerken bestehen kann. An Rückgangsküsten muss zum langfristigen Erhalt der Schutzwirkung zudem die Lage der Küstenlinie mit Hilfe von Sandvorspülungen, Buhnen und / oder uferfernen Wellenbrechern festgelegt werden. Hierbei ist zu beachten, dass Hochwasserschutzmaßnahmen infolge der Reflexion der ankommenden Wellenbelastung zu einem verstärkten Küstenrückgang führen können und zwar einerseits vor dem Schutzbauwerk und andererseits in dessen Leerichtung.

Die folgenden Anforderungen sind an ein Bauwerk zum Schutz vor Hochwasser zu stellen:

- Schutz vor Überschwemmungen bei einem akzeptablen Kosten-Risiko-Verhältnis
- Sicher und kostengünstig in Bauausführung, Betrieb und Unterhaltung
- Erfüllung von ökologischen sowie stadt- und landschaftsplanerischen Anforderungen

Grundsätzlich sind drei Trassierungen von Hochwasserschutzbauwerken zu unterscheiden:

- Vorgelagerte Schutzbauwerke wie Sperrwerke und Stauklappen
- Direkt entlang der Küste verlaufende Linienbauwerke
- Von der Küste zurückverlagerte Linienbauwerke

Zu den Linienbauwerken gehören grundsätzlich Dünen, Deiche sowie feste und mobile Hochwasserschutzmauern oder Hochwasserschutzwälle. Vorgelagerte und direkt entlang der Küste verlaufende Schutzanlagen haben den Vorteil, das gesamte überschwemmungsgefährdende Gebiet zu schützen. Nachteile können jedoch aus hohen Bau- und Betriebskosten sowie aus einer mangelhaften Einpassung in das Stadt- und Landschaftsbild resultieren. Demgegenüber weisen rückverlagerte Schutzlinien häufig Vorteile hinsichtlich Kosten und Ästhetik auf, sie schützen jedoch nicht das gesamte durch hohe Wasserstände gefährdete Gebiet.

Die zum Schutz vor Sturmflutwasserständen an der deutschen Ostseeküste am häufigsten eingesetzten Bauwerke sind in Schleswig-Holstein Deiche und in Mecklenburg-Vorpommern Hochwasserschutzdünen. Diese Bauwerke stellen eine wirtschaftliche und bewährte Form des baulichen Hochwasserschutzes dar und können i.d.R. ohne weitere Einschränkungen in ländlichen Bereichen eingesetzt werden. Die Forschung im Bereich des Seedeichbaus konzentriert sich in erster Linie auf eine verbesserte Bestimmung der Belastungsparameter Druckschlag infolge brechender Wellen, Wellenauflauf und Wellenüberlauf sowie auf die Entwicklung von Querschnittsausführungen zur konstruktiven Erhöhung der Reaktionskraft des Deichkörpers.

Untersuchungen zum Einsatz und zur Optimierung des hauptsächlich im Deichbau eingesetzten Baumaterials, des Bodens, sind dagegen kaum zu finden. Hier besteht insbesondere für den Deichbau in Mecklenburg-Vorpommern Forschungsbedarf, da die anstehenden Böden nur bedingt als Deichbedeckung verwendbar sind. Bezüglich Hochwasserschutzdünen sind erweiterte Kenntnisse zur erforderlichen Geometrie zurkehrung langandauernder Sturmflutereignisse sowie zur anzusetzenden Wirkung der Vorlandgeometrie notwendig. Obwohl die vorhandenen Deiche und

Dünen hinsichtlich der Kronenhöhe, der Querschnittsgestaltung sowie der verwendeten Materialien vielfach Mängel aufweisen, wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht näher auf diesen Themenkomplex eingegangen.

Die weiteren Ausführungen zum baulichen Hochwasserschutz beziehen sich auf Einsatzmöglichkeiten spezieller Hochwasserschutzbauwerke wie Hochwasserschutzwände, Sturmflutsperrwerke und temporäre oder mobile Hochwasserschutzanlagen unterschiedlicher Ausführung. In städtischen Gebieten ergeben sich wegen beengter Platzverhältnisse Probleme bei der Anordnung von geböschten Bauwerken wie Deichen und Dünen. Sofern nur ein schmaler unbebauter Streifen zur Realisierung des baulichen Hochwasserschutzes zur Verfügung steht, wird i.d.R. die Anordnung von senkrechten Hochwasserschutzwänden erwogen. Diese sind jedoch bei weit über Geländeoberkante ragenden Ausbauhöhen unvereinbar mit dem städtebaulichen Anspruch der Einbindung der Hochwasserschutzanlagen in das Stadtbild. Von dieser Problematik ausgehend, wird für die Hansestadt Greifswald der Bau eines Sturmflutsperrwerks zur Abdämmung des die Innenstadt mit dem Greifswalder Bodden verbindenden Flusses Ryck geplant. Hierbei müssen besondere Sicherheitsüberlegungen bezüglich des beweglichen Verschlusses in der Deichlinie getroffen werden. Eine Sonderlösung für intensiv genutzte städtische Gebiete ist die Anordnung eines mobilen bzw. temporären Hochwasserschutzsystems.

6.2.2.1 Hochwasserschutzwände

Die Anordnung von senkrechten Hochwasserschutzwänden (HWS-Wände) anstelle von Deichen kann wegen ihres geringeren Platzbedarfs in Stadtgebieten sinnvoll sein. Als problematisch erweisen sich hierbei jedoch Kreuzungen der Hochwasserschutzlinie (HWS-Linie) mit Verkehrswegen sowie die Beeinträchtigung der Sichtbeziehungen durch hohe Schutzmauern. Bei kreuzenden Verkehrswegen muss die Schutzlinie unterbrochen werden, um Straßen oder Schienenwege ebenerdig durchführen zu können. Die Öffnungen werden bei Eintritt einer Sturmflut durch Dammbalkenverschlüsse manuell oder durch Schiebetore manuell oder mit Motorkraft angetrieben verschlossen und die entsprechenden Verkehrswege werden damit zeitlich begrenzt für die Durchfahrt gesperrt. Ein sicheres Verschließen der Öffnungen auch unter ungünstigen Bedingungen muss ggf. durch eine redundante Auslegung der Antriebe sichergestellt werden, vgl. Kap. 6.2.2.2 "Doppelte Deichsicherheit". Bei Meldung eines bevorstehenden Hochwasserereignisses muss von den Katastrophenschutzeinheiten Personal in ausreichender Anzahl zum Verschließen der Öffnungen bereitgestellt werden. Die Wartungsintervalle der Verschlussorgane

sowie der Probetrieb ist in Katastrophenschutzplänen festzulegen. Zur sicheren Handhabbarkeit des Schutzsystems innerhalb der Vorwarnzeit und zum reibungslosen Verkehrsfluss auch während eines Hochwasserereignisses sollten möglichst wenige bei Hochwasser zu verschließende Öffnungen in der Schutzlinie angeordnet werden.

Die Beeinträchtigung der Passierbarkeit der Hochwasserschutzlinie und der Sichtbeziehungen beim Einsatz von senkrechten HWS-Wänden kann, je nach Nutzung des geschützten Gebietes, ab einer Höhe von 0,8 m über Gelände als störend empfunden werden, wobei in vielen Fällen eine Höhe über Gelände von bis zu 1,2 m als akzeptabel anzusehen ist. In Gebieten mit Wohn-, Geschäfts- und Freizeitnutzung sind möglichst keine höheren Wände anzuordnen. Zur besseren Einbindung des Schutzsystems in das Stadtbild kann das Gelände zur Schutzlinie hin erhöht werden oder die HWS-Wand kann durch die Verwendung von Verbundglasscheiben teilweise oder vollständig transparent ausgeführt werden. Hierbei sind jedoch erhöhte Aufwendungen hinsichtlich der Reinigung der Glaskonstruktion zu beachten. Möglich ist auch die Kombination einer festen HWS-Wand mit einem Aufsatz in Form einer temporären oder mobilen Wand, vgl. Kap. 6.2.2.3.

Die dynamische Belastung aus Seegang an senkrechten Wänden ist höher als an geböschten Bauwerken und stellt i.d.R. die maßgebende Belastung bei der Bemessung dar, siehe Kap. 5.2.3.4. Die Vorlandgeometrie hat einen entscheidenden Einfluss auf die am Bauwerk vorhandenen maximalen Wellenhöhen, da hohe Wellen bei begrenzter Wassertiefe vor Erreichen des Bauwerk brechen. Sofern die Wände vom Ufer rückverlagert angeordnet werden können, kann die dynamische Belastung aus Seegang u.U. stark vermindert werden.

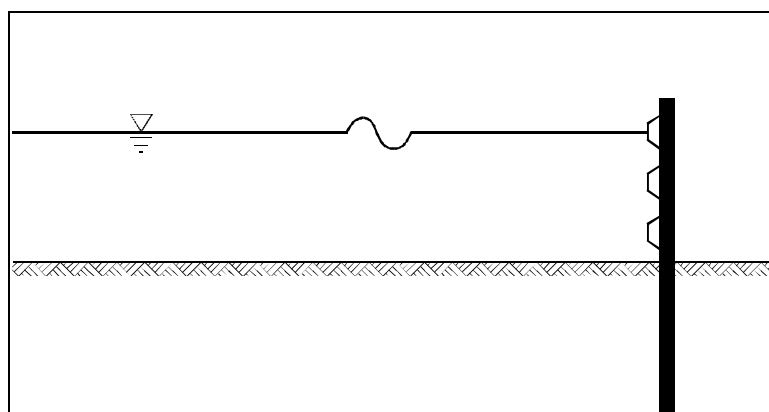


Abb. 28: Horizontal profilierte HWS-Wand

Zur Verringerung der auf die HWS-Wand wirkenden Belastungen sowie der bei Ex-

trembelastung auf die Binnenseite der HWS-Linie übertretenen Wassermengen können unterschiedliche konstruktive Maßnahmen am Bauwerk direkt oder in Form vorgelagerter Bauwerke angeordnet werden. Eine einfache konstruktive Verringerung der Belastung senkrechter Wände durch Druckschlag liefert eine Profilierung der seeseitigen Angriffsfläche (Abb. 28). Die beim Brechen der Wellen am Bauwerk auftretenden Druckschlagbelastungen weisen sehr hohe Belastungsspitzen auf, die jedoch nur einige Tausendstel Sekunden andauern. Bei einer spundwandähnlichen Profilierung der Wand trifft die brechende Welle pro Zeiteinheit nur auf einen Teil der Gesamtfläche auf und eine Minderung der Druckschlagbelastung um bis zu 60 % ist möglich (FÜHRBÖTER et al. 1987). Ebenso kann der dynamische Gesamtimpuls durch einen horizontalen Verbau der Wand mit Spundbohlen in zeitlich versetzte Einzelimpulse geteilt werden, wodurch sich die Belastung verringert (TAUTENHAIN et al. 1994).

Durch eine Vorlage von Wasserbausteinen in loser oder vermauerter Form kann die Wellenbelastung und der Wellenüberlauf an senkrechten Wänden ohne viel Raum in Anspruch nehmende Konstruktionen verringert werden (Abb. 29). Zudem ist hierdurch vielfach eine verbesserte Einbindung einer senkrechten Verbauung in das Stadt- und Landschaftsbild möglich, sofern ortsübliches Steinmaterial Verwendung findet. Im hydraulischen Modell konnte durch eine Böschungsvorlage aus Wasserbausteinen eine Verringerung der dynamischen Wellenbelastung um 50 bis 80 % erreicht werden (TAUTENHAIN, SCHMIDT-KOPPENHAGEN 1996). Außerdem kann durch den verringerten Wellenauflauf an der Böschung im Vergleich zur senkrechten Wand die Höhe des Bauwerks über Gelände verringert werden.

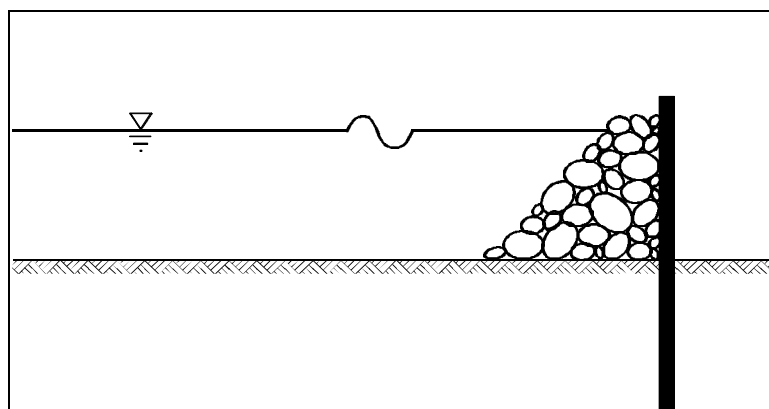


Abb. 29: HWS-Wand mit Steinvorlage

Weitere konstruktive Maßnahmen zur Verringerung der Wellenbelastung der HWS-Wand beziehen sich auf die der eigentlichen HWS-Wand vorgelagerten Bauwerken,

wie teildurchlässige Schlitzwände, vorgelagerte Unterwasserschwellen oder unterhalb des Bemessungshochwasserstands befindliche senkrechte Wände geringerer Höhe (Abb. 30). Hierzu muss vor der eigentlichen Schutzwand ausreichend bebaubarer Raum zur Verfügung stehen, und der Abfluss des sich im Zwischenraum der beiden Bauwerke sammelnden Wassers muss konstruktiv sichergestellt werden. Diese aufgelösten Bauwerke sind i.d.R. nicht für beengte Stadtgebiete, sondern nur für industriell genutzte Flächen geeignet, die durch vergleichsweise hohe senkrechte Wände geschützt werden und die ausreichend Raum für vorgelagerte Bauwerke bieten.

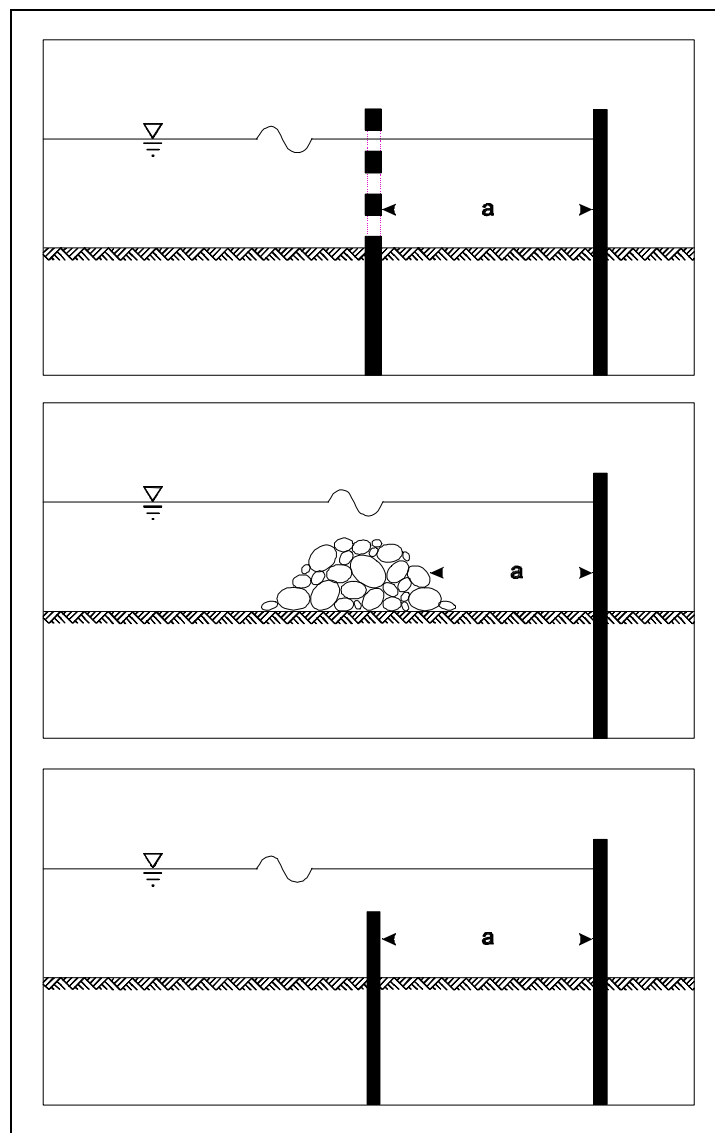


Abb. 30: HWS-Wand mit vorgelagerten Bauwerken

Der Grad der Wellendämpfung an der HWS-Wand durch die Errichtung einer vorge-

lagerten teildurchlässigen Wand wird hauptsächlich durch den Verbauungsgrad, den wirksamen Schlitzwandabstand a , der wirksamen Schlitzwandbreite und dem Wellenangriffswinkel bestimmt. Nach TAUTENHAIN, SCHMIDT-KOPPENHAGEN (1996) beträgt der optimale Schlitzwandabstand $a_{\text{opt}} \frac{1}{4}$ der Wellenlänge vor dem Bauwerk der Bemessungswelle. Nach der linearen Wellentheorie ist z.B. die Wellenlänge L der Bemessungswelle am Bauwerk (EAK 1993) bei einer Wellenperiode von $T = 6$ s und einer Wassertiefe am Bauwerk von $d = 1,0$ m $L = 56$ m. Hiermit beträgt der optimale Schlitzwandabstand bei den gegebenen Randbedingungen $a_{\text{opt}} = 14$ m.

Der Verbauungsgrad ist definiert als das Verhältnis der nicht durchströmten Fläche zur Gesamtfläche. Bei einem Verbauungsgrad von 0,65 wird beim optimalen wirksamen Schlitzwandabstand eine Wellendämpfung von 25 % und bei einem Verbauungsgrad von 0,85 eine Dämpfung von 50 % erreicht (TAUTENHAIN, SCHMIDT-KOPPENHAGEN 1996). Die Belastung der Schlitzwand nimmt mit steigendem Verbauungsgrad zu. Nach NAGAI & KAKUNO (1976 & 1978) ist die Belastung einer Schlitzwand durch brechende Wellen auf Höhe des Ruhewasserspiegels um 30 bis 50 % geringer als bei einer massiv ausgeführten senkrechten Wand. Allgemeingültige Bemessungskriterien für Schlitzwände liegen bisher jedoch nicht vor, so daß Untersuchungen in einem hydraulischen Modell i.d.R. notwendig sind.

Bei einer Wellendämpfung durch vorgelagerte Unterwasserschwellen oder unterhalb des Bemessungswasserstands befindlichen senkrechten Wände geringer Höhe sollte der Abstand a zwischen der Schwelle und der HWS-Wand so groß sein, dass an der Schwelle ausgelöste Brecher nur noch als brechende Welle die HWS-Wand erreichen. Dies wird nach TAUTENHAIN, SCHMIDT-KOPPENHAGEN (1996) bei einem Abstand von mindestens $5 \cdot H'_{\text{max}}$ erreicht. Unter der Voraussetzung eines RAYLEIGH-verteilten Spektrums und der Theorie von LONGUET-HIGGINS bei rund 200 gemessenen Wellen in der betrachteten Messung (EAK 1993) (Messdauer 20 min, mittlere Wellenperiode 6 s) beträgt das Verhältnis H'_{max} / H_s rund 1,6. Hiermit berechnet sich der erforderliche Abstand a_{erf} zwischen der vorgelagerten Schwelle und der eigentlichen HWS-Wand beim Ansatz einer signifikanten Bemessungswellenhöhe von $H_s = 1,0$ m zu $a_{\text{erf}} = 8,0$ m.

Zur Verringerung der Überlaufwassermenge können zur Seeseite hin geneigte Überlaufabweiser an einer HWS-Wand angeordnet werden (Abb. 31), wodurch der Überlaufschwall abgelenkt wird. Zur Bestimmung des Einflusses von Überlaufabweisern sind verschiedene Untersuchungen publiziert, die jedoch unterschiedliche Ergebnisse liefern (u.a. FRANCO et al. 1994; FRANCO et al. 1995). Voruntersuchungen von TAUTENHAIN, SCHMIDT-KOPPENHAGEN (1996) haben ergeben,

dass ein Überlaufabweiser an einer senkrechten Wand einer Erhöhung des Freibor-des von 0,3 bis 0,4 m entspricht. Für eine gesicherte Quantifizierung der Effektivität von Überlaufabweisern sind jedoch weitere, systematisch durchzuführende hydraulische Versuche notwendig.

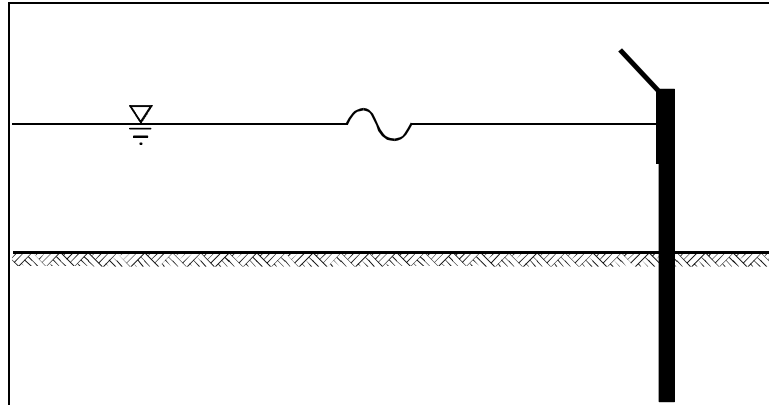


Abb. 31: Überlaufabweiser

6.2.2.2 Sturmflutsperrwerke

Sturmflut- oder Sturmflutsperrwerke schützen Niederungsgebiete vor hohen Wasserständen bei gleichzeitiger Verkürzung der HWS-Linie. Eine Verkürzung der Schutzlinie kann aus sicherheitstechnischen und wirtschaftlichen Überlegungen sinnvoll sein. In beengten Stadtgebieten kann der konventionelle Hochwasserschutz technische, verkehrliche und stadtplanerische Probleme bereiten, während in ländlichen Bereichen technische Probleme beim Deichbau i.d.R. nur bei gering tragfähigen Böden auftreten. Der Bau eines Sperrwerk stellt u.U. eine wirtschaftlich günstige Alternative dar, weil die zur Erstellung des Schutzsystems erforderlichen Flächen und somit die Grunderwerbkosten stark verringert werden. Hiermit kann durch einen Sperrwerksbau auch ein hoher Zugewinn an besiedelbaren Flächen erzielt werden. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass die neu gewonnenen Besiedlungsräume weiterhin potentiell überflutungsgefährdet sind und deren Schutz wie auch beim Einsatz von anderen Hochwasserschutzmaßnahmen nur bei störungsfreier Funktion des Sturmflutsperrwerks gewährleistet werden kann.

Bisher sind im deutschen Küstenraum lediglich an der Nordsee Sturmflutsperrwerke vorhanden. An der deutschen Ostseeküste ist ein Sturmflutsperrwerk im Stadtgebiet der Hansestadt Greifswald in Planung, vgl. Kap. 5.2.3.3. Grundsätzlich ist die Anordnung eines Sperrwerks nur bei schmalen vorhandenen Verbindungen zur freien See ökonomisch sinnvoll. An der deutschen Ostseeküste besteht damit die Möglichkeit,

neben dem Ryck zum Schutz von Greifswald, die folgenden drei Flüsse durch ein Sturmflutsperrwerk abzuriegeln: Die Warnow zum Schutz der Hansestadt Rostock, die Trave zum Schutz der Hansestadt Lübeck und die Schlei zum Schutz von Kappeln. Im Falle einer Sperrwerkslösung an der Warnow und Trave wären Öffnungsweiten zu realisieren, die die Durchfahrt von Seeschiffen zum Rostocker bzw. Lübecker Seehafen ermöglichen. Die Schlei wird intensiv von Freizeitschiffen und Fischern als Verkehrsweg genutzt, denen eine vergleichsweise geringere Durchfahrtsbreite gewährt werden müsste.

Die Hauptmaße eines Sperrwerks sind die lichten Öffnungsweiten, die Sohlenhöhe, die Verschlusshöhe und die Länge des Bauwerks in Fließrichtung. Die Bemessung erfolgt in erster Linie nach den hydrostatischen und hydrodynamischen Lasten, Eisdruck Schiffsstoß und hydraulischer Belastung.

Beim Bau eines Sperrwerks muss besondere Sorgfalt auf die Sicherheitskonzeption gelegt werden. Erst in zweiter Linie können verkehrliche, ökonomische, ökologische, raum-, stadt- und landschaftsplanerische Gesichtspunkte in die Entscheidungsfindung über Bau und Konstruktion eingehen. Sperrwerke müssen so ausgelegt sein, dass sie auch bei denkbar ungünstigen Witterungs- und Personalbedingungen sicher geschlossen werden können bzw. ein Versagen nur mit einer sehr geringen Wahrscheinlichkeit auftritt. Besonderes Augenmerk verlangt demnach die Ausbildung der Sperrwerksverschlüsse, die im folgenden u.a. am Beispiel von in Planung befindlichen oder bereits gebauten Sperrwerken näher erläutert werden.

6.2.2.2.1 Herkömmliche Ausbildung von Sperrwerksverschlüssen

Bei großen Flussbreiten und hoher hydraulischer Belastung des Flussquerschnitts, der Regelfall im Tidegebiet, werden neben der Schifffahrtsöffnung weitere Öffnungen angeordnet, sogenannte Durchflussöffnungen, die eine nur geringe lichte Höhe aufweisen müssen. Bewährt haben sich beim Bau von Sperrwerken die folgenden Verschlussarten:

- Stemmtore bei von der Schifffahrt geforderten großen Durchfahrtshöhen
- Hubtore für Durchflussöffnungen geringer Breite und Höhe und für Schifffahrtsöffnungen geringer Höhe
- Klapptore bei Durchflussöffnungen
- Segmentverschlüsse bei Durchflussöffnungen von über 15 m Breite

Stemmtorverschlüsse, Abb. 32, bestehen aus einem Torpaar, das sich um senk-

rechte, in den Pfeilern befestigte Achsen dreht. Sie sind mit einem Antrieb versehen, können aber bei Ausfall desselben allein durch das einströmende Wasser geschlossen werden, sofern sie von Hand aus den anzuordnenden Tornischen gefahren werden. Bei einsetzendem Binnenstau öffnen sie sich nach Entriegelung selbsttätig; ein beabsichtigter Binnenstau kann nur durch ein zusätzliches, um 180 ° gedrehtes Torpaar erreicht werden. Stemmtore sind empfindlich gegen Versandung der Nischen und vor den Drepeln sowie gegen Vereisung. Zur Wartung der Tore muss, sofern keine Trockendocks ähnlich der Sperrwerkskonstruktion im Nieuwe Waterweg (siehe S.144) angeordnet sind, die Sperrwerksöffnung mit Hilfe von zusätzlichen Notverschlüssen und Pumpen trocken gelegt werden. Stemmtore haben den Vorteil, dass sie eine unbeschränkte Durchfahrtshöhe für die Schifffahrt bieten.

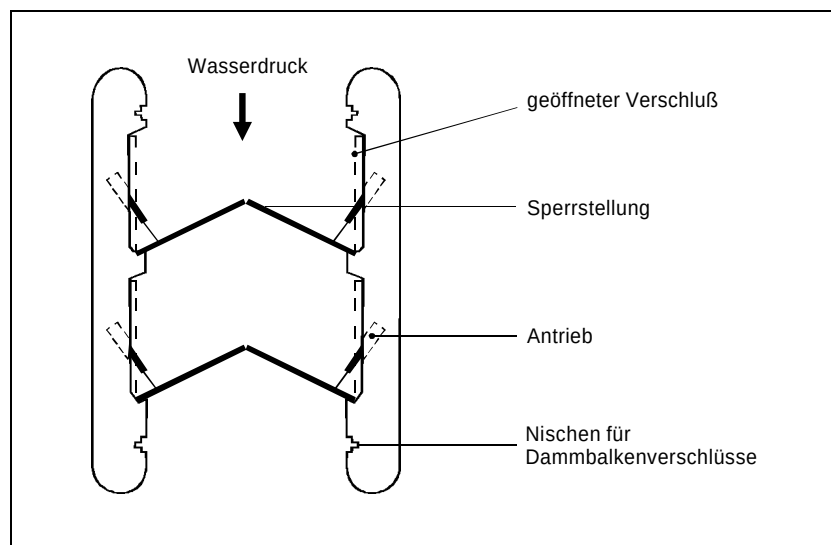


Abb. 32: Doppelt angeordnete Stemmtore, Grundriss

Hubtore (Abb. 34) sind Schütze, die über Hubgerüste rollen- oder gleitgelagert in Tornischen geführt werden. In Ruhestellung (keine Sperrfunktion) werden die Schütze aus dem Flussquerschnitt gehoben und im Hubgerüst verwahrt, so dass eine Wartung der beweglichen Elemente möglich ist. Abhängig von den wechselnden Wasserständen und der geforderten lichten Weite treten u.U. sehr große Aufbauhöhen auf. Durch eine zweiteilige Ausführung kann die Höhe des Hubgerüsts verringert werden, es müssen jedoch Dichtungen zwischen den Toren und zusätzliche Antriebe eingerichtet werden. Hubtore können doppelkehrend ausgeführt werden. Bei Ausfall der Antriebe lassen sich die Tore zwar allein durch ihr Eigengewicht absenken, müssen bei einsetzendem Binnenstau jedoch maschinell gehoben werden. Die Führungsnischen sind vor Versandungen und Vereisungen zu schützen.

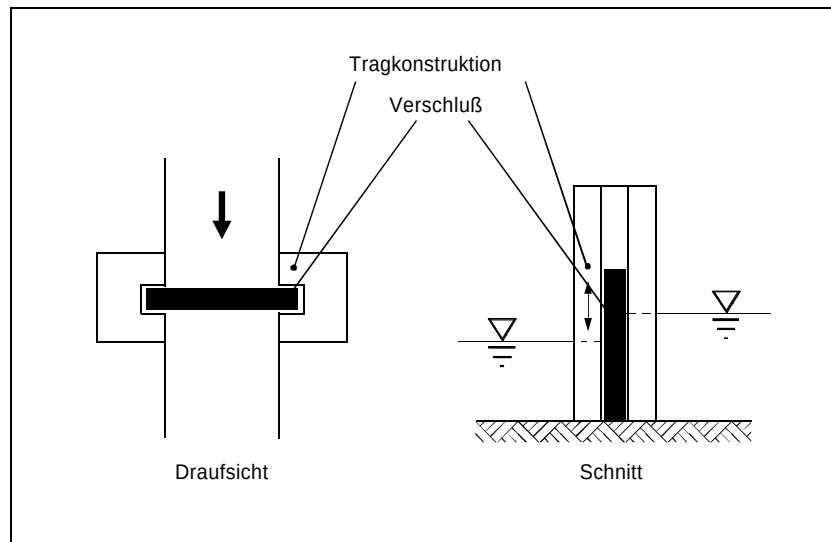


Abb. 34: Hubtor

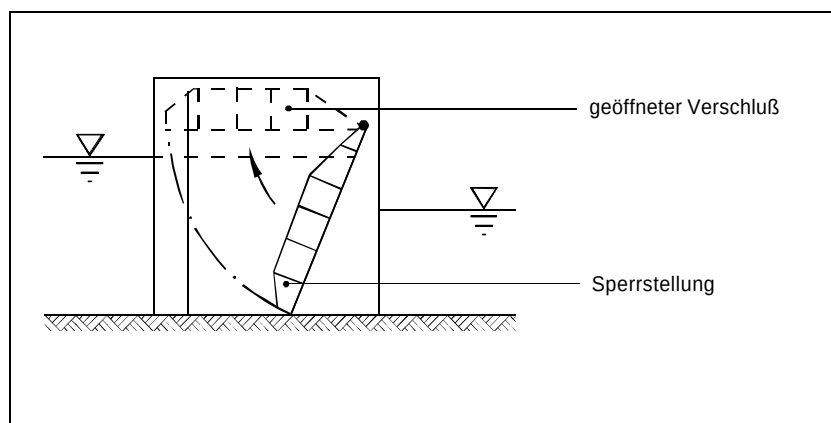


Abb. 35: Klapptor

Klapptore (Abb. 35) sind an zwei Drehlagern luftseitig gelagerte Schütze. Die zu wartenden Elemente sind ohne besondere Vorkehrungen zu erreichen. Die Aufbauhöhe hängt von den wechselnden Wasserständen und der geforderten lichten Höhe ab, ist aber durch die waagerechte Lagerung geringer als bei den Hubtoren. Bei Ausfall der Antriebe kann das Klapptor durch sein Eigengewicht abgesenkt werden. Bei ausreichendem Binnenstau öffnet sich das Tor allein durch den hydraulischen Gradienten einen Spalt weit und das aufgestaute Oberwasser kann abfließen. Die Durchfahrtshöhen für die Schifffahrt sind begrenzt (Ausnahme: Sperrwerksentwurf Hamburg, siehe S. 146).

Segmentverschlüsse (Abb. 36) haben i.d.R. kreiszylindrisch gekrümmte Stauwände mit luftseitiger Drehachse. In Ruhestellung befinden sie sich oberhalb der Wasserlinie und alle zu wartenden Elemente sind erreichbar. Bei Ausfall der Antriebe können

sie allein durch ihr Eigengewicht in Sperrstellung gelangen, müssen bei einsetzen- dem Binnenstau jedoch mit Hilfe eines maschinellen Antriebs gehoben werden. Sie können als Zug- oder als Drucksegment sowie beidseitig kehrend ausgebildet werden. Pfeilernischen sind nicht erforderlich, wodurch Versandungs- und Vereisungs- probleme minimiert werden. Bei kreiszylindrisch geformten Verschlüssen, bei denen die Krümmungsmittellinie mit der Drehachse zusammenfällt, verläuft die Resultie- rende des Wasserdrucks in jeder Verschlussstellung durch die Lager, wodurch kein schließendes oder öffnendes Moment ausgeübt wird und nur geringe Antriebskräfte benötigt werden. Nachteilig sind die geringen zu realisierenden lichten Durchfahrts- höhen (Ausnahme: Themse-Sperrwerk zum Schutz von London, siehe S. 143).

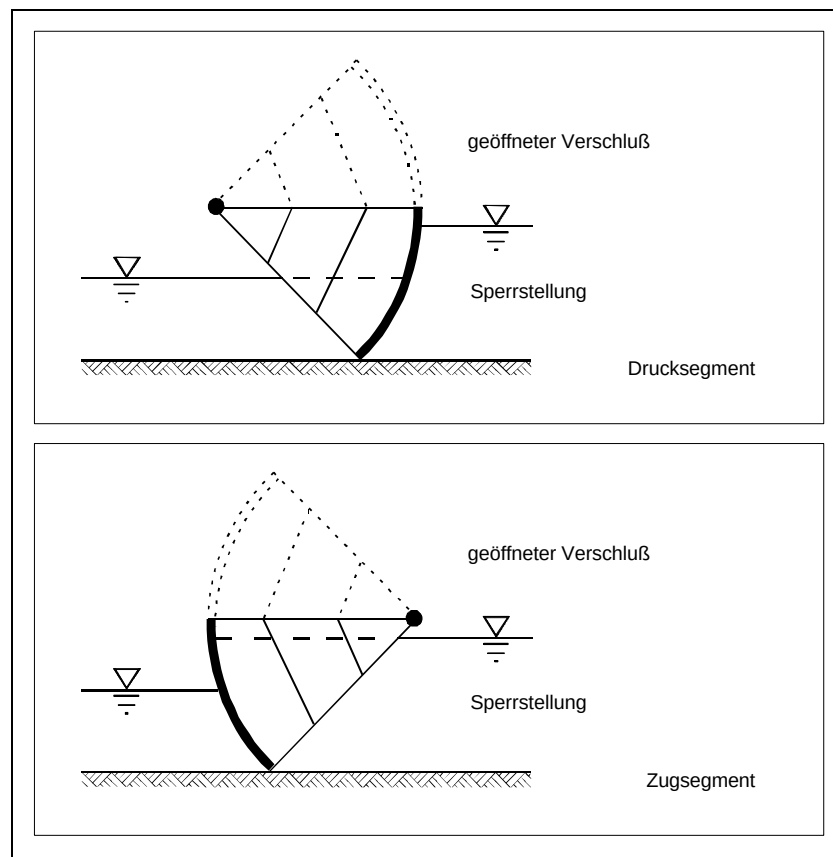


Abb. 36: Segmentverschluss

Sektorverschlüsse (Abb. 38) mit unterhalb des Mittelwasserspiegels liegender Dreh- achse, wurden an der deutschen Küste bisher noch nicht für den Sperrwerksbetrieb verwendet. Da Sektortore in Ruhestellung in der Flusssohle versenkt werden kön- nen, sind lediglich die Anschlagpfeiler sichtbar, womit eine freie lichte Durchfahrts- höhe gewährleistet wird und das Bauwerk nur im geringen Maße die bestehenden Sichtbeziehungen beeinträchtigt. Pfeilernischen sind ebenso wie beim Segmentver-

schluss nicht vorhanden, wodurch eine hohe Funktionssicherheit bei Versandung und Vereisung garantiert wird. Aus sicherheitstechnischer Sicht ist es jedoch nachteilig, dass sich die Drehachsen dauerhaft unter Wasser befinden und dadurch Kontroll- und Wartungsarbeiten erschwert werden.

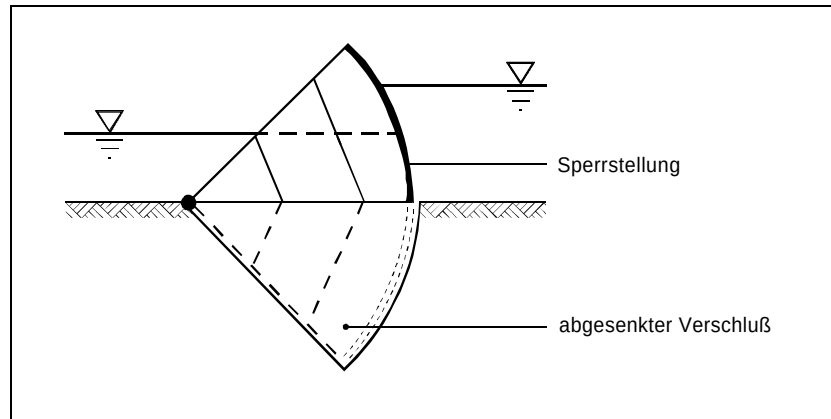


Abb. 38: Sektorverschluss

6.2.2.2 Sicherheitskonzeption von Sturmflutsperrwerken an der deutschen Nordseeküste

Bei der Bemessung von Bauwerken in der Hochwasserschutzlinie, wie Deiche, Deichscharten, Deichsiele, Hochwasserschutzwände und Sperrwerke, wird grundsätzlich unterschieden in feste Anlagen und bewegliche Verschlussorgane, deren sicherheitstechnische Vergleichbarkeit i.a. als gegeben vorausgesetzt wird, sofern das Prinzip der "Doppelten Deich- oder Torsicherheit" bei beweglichen Verschlüssen eingehalten wird. Jeder einzelne Verschluss muss hierbei allein den statischen und dynamischen Lasten im Bemessungsfall standhalten. Zudem muss ein Schließen jedes einzelnen Verschlusses auch unter ungünstigsten Bedingungen möglich sein. Eine einfache Doppelung der Verschlusssysteme ist kein sicherheitstechnisches Patentrezept. Sofern ein Versagensfall mit vergleichsweise hoher Eintrittswahrscheinlichkeit beide Verschlüsse gleichzeitig in ihrer Funktion stört, kann nicht von Doppelter Torsicherheit oder Redundanz ausgegangen. Ein Beispiel hierfür ist der Einsatz von Torsystemen, die empfindlich auf Eisgang reagieren. Sofern die Möglichkeit der Kombination Hochwasserbelastung und Eisgang besteht, kann auch bei der Dopplung entsprechender Torsysteme nicht von einer Redundanz des Systems ausgegangen werden.

Bei Beachtung der Bemessungs- und Konstruktionsgrundlagen des Prinzips der Doppelten Torsicherheit sichert der zweite Verschluss die Kehrung des Hochwas-

serstandes, auch wenn ein Verschluss versagen sollte. Somit ist das Versagen des einen Verschlusses unabhängig vom Versagen des anderen Verschlusses, und ein Gesamtversagen tritt nur ein, wenn beide Verschlüsse gleichzeitig nicht schließen. Die Gesamtversagenswahrscheinlichkeit ergibt sich aus der Multiplikation der Einzelwahrscheinlichkeiten und ist damit im Vergleich zur Einzelversagenswahrscheinlichkeit stark verringert.

Beispiel: Versagenswahrscheinlichkeit "Doppelte Deichsicherheit":

Bei gleichen Einzelversagenswahrscheinlichkeiten von $p = 10^{-2}$ pro Verschluss beträgt die zugehörige Gesamtversagenswahrscheinlichkeit eines Verschluss-paares bei Doppelter Deichsicherheit $p = 10^{-4}$.

Das Prinzip der Doppelten Deich- oder Torsicherheit wird bei Deichscharten, Deichsielen und i.d.R. auch bei Sturmflutsperrwerken angewandt. An der deutschen Nordseeküste sind 22 von 24 Sturmflutsperrwerken mit Doppelter Torsicherheit ausgestattet. Das mit den bisher größten lichten Torweiten realisierte deutsche Sperrwerk ist das Eidersperrwerk mit fünf 40 m breiten Durchflussöffnungen, die mit doppelt angeordneten Segmentverschlüssen verschlossen werden können, und einer benachbarten Schifffahrtsschleuse. Die zwei Sperrwerke mit einfacher Torsicherheit an der deutschen Küste sind das innere Lühesperrwerk und das Ledasperrwerk. Beim erstgenannten Sperrwerk wurden Klapptore eingesetzt, die eine besonders hohe Betriebssicherheit aufweisen. Das 1954 fertiggestellte Ledasperrwerk verfügt über fünf Öffnungen gleicher Abmessungen, die über einteilige Hubtore verschlossen werden. Als Sicherheitstor ist ein verfahrbares Reservetor vorhanden. Bereits im ersten Betriebsjahr musste das Reservetor eingesetzt werden, als sich ein größerer Eisblock in einer Führungsnische festgesetzt hatte und der Hauptverschluss nicht in Schließlage zu bringen war (GÄTJEN 1977/78). Die wirtschaftlichen Vorteile durch die Bereitstellung nur eines Sicherheitsverschlusses sind jedoch gering, da zusätzliche Kosten für die Anlage zum Verfahren des Tores anfallen.

Versagenswahrscheinlichkeiten mit und ohne Redundanz am Beispiel des Ledasperrwerks

Beispiel: Versagenswahrscheinlichkeit 1 "Ledasperrwerk":

6 Verschlüsse sind vorhanden, $m = 6$

5 funktionstüchtige Verschlüsse sind zum sicheren Betrieb notwendig, $k = 5$

Die Einzelversagenswahrscheinlichkeiten der regulären Verschlüsse und des Reserveverschlusses sind gleich, $p = 0,05$

Das Gesamtversagen tritt ein, sobald mehr als ein Tor funktionsuntüchtig ist

Die Versagenswahrscheinlichkeit des Gesamtsystems beträgt nach Gleichung

Gl. 3

$$P\{y > 1; 6\} = 1 - \sum_{y=0}^1 P(y; 6) = 1 - [P(0; 6) + P(1; 6)] = 1 - [0,735 + 0,232] = 0,033$$

Beispiel: Versagenswahrscheinlichkeit 2 "Ledasperrwerk":

6 Verschlüsse sind vorhanden, $m = 6$

5 funktionstüchtige Verschlüsse sind zum sicheren Betrieb notwendig, $k = 5$

Die Einzelversagenswahrscheinlichkeiten der regulären Verschlüsse betragen $p_V = 0,05$

Die Einzelversagenswahrscheinlichkeit des Reserveverschlusses beträgt $p_R = 0,10$

Das Gesamtversagen tritt ein:

- a) Sobald mehr als ein regulärer Verschluss funktionsuntüchtig ist, auch wenn der Reserveverschluss in Position gebracht werden kann
- b) Sobald ein regulärer Verschluss sowie der Reserveverschluss funktionsuntüchtig sind

$$a) P\{y > 1; 5\} = 1 - \sum_{y=0}^1 P(y; 5) = 1 - [P(0; 5) + P(1; 5)] = 1 - [0,774 + 0,204] = 0,022$$

b) Versagenswahrscheinlichkeit eines regulären Verschlusses von fünf:

$$P\{y > 0; 5\} = 1 - \sum_{y=0}^0 P(y; 5) = 1 - [P(0; 5)] = 1 - [0,774] = 0,226$$

Versagenswahrscheinlichkeit des Reservetores: $p_R = 0,01$

Versagenswahrscheinlichkeit beim Zusammentreffen Versagen reguläres Tor sowie Versagen Reservetor:

$$P = P\{y > 0; 5\} * p_R = 0,226 * 0,10 = 0,023$$

Somit beträgt die Gesamtversagenswahrscheinlichkeit Beispielrechnung 2 "Ledasperrwerk":

$$P = 0,022 + 0,023 = 0,045$$

Vergleichsrechnung "Ledasperrwerk ohne Reserveverschluss":

5 Verschlüsse sind vorhanden, $m = 5$

5 funktionstüchtige Verschlüsse sind zum sicheren Betrieb notwendig, $k = 5$

Die Einzelversagenswahrscheinlichkeiten der Verschlüsse betragen $p = 0,05$

Das Gesamtversagen tritt ein, sobald ein Tor funktionsuntüchtig ist

Die Versagenswahrscheinlichkeit des Gesamtsystems beträgt

$$P\{y > 0; 5\} = 1 - \sum_{y=0}^0 P(y; 5) = 1 - [P(0; 5)] = 1 - [0,774] = 0,226$$

Vergleichsrechnung "Ledasperrwerk ausgerüstet mit Doppelter Torsicherheit":

5 doppelte Verschlussorgane sind vorhanden, $m = 5$

5 funktionstüchtige Verschlüsse sind zum sicheren Betrieb notwendig, $k = 5$

Die Einzelversagenswahrscheinlichkeiten der Einzelverschlüsse betragen $p = 0,05$

Die Einzelversagenswahrscheinlichkeiten der doppelten Verschlussorgane betragen $p = 0,05 * 0,05 = 0,0025$

Das Gesamtversagen tritt ein, sobald ein doppeltes Verschlussorgan funktionsuntüchtig ist

Die Versagenswahrscheinlichkeit des Gesamtsystems beträgt

$$P\{y > 0; 5\} = 1 - \sum_{y=0}^0 P(y; 5) = 1 - [P(0; 5)] = 1 - [0,988] = 0,012$$

Diskussion der Ergebnisse:

Durch die Anordnung eines Reserveverschlusses mit einer den regulären Verschlüssen identischen Einzelversagenswahrscheinlichkeit von $p = 0,05$ kann die Gesamtversagenswahrscheinlichkeit der Verschlussorgane im Vergleich zur Ausrüstung ohne zusätzlichen Sicherheitsverschluss um rd. den Faktor 7 verringert werden. Bei einer um den Faktor 2 erhöhten Einzelversagenswahrscheinlichkeit des Reservetores verbleibt eine Reduzierung der Gesamtversagenswahrscheinlichkeit um den Faktor 5 infolge des Reservetores.

Durch die Ausrüstung des Sperrwerks nach dem Prinzip der Doppelten Torsicherheit kann die Gesamtversagenswahrscheinlichkeit im Vergleich zur Ausrüstung ohne zusätzlichen Sicherheitsverschluss um rd. den Faktor 19 verringert werden.

Das im Bau befindliche 25. Sturmflutsperrwerk im deutschen Küstengebiet ist das Emssperrwerk, das nur mit einfacher Torsicherheit ausgestattet wird. Begründet wird dies damit, dass der Ausbaugrad der bestehenden Emsdeiche ausreichend ist und diese die zweite Sicherheitslinie darstellen (STARKE 1997). Somit kann infolge des Emssperrwerks nicht von einer Verkürzung der Deichlinie ausgegangen werden, da diese weiterhin im Sicherheitssystem berücksichtigt wird und damit eine kontinuierliche Kontrolle und Unterhaltung der Deichanlage unerlässlich ist. Die Gesamtversagenswahrscheinlichkeit ergibt sich bei diesem System aus der Multiplikation

der Einzelversagenswahrscheinlichkeiten Deichlinie und Sperrwerk, da von einer stochastischen Unabhängigkeit der beiden Systeme ausgegangen werden kann.

In diesem Zusammenhang ist allerdings darauf hinzuweisen, dass der Planungshintergrund beim Emssperrwerk wohl weniger in der Forderung nach einem stark verbesserten Hochwasserschutz gegeben ist, denn die Dopplung eines funktionstüchtigen und auf den Bemessungshochwasserstand ausgebauten Deichsystems mit einem kostenaufwendigen Sturmflutsperrwerk stellt ein Novum im deutschen Hochwasserschutzmanagement dar. Das Emssperrwerk soll nicht nur als Sturmflutsperrwerk, sondern auch als Stauwerk eingesetzt werden, um Schiffsüberführungen von tiefgehenden Schiffsneubauten der Meyer-Werft von Papenburg in die Nordsee sicherzustellen. In diesem Zusammenhang ist es nicht auszuschließen, dass politische und rechtliche Überlegungen den Hintergrund der in den Planungsunterlagen enthaltenen Aussagen zu sicherheitstechnischen Fragen bilden.

Als Verschlusssysteme werden beim Emssperrwerk herkömmliche Segmentverschlüsse und Hubtore sowie ein voll absenkbarer Segmentverschluss für die Hauptschiffahrtsöffnung angeordnet. Der absenkbare Segmentverschluss sichert bei der Gewährleistung einer freien Durchfahrtshöhe eine uneingeschränkte Wartungssicherheit, da der Verschluss in eine oberhalb des Wasserspiegels befindliche Wartungsstellung gedreht werden kann, siehe Themse-Sperrwerk S. 143.

6.2.2.2.3 Antriebe und Notverschlüsse von Sperrwerken

Die Antriebe von Sperrwerksverschlüssen können in mechanische und ölhydraulische Antriebe unterschieden werden, wobei dem ölhydraulischen Antrieb wegen des übersichtlichen Aufbaus, der einfachen Wartung und der Wirtschaftlichkeit i.d.R. der Vorzug gegeben wird. Bei beidseitigem Antrieb eines Verschlusskörpers muss zur Verhinderung des Verkantens der Gleichlauf gesichert werden. Bei der Verwendung von Schlauchbahnen als Verschluss kommen Pumpen als Antrieb zur Anwendung.

Wegen des Vereisungsproblems müssen insbesondere Stemm- und Hubtore gegen Leckwasser gedichtet werden. Zusätzlich müssen in den Tornischen, sofern vorhanden, Anlagen zur Verhinderung der Vereisung vorgesehen werden. Hierzu zählen elektrische Heizungen an neuralgischen Punkten des Torsystems und Luftsprudelanlagen, die das wärmere sohlnahe Wasser aufwirbeln und so eine Eisbildung in den Tornischen verhindern. Der Betrieb der Luftsprudelanlagen zur Sicherstellung der Verschlussfunktion reicht i.d.R. aus; die Torheizungen mit ihrem sehr hohen Energieverbrauch müssen zumeist nicht eingeschaltet werden. Zum Räumen der Öffnung von Eis werden Eisbrecher eingesetzt.

Für Wartungs- und Reparaturzwecke am Verschluss und/oder am Drempel müssen, sofern eine Trockenlegung der Sperrwerksöffnung erforderlich ist, Notverschlüsse in Form von Dammbalkenverschlüssen oder Schwimmtoren vorgesehen werden. Die Dimensionierung dieser Verschlussorgane erfolgt nicht zwangsläufig gegen die Belastung bei Bemessungshochwasser, sofern ihr Einsatz nur in belastungsärmeren Zeiträumen vorgesehen ist. Die Konstruktion der Sperrwerkspfeiler muss den Einsatz eines Notverschlusses konstruktiv zulassen. Im Falle des Eidersperrwerks fehlen entsprechende Führungsnischen für Notverschlüsse, so dass eine Trockenlegung der Tornischen nur unter hohem baulichen Aufwand möglich ist. Eine ausreichende Überprüfung und Wartung des Bauwerks kann somit in Frage gestellt sein. Generell sind für den sicheren Betrieb eines Sperrwerks detaillierte Wartungspläne, die jedes einzelne Element einschließen, notwendig.

6.2.2.2.4 Großsperrwerke im europäischen Raum

Während Sturmflutsperrwerke bis in die siebziger Jahre hinein lediglich in Nebenflüssen von Tideästuarien eingesetzt wurden, sind seit Anfang der achtziger Jahre Großsperrwerke in der Themse zum Schutz von London (1982), zur Abdämmung der Oosterschelde (1987) und im Nieuwe Waterweg zum Schutz von Rotterdam (1997) fertiggestellt worden. In Planung befindlich sind Großsperrwerke zum Schutz von Venedig. Die Planungen zu einem Großsperrwerk in der Elbe zum Schutz der Hansestadt Hamburg werden momentan nicht weiter verfolgt. Ausschlaggebend für den Planungsstop waren die Bedenken hinsichtlich eines Wettbewerbsnachteils des Hamburger Hafens bei zeitweiliger Abdämmung der Zufahrt zum Hafen, unter anderem auch deshalb, weil die Zufahrt zum Europoort Rotterdam durch das Sperrwerk im Nieuwe Waterweg nicht beeinträchtigt wird.

Bei der Abdämmung von Hauptschiffahrtsstraßen werden große Öffnungsweiten notwendig, die spezielle konstruktive Lösungen erfordern. Die Sicherheitskonzepte der Großsperrwerke weichen vom Prinzip der Doppelten Torsicherheit ab. Die einzelnen Komponenten der Sperrwerksverschlüsse werden jeweils so bemessen, dass die Gesamtversagenswahrscheinlichkeit den erforderlichen Sicherheitsstandards entspricht. Hierzu sind detaillierte Schadensanalysen zur Beurteilung des Zusammenwirkens der einzelnen Versagenskomponenten notwendig. Auf das Prinzip der Redundanz wird auch bei diesen Verschlussorganen nicht vollständig verzichtet; es werden jedoch nur Teile der Verschlussorgane, beispielsweise die Antriebe, redundant ausgelegt.

Die Verschlussysteme der realisierten Großsperrwerke in England und Holland

zeichnen sich dadurch aus, dass sich die Antriebe und Lager entweder dauerhaft oberhalb der Wasserlinie befinden, oder dass sie in diese wartungs- und reparaturfreundliche Stellung gefahren werden können. Die auf die Verschlüsse wirkenden Lasten werden in konventioneller Weise zu den Pfeilern hin abgetragen. Gemäß den Sicherheitsanalysen sind Funktionseinheiten verstärkt (z.B. Sperrschilde) oder redundant (z.B. Antriebe) ausgelegt.

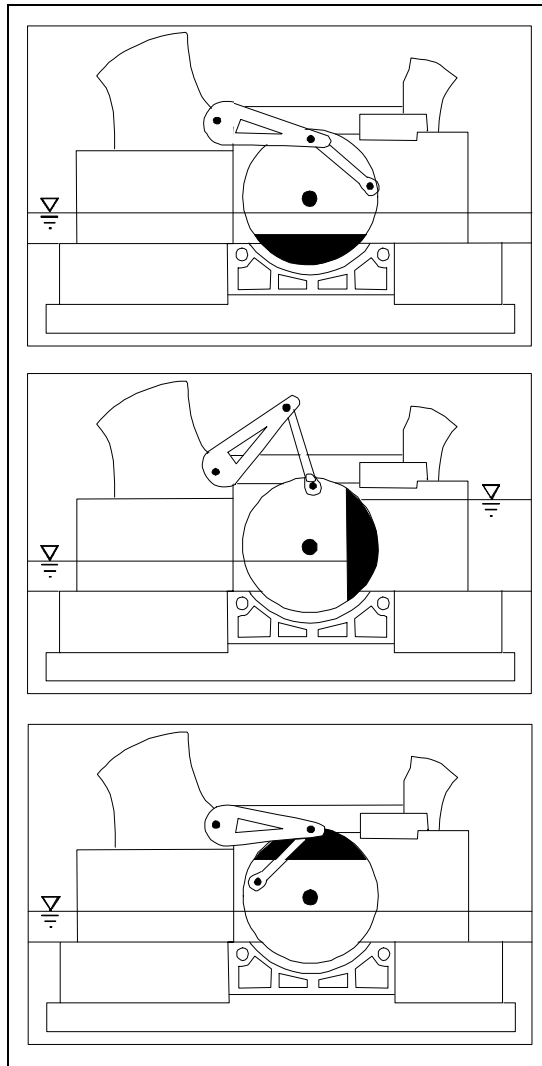


Abb. 39: Prinzipskizze Segmentverschluß Themse-Sperrwerk

Das beim Emssperrwerk in Realisierung befindliche Verschlusssystem der Hauptöffnung wurde bereits in ähnlicher Form bei dem 1982 in Betrieb genommenen Themse Sperrwerk angewandt. Die Stauschilde der Segmenttore des Themse-Sperrwerks befinden sich in Ruhestellung im Sohlbauwerk und werden um 90° in die Sperrstellung gedreht. Bei weiterer Drehung um 90° werden sie zu Inspektions- und Reparaturzwecken aus dem Wasser gehoben (Abb. 39). Die lichten Weiten der Hauptschiff-

fahrtsöffnungen betragen 61 m und die der Nebenöffnungen 31,5 m (BAYER 1986).

Das Oosterscheldesperwerk besteht aus 66 Spannbetonpfeilern, die im Achsabstand von 45 m gesetzt sind. Obere und untere Hohlbalken zwischen den Pfeilern dienen als Anschlag für Hubschütze (Abb. 40) die über jeweils zwei Hydraulikzylinder angetrieben werden (DOSBOUW 1984). Die Schütze der Durchlassöffnungen sind in Ruhestellung für Wartungs- und Reparaturzwecke zugänglich. Die Schifffahrt gelangt über ein Schleusenbauwerk in die Oosterschelde.

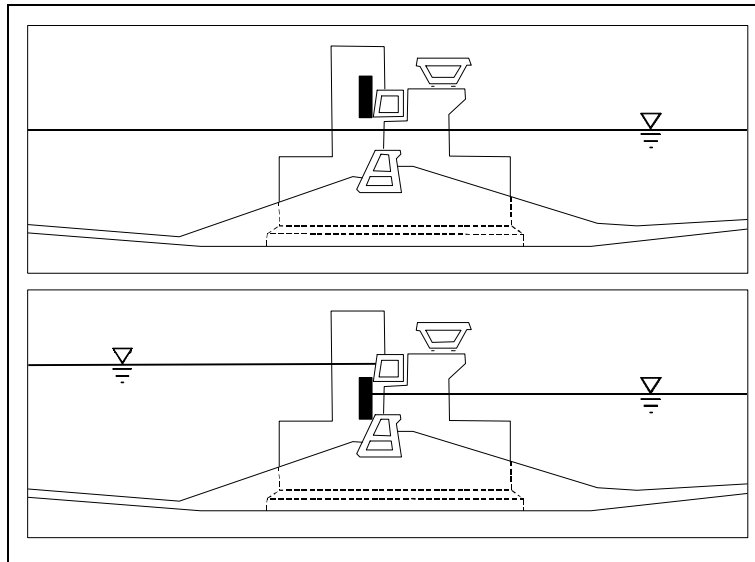


Abb. 40: Prinzipskizze Hubschütz Oosterscheldesperwerk

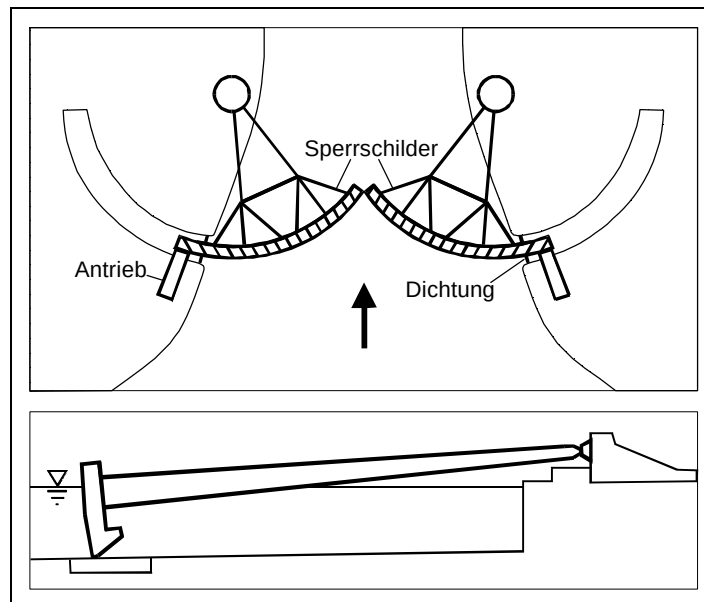


Abb. 41: Prinzipskizze Segmentverschluss Sperrwerk Nieuwe Waterweg

Beim Sperrwerk im Nieuwe Waterweg werden zwei Segmentverschlüsse (Abb. 41) eingesetzt, die von beiden Ufern aus schwimmend um ein in Beton gelagertes Kugelgelenk in das Fahrwasser gedreht und dort auf einen Betondrempel abgesetzt werden (KOPPE 1999). Diese Torkonstruktion bietet eine freie Durchfahrtsbreite von 360 m. In Ruhestellung werden die Segmentverschlüsse in seitlichen Trockendocks ver wahrt und können dort gewartet werden.

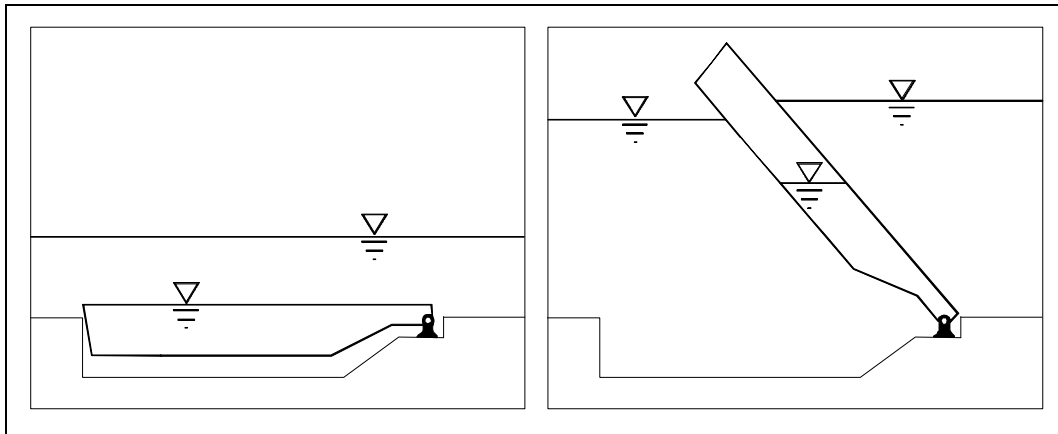


Abb. 42: Prinzipskizze der geplanten Sperrwerkskonstruktion zum Schutz Venedigs

Für den Hochwasserschutz Venedigs ist der Bau von Sperrwerken in den drei 360 bis 420 m breiten Lagunenöffnungen geplant, die einen geringen Verbauungsgrad aufweisen und sich möglichst unauffällig in die Umgebung einfügen sollen. Hierfür ist ein Klappensystem vorgesehen (Abb. 42) dessen Drehachse im Sohlbauwerk liegt (BROTTO, GENTILOMO 1998). In Ruhestellung sind die mit Hohlkammern versehenen Klappen geflutet und liegen auf dem Drempel. Wird das Wasser mittels Pressluft aus den Hohlräumen verdrängt, heben sich die Klappen und erreichen die Sperrfunktion. Sie sollen einen maximalen Außenstau von 2,50 m kehren. Die Planungen sehen 20 m breite Stahlklappen vor, die jeweils einzeln beweglich gelagert sind und in einem Winkel von 40 bis 50° gegen die Waagerechte ihre Sperrstellung erreichen. Die Klappen weisen eine Höhe von 20 bis 30 m und eine Stärke von 3 bis 5 m auf. Zwischen den einzelnen Klappen verbleibt ein geringer Spalt, wobei die hierdurch in die Lagune strömenden Wassermengen als unerheblich angenommen werden (SASS 1986). Die Betriebstechnik wird in unterhalb des Drempels befindlichen Tunneln untergebracht. Die Drehachsen und die Klappen selbst befinden sich ständig unter der Wasseroberfläche und sind somit nicht für Wartungs- und Reparaturzwecke zugänglich.

Die Realisierung des Projektes ist umstritten. Umweltschützer befürchten eine Verschlechterung der Wasserqualität in der Lagune infolge eines erhöhten Verbauungs-

grades der Lagunenöffnungen durch die geplanten Klappensysteme sowie infolge eines unterbundenen Wasseraustausches zwischen Lagune und dem Golf von Venedig bei Hochwasser. Dem gegenüber steht die Befürchtung, dass die einzigartige historische Bausubstanz Venedigs durch Hochwasserereignisse zerstört werden kann. Im März 2001 beschloss der Ministerrat, ein Untersuchungsprogramm durchzuführen, das vor einer endgültigen Entscheidung für oder wider eines Sperrwerksbaus abgeschlossen sein muss (SALVE 2001). Es sollen u.a. Möglichkeiten zur Verbesserung des Wasseraustausches durch die drei Lagunenöffnungen unter Berücksichtigung des geplanten Sperrwerksbaus sowie zur Erhöhung befestigter Siedlungsgebiete auf eine Höhe von 1,20 m über den Meeresspiegel unter Berücksichtigung städtebaulicher und architektonischer Randbedingungen untersucht werden.

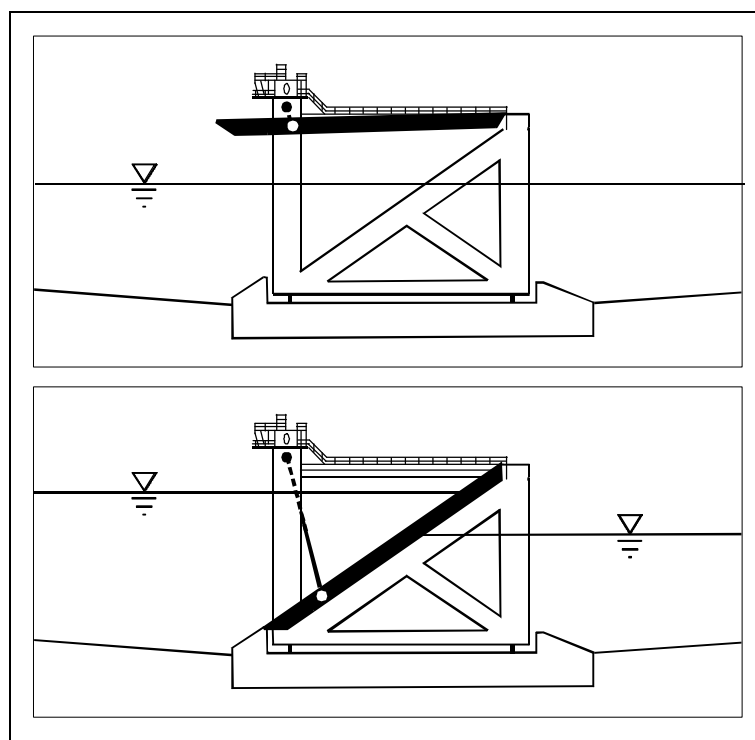


Abb. 43: Prinzipskizze Schiebetore des Sperrwerksentwurfs zum Schutz von Hamburg

Die bisherigen Planungen für ein Sturmflutsperrwerk in der Elbe zum Schutz des Hamburger Stadtgebietes sehen ein Sperrtor vor, das wie ein Schiebetor, jedoch mit geöffneten Klappen, in den Flussquerschnitt ein- und ausgefahren wird (HÖFT 1988). Die auf die Konstruktion während des Bewegungsvorgangs wirkenden Kräfte sind wegen des geringen Verbauungsgrad vergleichsweise klein. Erst wenn sich das Schiebetor in seiner Endstellung befindet, werden die Klappen gesenkt und die

Sperrfunktion erreicht (Abb. 43). Die dann wirkenden Kräfte werden über den Drem-pel in den Untergrund geleitet. Bei einem Ausfall des Klappenantriebs, schließen die Klappen durch ihr Eigengewicht und öffnen sich einen Spalt weit bei ausreichendem Binnenstau. In Ruhestellung befindet sich die Verschlusskonstruktion in einem Tro-ckendock. Die einzigen ständig unter Wasser liegenden Elemente sind die Füh-rungsschienen für das Tor, die über einen Betriebsgraben zugänglich gemacht wer-den können. Entsprechend einer Untersuchung des Germanischen Lloyds (GL 1987) entspricht der geplante Verschluss grundsätzlich den bestehenden Sicherheitsbedingungen, detaillierte Untersuchungen stehen jedoch noch aus. Insbesondere die Frage des sicheren Schließens bei Eisgang muss gesondert untersucht werden.

Gewebeverstärkte Schlauchbahnen, die durch Endpfeiler in ihrer Lage gehalten werden, den Hauptteil der auftretenden Lasten jedoch in den Untergrund abtragen, wurden bisher weltweit erst einmal als Sturmflutschutz eingesetzt, und zwar in Ramspol, Niederlande (RWS 1999). Eine breite Anwendung finden diese Bauteile allerdings international, insbesondere in Japan, seit rund fünfzig Jahren als Schlauchwehre im Flussbau. Bei den im Flussbau eingesetzten Schlauchwehren handelt es sich um fest installierte Schlauchbahnen, die je nach Abflussmenge zum Erreichen eines einheitlichen Stauziels über Pumpanlagen mit Wasser oder Luft befüllt oder entleert werden. Es werden üblicherweise Elemente von 2 m Höhe und 100 m Länge bis zu 6 m Höhe und 20 m Länge eingesetzt (SATUJO) In Mehrfeld-Ausführung, jeweils mit Zwischenpfeilern ausgestattet, sind die Wehranlagen in unbegrenzter Länge realisierbar.

Temporäre Hochwasserschutzdämme aus Schlauchbahnen sind am Boden auf Grundplatten und seitlich in Pfeilerbauwerken über Befestigungsschienen eingefasst. Die Größe der Grundplatte ist abhängig von der Ablagefläche der entleerten Schlauchbahn und damit von der Länge der Bahn, von der gewünschten Stauhöhe und von der Art des Füllmediums. Die Breite der Grundplatte beträgt (HYDROCONSTRUCT 1999):

- bei luftgefüllten Schläuchen 1,8 x Stauhöhe
- bei wassergefüllten Schläuchen 2,4 x Stauhöhe

Die Schlauchbahn besteht aus dem Verbund eines Gewebes und eines elastischen Materials, beispielsweise Gummi. Die Gewebeeinlage dient zur Lastaufnahme und zur Formerhaltung, das elastische Material zur Dichtung und zum Schutz vor Abrieb. Der Betrieb im Winter auch bei mehrere Wochen andauernden Temperaturen unter -10°C stellt nach OBERLEITNER, VISCHER (1983) auch bei wassergefüllten

Schlauchwehren kein Problem dar, da die Wassertemperatur der Flüsse i.d.R. deutlich über 0°C liegt. Die automatische Funktionstüchtigkeit der Schlauchverschlüsse wird demnach nicht beeinflusst. Lokale Löcher an der Haut der Schlauchbahn durch Stiche oder Schnitte können in einfacher Weise durch Kaltverklebung, Pfropfen oder schraubbare Dichtelemente beseitigt werden (OBERLEITNER, VISCHER 1983)

Schlauchwehre weisen gegenüber massiven Wehranlagen aus Beton oder Stahl die folgenden Vorteile auf:

- Geringe Korrosionsprobleme
- Einfacher konstruktiver Aufbau mit stufenloser Einstellung der Stauhöhe
- Gleichmäßiger Eintrag der Lasten in den Untergrund
- Einfacher Bau gekrümmter Wehranlagen
- Im Hochwasserfall sichere Entfernung des Wehrkörpers aus dem Flussquerschnitt möglich (keine Bemessung nach der "Weitergehenden (n-1)-Bedingung" (DVWK 1990) notwendig)
- Einfache Sanierung alter Wehranlagen
- Kostengünstig

Die genannten Vorteile lassen sich jedoch nicht ohne Einschränkungen auf den Einsatz gewebeverstärkter Schlauchbahnen im Hochwasserschutz übertragen. Die Verschlussfunktion wird im Hochwasserschutz gerade bei extrem hohen Wasserständen und Belastungen gefordert, so dass die Schlauchbahn die Sperrfunktion sicher bei Höchstbelastungen garantieren muss.

Aus den Erfahrungen im Wehrbau kann festgestellt werden, dass die Dichtwirkung und Abriebbeständigkeit gewebeverstärkter, gummielastischer Werkstoffe hoch ist; eine oftmals weit überschrittene Mindestlebensdauer von 15 bis 20 Jahren kann i.d.R. angesetzt werden (GISSING, 1990). Nach SATUJO ist bei 2.000 Bauwerken eine Lebensdauer von über 40 Jahren festgestellt worden. Probleme bei Treibgutstoß und Eisgang sind bei ausreichender Materialstärke wegen der Fähigkeit zur elastischen Reaktion gering. Die Schläuche sind im Wehrbetrieb allerdings i.d.R. gefüllt, während sie sich beim Sperrwerksbetrieb in der überwiegenden Zeit in Ruhestellung gefaltet in einer Sohlrinne befinden. An den Knickpunkten können überdurchschnittliche Schwächungen des Materials nicht ausgeschlossen werden. Diese Fragestellung bedarf bei einem Einsatz als Hochwasserschutzmaßnahme einer näheren Untersuchung, siehe auch Kap. 6.2.2.3. Grundsätzlich ist der Einsatz von Schlauchwehren, verglichen mit massiven Beton- oder Stahlwehrkörpern, kostengünstig.

Das Sturmflutsperrwerk in Ramspol (Abb. 44) zum Schutz des Gebietes West-Overijssel wurde im Jahr 2000 fertiggestellt. Dem Sperrwerk wird möglicherweise wegen der Verwendung von befüllbaren Schläuchen in Zukunft eine Vorreiterrolle bei der Anwendung dieser kostengünstigen und sich gut in das Landschaftsbild einbindenden Technologie zum Hochwasserschutz zukommen. Aus diesem Grund wird die Konstruktion des Sperrwerks sowie wichtige technische Daten im folgenden näher erläutert.

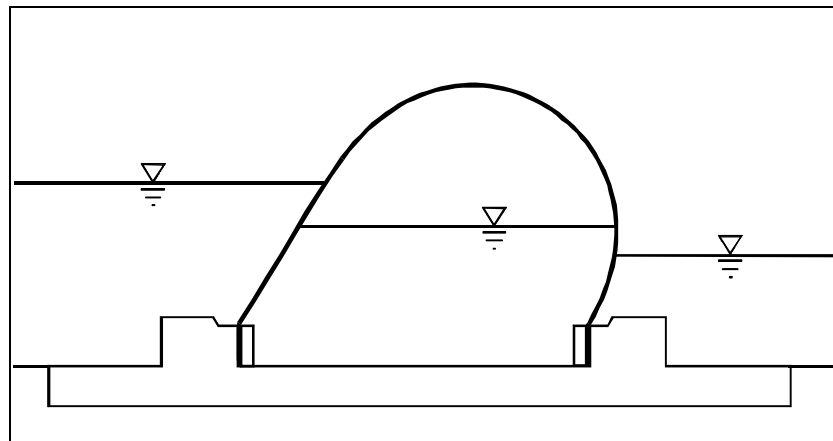


Abb. 44: Prinzipskizze Schlauchsperrwerk Ramspol

Das Sperrwerk in Ramspol besteht aus drei mit Wasser und Luft befüllbaren Schläuchen mit einer Länge von jeweils 75 m und einer Höhe im Sperrzustand von 8 m. Die einzelnen Segmente binden beidseitig in End- und Zwischenbauwerke aus Beton ein. Die signifikante Bemessungswellenhöhe beträgt $H_s = 1,45$ m mit einer zugehörigen Peakperiode von $T_p = 4,2$ s. Die Befüllung erfolgt zur Hälfte mit Wasser und zur Hälfte mit Luft. Hierdurch steht eine ausreichende Wasserlast im Dammkörper dem im Hochwasserfall wirkenden Grundwasserdruck entgegen. Außerdem ist der Umfang der Schläuche infolge der teilweisen Luftfüllung mit 24,2 m vergleichsweise gering. (DH 1999)

Der Drempeel weist eine Breite von 15,4 m auf. Die Dicke des verstärkten Gummimaterials beträgt 1,6 cm und das Material weist ein Flächengewicht von $19,3 \text{ kg/m}^2$ auf. Jeder Schlauch wiegt ohne Füllung 33 Tonnen. Die Schließzeit des Sperrwerks beträgt maximal 1 Stunde, die Ausfließzeit maximal 2 Stunden. Der Schließpegel beträgt +0,5 m NAP (Normaler Amsterdamer Pegel) bei einem Bemessungshochwasserstand von +3,55 m NAP. Somit kann von einer maximalen Wasserstands Differenz von rund 3 m ausgegangen werden. Die minimale Lebensdauer des Schlauchmaterials wird zu 25 Jahren angenommen, die pneumatische Anlage wurde entsprechend einer Versagenswahrscheinlichkeit von 1/10.000 Jahre bemessen. (WGS

1999)

6.2.2.2.5 Planungsgrundlagen für Sturmflutsperrwerke an der deutschen Ostseeküste

Die Bemessungsgrundlagen für Sperrwerke an der deutschen Nord- und Ostseeküste unterscheiden sich in einigen Punkten grundlegend. Der Tideeinfluss an der Ostsee ist sehr gering, womit auch die in die Flussmündungen einschwingenden Tidefüllen kleine Werte annehmen. Die Durchflüsse durch das geöffnete Sperrwerk ergeben sich allein aus dem Oberwasserabfluss und den infolge Windstau flussaufwärts strömenden Wassermengen. Die Oberwassermengen der für einen Sperrwerksbau in Frage kommenden Flüsse Ryck, Warnow, Trave und Schlei sind auch bei Hochwasserführung gering verglichen mit Flüssen wie Elbe und Ems. Aus hydraulischer Sicht können wegen der relativ geringen Durchflussmengen in den Flussmündungen an der Ostsee größere Verbauungsgrade zugelassen werden als an der Nordsee. Zusätzlich zur Schifffahrtsöffnung angeordnete Durchflussöffnungen sind bezüglich der anfallenden Wassermengen nicht notwendig. Der teilweise Verbau der natürlichen Flussbreite durch Dämme ist technisch möglich, dem können jedoch ökologische und landschaftsplanerische Gesichtspunkte entgegenstehen.

Die Verweilzeiten von Sturmfluten an der deutschen Ostseeküste können die der Nordsee übersteigen, so dass vergleichsweise lange Schließzeiten möglich sind, siehe Kap. 3.4. Der während der notwendigen Schließzeiten maximal mögliche Binnenstau muss zur Bemessung des den Binnenstau kehrenden binnenseitigen Hochwasserschutzes berechnet werden. Die Höhe des Binnenstaus hängt von der Betriebsweise des Sperrwerks und damit von den anzusetzenden Schließ- und Öffnungswasserständen ab.

Infolge des sehr geringen Tidehubs der Ostsee sind die Differenzen zwischen Hoch- und Niedrigwasserspiegellagen an der Ostseeküste kleiner als an der Nordseeküste, und es ergeben sich geringere Höhen der Verschlusselemente.

Die dynamische Belastung aus Seegang ist abhängig von der Lage des Sperrwerks und kann nicht in allgemeiner Form anhand der bestehenden Unterschiede der im freien Seegebiet der Nord- und Ostsee vorhandenen Seegangsverhältnisse abgeschätzt werden.

Unterschiede in der Belastung durch Eisgang ergeben sich einerseits aus den unterschiedlichen Klimabedingungen und andererseits aus den verschiedenen Salzgehalten des Nord- und Ostseewassers. Die Kältesummen der Wintermonate stei-

gen mit zunehmender Ostlage des betrachteten Küstengebiets an. Der Salzgehalt des Nordseewassers liegt bei 33 g/l, während das Oberflächenwasser der Ostsee an den Ostseeausgängen und in der Beltsee bei 25 bis 15 g/l und in der zentralen Ostsee bei 8 bis 6 g/l Salz enthält (MATTHÄUS 1995). Diese beiden Faktoren führen zu einer Zunahme der Anzahl der Eiswinter, der Eisstärken und der Eisfestigkeit von West nach Ost. Zudem kommt es im deutschen Küstenraum insbesondere bei stabilen Ostwindlagen und den hiermit einhergehenden sehr tiefen Temperaturen zu starker Eisbildung. Ostwinde führen an der deutschen Nordseeküste zu einem Windsunk und an der deutschen Ostseeküste zu einem Windstau. Die Kopplung Hochwasserereignis und beträchtlicher Eisgang tritt damit an der deutschen Ostseeküste häufiger auf als an der deutschen Nordseeküste. Entsprechend Kap. 2.5 ist an der deutschen Ostseeküste allgemein bei der Bemessung von Hochwasserschutzanlagen der Lastfall Eisgang einzubeziehen. Die in die Bemessung eingehenden Eisstärken und Eisfestigkeiten sind nach der jeweiligen örtlichen Lage zu untersuchen. Die für Sperrwerke an der deutschen Ostseeküste zu wählenden Verschlüsse müssen auch bei Eisgang sicher zu bedienen sein. Zur Eisräumung der Sperrwerksöffnung müssen Eisbrecher zur Verfügung stehen. Unter Umständen sind Untersuchungen am physikalischen Modell zur Betriebssicherheit der Verschlusselemente bei Eisgang durchzuführen.

Unter Berücksichtigung der besonderen Verhältnisse an der deutschen Ostseeküste werden im folgenden Aspekte zur Wahl geeigneter Verschlusssysteme von Sturmflutsperrwerken zusammenfassend dargestellt. Hierbei werden sicherheitstechnische und verkehrliche Überlegungen als übergeordnete Gesichtspunkte angesehen.

Sicherheitstechnische Aspekte

- Bezüglich des Eisgangs weisen Stemm- und Hubtore wegen der Vereisungsproblematik in den Führungsnischen eine stärkere Empfindlichkeit auf als Segmentverschlüsse. Bei Stemmtoren können beim Schließvorgang zudem Probleme durch sich in die Sperrwerkstore verkeilende Eisschollen entstehen. Die Betriebssicherheit von Klapptoren bei Eisgang kann durch ein ausreichendes Eigengewicht und einen starken Antrieb sowie eine ausreichend dimensionierte Lagerung zur Verhinderung des Verkantens erreicht werden. Die bisher im Sperrwerksbau in Deutschland noch nicht eingesetzten Sektorverschlüsse, die zum Schutz von Venedig vorgesehenen aufschwimmenden Klappen und Verschlüsse aus Schlauchbahnen weisen bezüglich des Betriebs bei Eisgang Vorteile auf, da Eisschollen bei Erstellung der Sperrfunktion durch das Auftauchen der Verschlüsse verdrängt werden

können. Die Großsperrwerksvariante zum Schutz von Hamburg, die eine Kopplung eines Schiebetores mit Klappenverschlüssen vorsieht, muss entsprechend eines Gutachtens des Germanischen Lloyds (GL 1987) noch eingehend auf die Tauglichkeit bei Eisgang hin untersucht werden. Bei entsprechend stark ausgelegten Antrieben eines beim Themse-Sperrwerk realisierten und beim Emssperrwerk in Bau befindlichen Drehsegmentverschlusses ist ein sicherer Betrieb bei Eisgang zu erwarten.

- Bezüglich der Wartungs- und Reparaturmöglichkeiten weisen Segment-, Klapp- und Hubverschlüsse wegen der in Ruhestellung oberhalb des Wasserspiegels gelagerten beweglichen Elemente gegenüber herkömmlichen, nicht im Trockendock gelagerten Stemmtoren sowie Sektortoren, Schlauchverschlüssen und aufschwimbaren Klappen Vorteile auf. Bei einem um 180° drehbaren Drehsegmentverschluss (Themse-Sperrwerk, Emssperrwerk) ist die erforderliche Wartungsfreundlichkeit ebenfalls gegeben.
- Bezüglich der Dichtigkeit des Verschlusssystems sind nähere Untersuchungen bei einer Übertragung des für den Schutz von Venedig geplanten Sperrwerksentwurfs aus einzelnen aufschwimbaren Klappen auf die an der deutschen Ostseeküste vorhandenen geographischen Bedingungen sowie den wirkenden statischen und dynamischen Lasten notwendig.
- Das Sicherheitskonzept der Doppelten Torsicherheit oder die auf einer gründlichen Sicherheitsanalyse basierende einfache Torsicherheit, mit teilweise redundant ausgelegten und teilweise mit Sicherheitszuschlägen bemessenen Komponenten ist anzuwenden.

Verkehrliche Aspekte

- Bezüglich der freien Durchfahrtshöhe bei Schifffahrtsöffnungen weisen Stemmtore, Sektor- und Schlauchverschlüsse Vorteile gegenüber Hubtoren sowie herkömmlichen Segment- und Klappverschlüssen auf. Die Kopplung eines Schiebetores mit Klappenverschlüssen gemäß des Hamburger Sperrwerksentwurfes liefert ebenfalls eine freie Durchfahrtshöhe.
- Aus technischer und verkehrlicher Sicht hängen die geforderten lichten Öffnungsweiten von der Durchflussmenge und dem Schiffsverkehr ab. Wegen der vergleichsweise geringen Durchflussmengen an den an der deutschen Ostseeküste mündenden Flüsse ist der bestimmende Faktor der Schiffsverkehr. Die Breite der Schifffahrtsöffnung ist in Abstimmung mit den Wasser- und Schifffahrtsbehörden und den Sportschifffahrtsvereinigungen zu wählen.

Gesonderte Durchflussöffnungen sind an der Ostsee aus technischen Gründen nicht erforderlich.

Beim Bau eines Sturmflutsperrwerks an der deutschen Ostseeküste sind jeweils detaillierte hydraulische Untersuchungen hinsichtlich der Bauwerkswirkung auf den Sedimenthaushalt, auf die Strömungsverhältnisse sowie Untersuchungen zur sicheren Betriebsweise notwendig.

Bei der Auswertung der sicherheitstechnischen und verkehrlichen Aspekte weisen die um 180° drehbaren Drehsegmentverschlüsse (vergleichbar mit dem Themse- und dem Emssperrwerk) eindeutige Vorteile auf. Bei der Wahl von Sektor- und Schlauchverschlüssen muss ein Sperren der Öffnung außerhalb der Sturmflutaison mit Hilfe von Notverschlüssen für Wartungs- und Reparaturmaßnahmen ermöglicht werden. Hierzu sind gesondert verschließbare Durchflussöffnungen im anschließenden Dammbauwerk anzuordnen, um einem aus dem Oberwasser resultierenden Binnenstau während der Sperrzeit entgegenzuwirken. Die den Großsperrwerken im Nieuwe Waterweg und in der Elbe zugrunde liegenden Konzepte sind ggf. bei näherer Untersuchung der Betriebssicherheit bei Eisgang auch in der Ostsee einsetzbar. Untersuchungen der Dichtigkeit des für Venedig geplanten Klappensystems unter den an der deutschen Ostseeküste gegebenen Randbedingungen sind ebenso notwendig, wie der Nachweis des sicheren Betriebs von Stemmtoren bei Eisgang.

Ausgehend von den sicherheitstechnischen und den verkehrlichen Aspekten werden im folgenden ökologische, stadt- und landschaftsplanerische sowie ökonomische Gesichtspunkte bei der Wahl geeigneter Verschlussysteme von Sturmflutsperrwerken an der deutschen Ostseeküste betrachtet.

Ökologische Aspekte

- Aus ökologischer Sicht kann eine Minimierung des Verbauungsgrades zur Verringerung des Bauwerkseinflusses auf den Wasserhaushalt gefordert werden. Dies ist entweder durch die Anlage von zusätzlichen Durchflussöffnungen oder durch eine der Flussbreite entsprechende Schifffahrtsöffnung zu realisieren. Die an der Themse eingesetzten und an der Ems im Bau befindlichen Drehsegmentverschlüsse weisen lichte Weiten von rund 60 m auf. Dies entspricht der Breite des zum Schutz der Hansestadt Greifswald abzusperrenden Rycks, unterschreitet jedoch die mündungsnahen Flussbreiten der Warnow, Trave und Schlei deutlich. Hier könnte eine kombinierte Verschlusskonstruktion entsprechend des Sperrwerks im Nieuwe Waterweg oder der Sperrwerksentwürfe für Venedig oder Hamburg Lösungsmöglichkeiten bieten,

sofern ein sicherer Betrieb bei Eisgang garantiert werden kann. Herkömmliche Stemm- und Hubtore sind für die geforderten lichten Weiten in einem Einzelfeld nicht geeignet.

Stadt- und landschaftsplanerische Aspekte

- Aus stadt- und landschaftsplanerischer Sicht kann die Forderung nach einem möglichst unauffälligen technischen Bauwerk gestellt werden, um eine bessere Einbindung in das Stadt- und Landschaftsbild sowie ungehinderte Sichtbeziehungen zu gewährleisten. Vorteile bieten in die Sohle absenkbare Sektor-, Klappen- und Schlauchverschlüsse bei Beachtung der sicherheitstechnischen Einschränkungen.
- Aus stadt- und landschaftsplanerischer Sicht kann auch ein architektonisch interessant gestaltetes technisches Bauwerk bei geringen Einschränkungen der Sichtbeziehungen Vorteile bieten. Als Vorbilder können Verschlussysteme des Sperrwerks im Nieuwe Waterweg und des geplanten Elbesperrwerk unter Berücksichtigung der Eisproblematik dienen.
- Aus stadtplanerischer Sicht ist bei der Verwendung eines Schiebetores mit integrierten Klappen gemäß des Entwurfs des Hamburger Sturmflutsperrwerks darauf zu achten, dass ausreichend Raum zur Verfügung steht, um das seitliche Trockendock anzuordnen.

Ökonomische Aspekte

- Große lichte Weiten und Höhen der Sperrwerksöffnungen erhöhen die Baukosten signifikant. Die bis zur Fertigstellung des Sperrwerks im Nieuwe Waterweg mit einer lichten Weite von 360 m und einer unbegrenzten Durchfahrtshöhe bei einer mittleren Wassertiefe von 17 m im Jahre 1997 entstandenen Kosten belaufen sich auf 1 Milliarde Gulden (450 Millionen Euro) (MVWÖ 1997).
- Schlauchbahnen stellen eine kostengünstige Verschlussvariante dar, deren Verwendung im Hochwasserschutz jedoch wegen sicherheitstechnischer Bedenken bisher noch umstritten ist. Eine lichte Öffnungsweite von 75 m ist nach den Erfahrungen in Ramspol durch eine Schlauchbahn realisierbar.
- Großbauwerke wie Sturmflutsperrwerke müssen immer gemäß den vor Ort gegebenen naturräumlichen, gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Randbedingungen geplant und gebaut werden. Intensive Variantenvergleiche und weitere Voruntersuchungen können die Gesamtbaukosten erheblich verrin-

gern.

Gesichtspunkt	Konventioneller Hochwasserschutz	Mündungsnahes Sperrwerk
Baukosten	In erster Linie abhängig von den Grunderwerbskosten, dem anstehenden Baugrund, den zu verbauenden Erdmengen (Deich, Düne) und weiteren Baustoffen (HWS-Mauer), der Fußsicherung, den ggf. notwendigen Deckwerkskosten	In erster Linie abhängig von der konstruktiven Ausbildung (und damit von den Lasten aus Wasserstand, Seegang und Eisgang sowie sicherheitstechnischen und ästhetischen Gesichtspunkten), der Durchfahrtsbreite (und damit vom Schiffsverkehr und hydraulisch, ökologisch, stadt- und landschaftsplanerisch zulässigem Verbauungsgrad), den Baugrundverhältnissen, den zusätzlich notwendigen Anschlussdeichen
Zeitliche Verteilung der Baukosten	Bei der Realisierung in Teilschritten über längeren Zeitraum möglich	Über kurzen Zeitraum
Unterhaltungskosten	Jährlich zweimalige Deichschau, ggf. Reparaturmaßnahmen, Pflegemaßnahmen bei Gründeichen, Probetrieb und ggf. Reparatur von beweglichen Verschlüssen in der HWS-Linie	Jährlicher Probetrieb des Sperrwerks, Reparatur- und Wartungsarbeiten
Benötigtes Personal	Deichschau durch Fachpersonal der Staatlichen Ämter, Reparaturmaßnahmen durch beauftragte Firmen	Wartungsarbeiten und Probetrieb durch speziell geschultes Fachpersonal
Sicherheitskonzept	Jederzeit gegebene Sicherheit zur Kehrung von Hochwasserständen entsprechend den Bemessungskriterien; Einschränkung: Öffnungen in der HWS-Linie müssen bei Hochwassergefahr geschlossen werden, Vorhaltung von Fachpersonal	Kehrung von Hochwasserständen nur nach erfolgreichem Schließvorgang – sicherer Betrieb unter denkbar ungünstigen Umständen muss gesichert sein, Dauer des Verschlussvorgangs gemäß der gegebenen Vorwarnzeit, Vorhaltung von Fachpersonal
Flächenbedarf	Vergleichsweise hoher Flächenbedarf	Vergleichsweise geringer Flächenbedarf
Beeinträchtigung der Schifffahrt	keine	Während der Verschlusszeiten, bei geringen lichten Öffnungsweiten ggf. auch in Ruhestellung
Beeinträchtigung des Flussregimes	Bei Hochwasser durch Abdämmung tiefliegender Gebiete, ansonsten i.d.R. keine Beeinträchtigung	Bei Hochwasser vollständige Abdämmung des Flusses, ansonsten abhängig vom Verbauungsgrad
Beeinträchtigung des Verkehrs an Land	Verkehrswege kreuzen teilweise die HWS-Linie, zusätzliche Beeinträchtigung während der Bauzeit	Verkehrswege kreuzen ggf. Anschlussdeiche, zusätzliche Beeinträchtigung während der Bauzeit
Beeinträchtigung des Stadt- und Landschaftsbildes	Großflächige Ausdehnung der Hochwasserschutzbauwerke, Einpassung abhängig von der Höhe über Gelände, senkrechter bzw. geböschter Bauweise, der Begehbarkeit, den verwendeten Materialien	Vergleichsweise geringe Ausdehnung des technischen Großbauwerks, Einpassung abhängig von der Bauwerkshöhe über NN, der Konstruktion und der Lage der Anschlussdeiche
Besiedlungsfläche	Vergleichsweise geringer Zugewinn an nutzbaren Flächen, die jedoch weiterhin potentiell überflutungsgefährdet sind	Vergleichsweise hoher Zugewinn an nutzbaren Flächen, die jedoch weiterhin potentiell überflutungsgefährdet sind
Anpassungsmöglichkeit an erhöhte Wasserstände bzw. an ein erhöhtes Schutzbedürfnis	Anpassung der bestehenden Deiche, Dünen und, abhängig von der Konstruktion, HWS-Mauern ist in Abhängigkeit vom anstehenden Boden und der stadtplanerischen Akzeptanz möglich	Erhöhung i.d.R. nur durch Neubau möglich

Tab. 23: Gesichtspunkte beim Bau von technischen Hochwasserschutzanlagen in Form konventioneller Lösungen und von Sturmflutsperrwerken

In Tab. 23 sind die grundsätzlich zu erwägenden Aspekte beim Bau von technischen

Hochwasserschutzanlagen in Form konventioneller Lösungen (wie Deiche, Dünen und Hochwasserschutzwände) und Sturmflutsperrwerke gegenübergestellt. Die Entscheidung für oder wider ein Sturmflutsperrwerk muss im Einzelfall getroffen werden.

6.2.2.3 Temporärer und mobiler Hochwasserschutz

Der Einsatz von temporären oder mobilen Bauwerken zum Schutz vor hohen Wasserständen kann in räumlich beengten Stadtgebieten oder bei der insbesondere bei intensiver touristischer Nutzung gestellten Forderung nach freien Sichtbeziehungen auf die Ostsee ohne störende technische Bauwerke sinnvoll sein. Temporäre Hochwasserschutzanlagen sind fest installierte Anlagen, die im Vorhaltezustand nur wenige über Gelände ragende Elemente aufweisen und nur bei drohender Hochwassergefahr per Motorkraft oder manuell in ihre volle Schutzhöhe gebracht werden. Mobile Hochwasserschutzanlagen werden erst im Bedarfsfall an den Einsatzort gebracht und sind ansonsten an einem anderen, nicht weit vom Einsatzort entfernten Platz untergebracht.

Im Einsatz befindlich sind temporäre und mobile Hochwasserschutzanlagen bisher hauptsächlich zum Schutz von Stadtgebieten gegen Flusshochwasser, bspw. zum Schutz von Köln gegen Rheinhochwasser. Erfahrungen über den Einsatz dieser Anlagen im deutschen Küstenbereich liegen bisher nicht vor.

Im folgenden sollen verschiedene temporäre und mobile Hochwasserschutzsysteme beschrieben und die Möglichkeit ihres Einsatzes an der deutschen Ostseeküste diskutiert werden. Hierbei sind insbesondere sicherheitstechnische Aspekte zu beachten. Die Betriebsweise, Konstruktion und die eingesetzten Materialien sind abhängig von der zur Verfügung stehenden Vorwarnzeit, der statischen und dynamischen Belastung aus Wasserstand, Seegang und Eisdruck sowie den aus Witterungseinflüssen und der Zusammensetzung des Seewassers resultierenden physikalischen und chemischen Beanspruchungen. Temporäre und mobile Hochwasserschutzanlagen können in zerlegbare Hochwasserschutzwände oder -dämme sowie wasser- bzw. luftgefüllte Schlauchbahnen unterteilt werden.

6.2.2.3.1 Sicherheitstechnische Aspekte

Die Versagenswahrscheinlichkeit von temporären und mobilen Hochwasserschutzanlagen ist in erster Linie von der Möglichkeit eines sicheren Aufbaus abhängig. Wichtige Einflussgrößen hierfür sind die verfügbare Vorwarnzeit, die Anzahl der in kurzer Zeit mobilisierbaren und mit Sachkenntnis versehenen Aufbaukräfte sowie die

Handhabbarkeit der Schutzkomponenten auch unter widrigen meteorologischen Bedingungen. Zwingend notwendig ist ein genau festgelegter Ablaufplan zum Aufbau des Schutzsystems. Hierin müssen Schwellenwerte bezüglich der Hochwasserstandsprognose definiert sein, ab denen eine Bereitschaft der zu beteiligenden Arbeitskräfte sowie der Aufbau des Schutzsystems administrativ verfügt wird. Persönliches Ermessen der Entscheidungsträger hinsichtlich eines verzögerten Aufbaus der Schutzanlagen muß ausgeschlossen werden, um das Versagensrisiko kalkulieren zu können.

Im Vergleich zu Hochwasserereignissen am Mittellauf eines Flusses, wie bspw. in Köln, sind die an der Ostsee möglichen Vorwarnzeiten kurz. Die verfügbare Vorwarnzeit einer Sturmflut beträgt entsprechend der vorhandenen Hochwasservorhersage 12 Stunden, vgl. Kap. 5.3. Hierbei treten i.d.R. Vorhersagefehler $\Delta > \pm 50$ cm auf (STIGGE 2000b). Wegen der Unsicherheiten in der Vorhersage ist der Aufbau der Anlage bereits bei einem vergleichsweise geringen Schwellenwert notwendig. Die Schutzlinie muss bei hohen prognostizierten Wasserständen vorsorglich installiert werden. Dies führt dazu, dass das System aufwendig installiert werden muss, obwohl der tatsächlich eintretende Hochwasserstand dies teilweise nicht erforderlich gemacht hätte. Diese dem System innewohnende Problematik muss den Entscheidungsträgern ebenso wie der Bevölkerung gegenwärtig sein, um unzutreffende Kritik und daraus u.U. resultierende Handlungsfehler zu vermeiden.

Wegen der kurzen verfügbaren Aufbauzeit, muss eine der eingesetzten Technik sowie der Größe der temporären oder mobilen Schutzanlage entsprechend große Anzahl von Arbeitskräften für die Bedienung der Anlage bei Hochwasser zur Verfügung stehen. Temporäre oder mobile Systeme müssen nicht nur aufgebaut, sondern während ihres Einsatzes auch begutachtet und ggf. repariert werden. Weitere Dienstbereiche sind deshalb bei Sturmflut der für den Aufbau eines temporären oder mobilen Systems verantwortlichen Einsatzgruppe nicht zuzuordnen. Es sollte ein spezieller Personenkreis mit der Bedienung der Anlage beauftragt sein, der nicht dem allgemeinen Katastrophenschutz zugeordnet ist, um die zu erledigenden Arbeitsgänge fachgerecht ausführen zu können. Sinnvoll ist die Einrichtung einer speziellen lokalen Organisation nach dem Vorbild der Mecklenburg-Vorpommerschen Wasserwehren, vgl. Kap.5.4.2.

Die Lagerung aller mobilen Elemente und zum Aufbau benötigten Werkzeuge muss an einem vor Nässe geschützten und gut zugänglichen Ort in der Nähe des Einsatzgebietes erfolgen. Bei der Erstellung von mobilen Hochwasserschutzwänden größerer Länge kann eine Lagerung in Spezialcontainern, die in einfacher Weise

transportiert werden können, von Vorteil sein, um die Elementgruppen direkt an den Einsatzort zu fahren und nicht über lange Strecken manuell zu transportieren. Ersatzelemente und zusätzliche Befestigungstechnik sind in ausreichender Menge vorzuhalten. Der Probeaufbau ist regelmäßig, i.d.R. einmal jährlich, zur Inspektion der Einzelteile und zur Übung der Aufbauarbeiten vorzunehmen.

Insgesamt kann ein geringes Versagensrisiko beim Einsatz temporärer oder mobiler Systeme nur dann gewährleistet werden, wenn nicht nur die technischen Bauteile selbst, sondern auch die administrativen Rahmenbedingungen entsprechend konzipiert sind.

6.2.2.3.2 Mobile Hochwasserschutzwände

Mobile Hochwasserschutzwände bestehen aus einzelnen Feldelementen, die in am Boden befestigten End- und Mittelstützen eingesetzt werden, Abb. 45. Die Abtragung der Lasten in den Untergrund erfolgt über eine feste Einspannung bzw. über einen an den Stützen befestigten Querkraftträger, Abb. 46. Die Stützen können fest eingebaut oder mobil einsetzbar sein. Der Achsabstand der Stützen hängt von den statischen und dynamischen Lasten, der Materialstärke der Feldelemente und Stützen sowie von der Einspannkraft bzw. der Querkraftübertragung der Stützen in den Untergrund ab. Mobile Hochwasserschutzwände entsprechen in ihrer Konstruktion einer Aneinanderreihung von Dammbalkenverschlüssen.

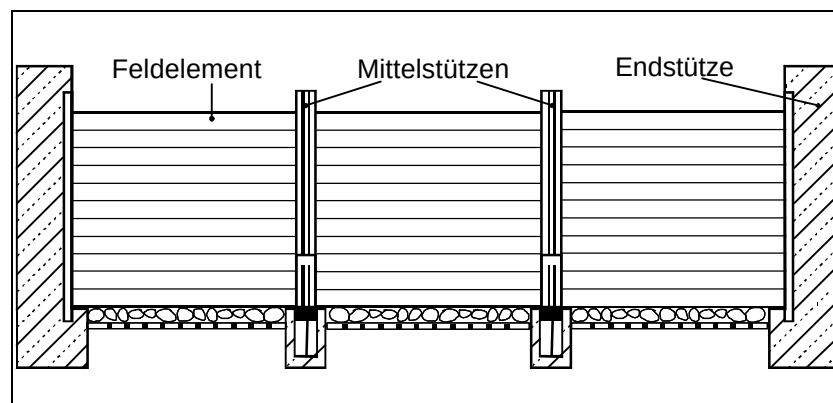


Abb. 45: Elemente einer mobilen Hochwasserschutzwand

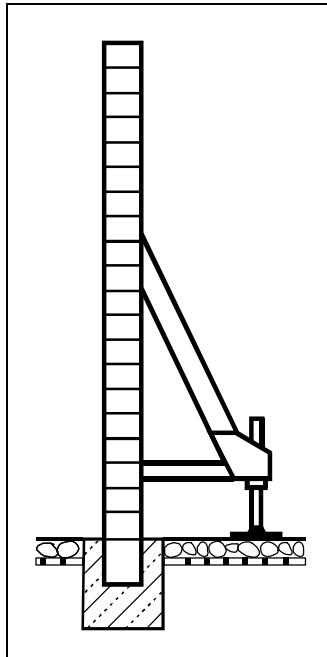


Abb. 46: Querkraftstütze an mobiler Hochwasserschutzwand

Wegen der vorhandenen kurzen Vorwarnzeiten an der Ostseeküste sind die mobilen Elemente bzgl. ihres Gewichts, ihrer Abmessungen und der Befestigungstechnik so zu konzipieren, dass ein manuelles Einsetzen möglich ist. Jeweils gleiche Achsabstände der Stützen und somit gleiche Feldbreiten sowie einfache und eindeutige Zuordnungen der Einzelelemente und der notwendigen Befestigungstechnik ist einer schnellen und sicheren Handhabung förderlich.

Die End- und Mittelstützen können aus Aluminium, feuerverzinktem Stahl oder Edelstahl hergestellt sein. Sie sind mit Führungsnischen zum Einsatz der Feldelemente auszustatten. Die Endstützen sind mit rückwärtiger Dichtung in bestehende Bauwerke einzubinden und sind dauerhaft an Ort und Stelle zu belassen. Sie sind zum Schutz vor Witterungseinflüssen, Verunreinigungen und Vandalismus mit einer abschraubbaren Bedeckung zu versehen. Die verwendeten Schrauben sind in Größe und Form entsprechend den zur Installation des Gesamtsystems verwendeten zu wählen, um eine Beschränkung auf wenige Installationswerkzeuge zu ermöglichen. Zum Schutz vor Vandalismus ist eine im Handel wenig verbreitete Schrauben- und damit Werkzeuggröße vorzuziehen.

Die Mittelstützen sind wegen der i.d.R. geringen Feldbreiten von einem bis wenigen Metern mobil auszulegen. Zur Befestigung der Stützen dienen Einzelfundamente mit Grundplatte und eingearbeiteter Befestigungstechnik. Die Grundplatte muss ebenso wie bei der Endstütze mit einer abschraubbaren Bedeckung, die bündig mit der

Geländeoberkante abschließt, versehen werden. Je nach Belastung sind zusätzliche, die Querkraft abtragende Schrägstützen an den senkrechten Stützen einzusetzen, die durch Ausgleichsschrauben an veränderliche Bodenabstände infolge von Bodenunebenheiten anpassbar sind.

Sofern die einzurichtende Hochwasserschutzlinie einen gekrümmten Verlauf aufweisen muss, kann dies über speziell gefertigte Mittelstützen erfolgen, in denen die ebenen Feldelemente um einen von 180° abweichenden Winkel eingesetzt werden. Um einen möglichst hohen Grad der Standardisierung der mobilen Elemente zu erreichen, sollte dies jedoch die Ausnahme sein, da durch Sondermaße Zuordnungsprobleme beim Aufbau entstehen. Geringe Krümmungen können durch ein gewisses, durch die Seitendichtungen gegen Wasserdurchlässigkeit zu dichtendes Spiel in der Mittelstützenkonstruktion ermöglicht werden.

Als Feldelemente eignen sich wegen ihres geringen Gewichts bei hoher Knicksteifigkeit und guten Lagerungseigenschaften Aluminiumprofile. Zur Dichtung des Systems müssen Bodendichtungen, Seitendichtungen zwischen Stütze und Feldelementen sowie Zwischendichtungen zwischen den einzelnen Feldelementen eingesetzt werden. Die Bodendichtung ist elastisch und großvolumig auszulegen, so dass Unebenheiten des Untergrundes ausgeglichen werden können. Die Seitendichtungen sind so auszubilden, dass bei passgenauem Sitz ein einfaches und schadenfreies Einbringen der Feldelemente in die Führungsnischen der Stützen möglich ist. Die Bodendichtung und die Zwischendichtungen entfalten ihre volle Dichtigkeit erst bei Auflast oder Einspannung. Hierzu können die End- und Mittelstützen jeweils mit Einspannhalterungen versehen werden, die auf die obersten und damit auch auf alle weiteren Feldelemente entsprechend dem Prinzip einer Schraubzwinde einen Anpressdruck ausüben. Das Dichtungsmaterial muss Witterungs- und seewasserbeständig sein.

Die Gründung kann allein aus den Einzelfundamenten der Stützen bestehen, sofern ein unterspülungssicherer Untergrund vorhanden ist. Ist dies nicht gegeben, ist ein Streifenfundament entsprechend der Lastabtragung in den Stützen sowie der Sicherheit gegen Unterspülung, Grundbruch und Frostwirkung anzuordnen.

Bei der Wahl der verwendeten Materialien ist auf deren Verträglichkeit im Hinblick auf die elektrochemische Korrosion zu achten. Aluminium und Stahl dürfen aus diesem Grund keinesfalls, auch nicht bei Verschraubungen, in Kontakt kommen. Die Anordnung einer Gummi- oder Kunststoffdichtung unterbindet die Gefahr der elektrochemischen Korrosion. Auch während der Lagerung ist auf die Vermeidung der elektrochemischen Korrosion zu achten.

Die beim Hochwasserschutz an der deutschen Ostseeküste auftretenden statischen und dynamischen Lasten aus Wasserstand, Seegang, Eisgang und Treibgutstoß können bei einer entsprechenden Dimensionierung des Gesamtbauwerks und der Einzelkomponenten der mobilen Hochwasserschutzwand grundsätzlich schadfrei in den Untergrund abgetragen werden. Entsprechende Untersuchungen zur Bemessung müssen lastabhängig durchgeführt werden. Eine Minderung der dynamischen Lasten aus Seegang und Eisstoß durch eine geeignete Vorlandgeometrie ist anzustreben.

Mobile Wandelemente können auch zur Erhöhung von permanenten Hochwasserschutzmauern eingesetzt werden. Die permanente Mauer muss hierbei so ausgeführt sein, dass eine ausreichende Lastabtragung der Stützen des mobilen Systems erfolgen kann. Eine Kombination aus permanenten und mobilen Wandelementen weist die folgenden Vorteile auf:

- Sichtbeziehungen werden infolge der vergleichsweise geringen Aufbauhöhe der permanenten Verbauung nur gering beeinträchtigt
- Es werden im Vergleich zum vollständig mobilen System weniger Arbeitskräfte und/oder weniger Zeit zum Aufbau des mobilen Teilsystems benötigt
- Der vorhandene Basisschutz der permanenten Schutzwand lässt einen zeitlich verzögerten Aufbau des mobilen Schutzsystems und damit eine erniedrigte Vorhersagequalität der zu erwartenden Wasserstände zu

6.2.2.3.3 Temporäre Hochwasserschutzwände

Temporäre Hochwasserschutzwände bestehen aus beweglichen Stauelementen, wie Segmentschildern oder Stautafeln, die in den Untergrund oder in permanente Wandkonstruktionen eingebunden sind. Zur Erreichung der Sperrstellung werden die Staulemente von Hand oder mit Hilfe von Hydraulikzylindern und Elektromotoren gehoben. Maschinenantriebe sollten redundant ausgelegt sein, sofern ein manuelles Heben wegen eines zu großen Gewichts nicht möglich ist.

Bei großen Aufbauhöhen sind große bewegliche Staulemente und i.d.R. mechanische Antriebe notwendig, so dass die Bau- und Wartungskosten vergleichsweise hoch sind. Hierbei bietet sich die Integration mobiler Stautafeln in permanente Mauerkonstruktionen an (Abb. 47). Die Vorteile der Kombination von permanenten und temporären Elementen entsprechen denen der Kombination permanenter und mobiler HWS-Wände.

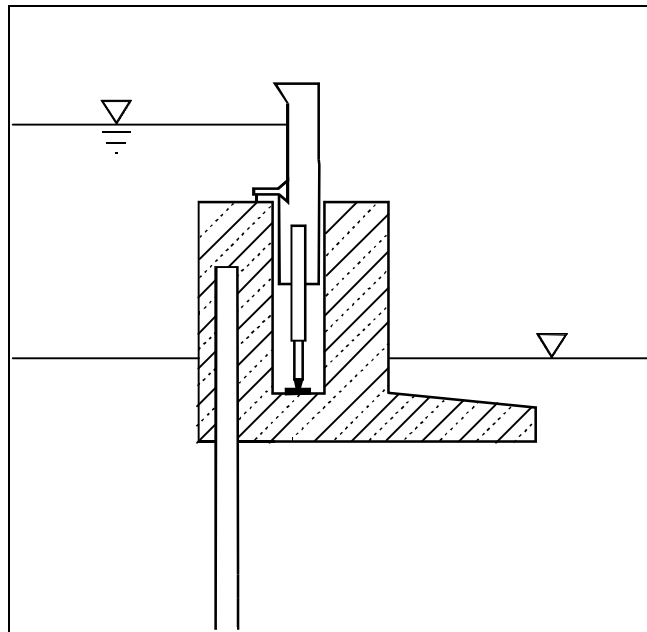


Abb. 47: Temporäres Stauschild mit Hydraulikantrieb in Kombination mit permanenter HWS-Mauer.

6.2.2.3.4 Mobile Dammsysteme

Mobile Dammsysteme bestehen aus einer Hülle aus Geotextilien, Geokunststoffen, Jute o.ä., ggf. einer Rahmenkonstruktion und einem Füllmaterial, vorzugsweise Sand oder Kies, Seewasser oder Luft.

Im weiteren Sinne sind unter mobilen Dammsystemen auch die bei der Katastrophenabwehr eingesetzten Sandsackverwallungen zu verstehen. Hierzu werden vorzugsweise manuell zu handhabende Sandsäcke der Maße 30–35 x 55-70 cm (LU 1995) verwendet, die mit vor Ort vorhandenem oder aus nächster Nähe antransportiertem Sand oder Kies zu etwa 2/3 gefüllt werden. Als Sackmaterial sind griffige Gewebe aus z.B. Jute gut geeignet. Vliesstoffe weisen wegen ihrer vergleichsweise geringen Formbeständigkeit und Griffigkeit Nachteile auf. Zwei Personen können in einem Zeitraum von einer Stunde rund 100 Sandsäcke füllen und platzieren. Dies ergibt eine 30 cm hohe und 6 m lange Sandsackmauer (ARC 2000). Die gefüllten Säcke werden zur Erhöhung vorhandener Deiche, zum Verbau von Deichscharten, als Auflastfilter an der Deichbinnenseite zur Verhinderung von Böschungsrutschungen und Grundbrüchen und zum Objektschutz eingesetzt.

Im engeren Sinne beschreibt der Begriff Mobile Dammsysteme offene oder geschlossene Konstruktionen aus größeren Einheiten, die jeweils unter Verwendung von Maschinenkraft befüllt werden. Bei der Befüllung des Schutzsystems mit Wasser

oder Luft werden Pumpen eingesetzt, deren Förderleistungen entsprechend der Fördermenge, der Förderhöhe sowie den Leitungs- und Einzelverlusten bemessen werden. Die Festsetzung der Fördermenge muss mögliche Leckageverluste berücksichtigen. Die jeweiligen Befüllanlagen müssen unter Berücksichtigung des Ausfalls einzelner Geräte redundant ausgelegt werden.

Bei den an der deutschen Ostseeküste vorhandenen kurzen Vorwarnzeiten von Sturmfluten ist die Befüllung mit Sand i.d.R. nicht möglich. Lediglich wenn das Schutzsystem während der gesamten potentiellen Sturmflutsaison an Ort und Stelle aufgebaut belassen wird, ermöglicht die verfügbare lange Vorbereitungs- und Aufbauzeit die Befüllung mit Sand oder Kies.

Ein offener mobiler Hochwasserschutzdamm kann durch ein in ein Rahmensystem eingehängtes Geotextil, dass mit Wasser oder Feststoff (bei der Installation während der gesamten Sturmflutsaison) befüllt wird, erstellt werden. Ein Beispiel hierfür ist der sogenannte "Quick Damm" der Firma Quick-Damm (QUICK DAMM), der hinsichtlich des Einsatzes an Binnenflüssen entwickelt wurde. Das System wurde im Jahre 1999 von der "Hochwassernotgemeinschaft Rhein e.V." aufgrund der einfachen Handhabung und des flexiblen Einsatzes beim Hochwasserschutz ausgezeichnet. In ein mit Polyvinylchlorid (PVC) beschichtetes Polyester Trärgewebe (bei Befüllung mit Wasser) bzw. in ein wasserdurchlässiges Geotextil-Vlies-Material (bei Beschickung mit Feststoff) werden Rahmen und Längsholme aus Aluminium oder verzinktem Stahl mit aus dem Gerüstbau bekannten Einhängeverbindungen eingebaut. Spezielle Werkzeuge sind hierfür nicht notwendig. Der so fertiggestellte, nach oben offene Hohlraum kann mit Wasser bzw. Sand oder Kies befüllt werden. Hierdurch entsteht ein flexibler Dammkörper, der sich vorhandenen Bodenunebenheiten gut anpassen kann (Abb. 48). Eine möglichst hohe Wasserdichtheit und Standfestigkeit des anstehenden Bodens bzw. der vorhandenen Geländebedeckung muss vorhanden sein.

Krümmungen in der Hochwasserschutzlinie von bis zu 10 Grad sind mit dem standardisierten Quick-Damm-System möglich. Sofern größere Krümmungswinkel notwendig sind, müssen Sonderelemente eingesetzt werden. Dies sollte jedoch im Hinblick auf einen übersichtlichen und schnellen Aufbau vermieden werden. Das bisher verfügbare Sortiment umfasst drei standardisierte Schutzhöhen von 0,57 bis zu 2,30 m bei einer Basisbreite von 0,85 bis 3,00 m und Modullängen von 6,00 bis 48,00 m (QUICK DAMM).

Bei einem Einsatz eines dem beschriebenen Quick-Damm-System entsprechenden mobilen Hochwasserschutzdammes an der Ostseeküste sind Untersuchungen zur

schadfreien Ableitung dynamischer Lasten aus Seegang und Eisgang notwendig. Grundsätzlich sind flexible Bauwerke gut geeignet, dynamische Lasten aufzunehmen. Ggf. müssen die Maße und Materialien den an der Küste herrschenden Belastungen angepasst werden. Hierbei muss das Material der Außenhülle insbesondere bei der Beschickung mit Wasser so bemessen sein, dass auch beim Auftreffen von scharfkantigem Treibgut keine Undichtigkeiten auftreten. Eine Befüllung mit Sand ist nur bei einem vorsorgenden Aufbau des Hochwasserschutzes über die gesamte Sturmflutsaison möglich. Bei einem längerfristigen Einsatz des Systems müssen Vorkehrungen gegen Vandalismus getroffen werden und eine Reparatur im gefüllten Zustand muss möglich sein.

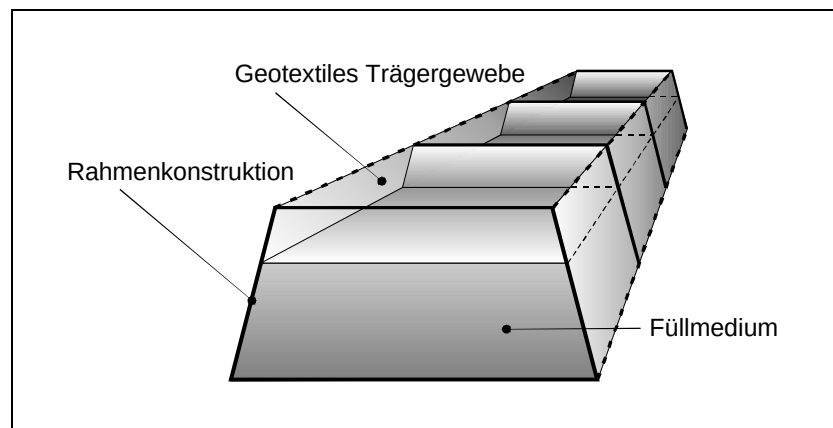


Abb. 48: Konstruktion und Aufbau des mobilen Dammsystems Quick Damm

Ein Gefrieren des Füllwassers kann zugelassen werden, wenn der beim Gefrieren einsetzenden Volumenausdehnung schadlos Raum gegeben wird. Dies kann durch auf der Innenseite der geotextilen Hülle auf Höhe des Innenwasserspiegels eingenähte, flexibel gepolsterte Wülste erfolgen.

Der Einsatz eines offenen mobilen Hochwasserschutzdammes an der Ostseeküste ist bei einer den Belastungen entsprechenden Auswahl der Materialien grundsätzlich technisch möglich.

Geschlossene mobile Hochwasserschutzdämme sind nicht ortsfest installiert, bestehen aber ebenso wie die geschlossenen temporären Hochwasserschutzdämme aus Schlauchbahnen. Die örtliche Fixierung erfolgt lediglich infolge der Masse der Wasserfüllung. Befestigungsschienen sind nicht vorhanden; ebenso kann auf Endbauwerke verzichtet werden. Die verwendeten Materialien sind flexibel und passen sich dem Untergrund an. Unterkonstruktionen sind i.d.R. nicht erforderlich, jedoch muss der Untergrund tragfähig sein, eine genügende Haftreibung muss bestehen und es

dürfen keine scharfen Kanten vorhanden sein. Ein gekrümmter Verlauf der Schutzlinie ist problemlos realisierbar. Durch die Kopplung einzelner Schlauchelemente sind beliebig lange Schutzbauwerke herstellbar.

Schwierigkeiten können bei der örtlichen Fixierung der geschlossenen mobilen Hochwasserschutzdämme auftreten. Insbesondere bei dynamischer Belastung kann die Schlauchbahn zur Seite rollen und ihre Lage kann sich unkontrollierbar verändern. Dem kann durch die Verwendung zweier wassergefüllter Innenschläuche in einem diese beiden Schläuche zusammenfassenden Außenschlauch entsprechend des Entwurfs von "Water Structure" (WSU 1999) entgegengewirkt werden (Abb. 49). Infolge der Reibungswirkung zwischen den beiden Innenschläuchen sowie zwischen den Innenschläuchen und der Außenhaut werden die Verschiebungen des Gesamtsystems stark verringert. Nach WSU konnten mit dem System Stauhöhen von 3,0 m bei einer Systembreite von 6,0 m realisiert werden. Die Einzelschlauchlängen betragen bis zu 60 m. Zur Kopplung der Einzelelemente können die Innenschläuche sowie der Außenschlauch miteinander verbunden werden. Die wasserdichten Innenschläuche bestehen aus einem 10 mm starken, dehnbaren Polyethylen-Material (PE). Sie werden von einer Schlauchseite aus befüllt. Der Außenschlauch, der die Innenschläuche vor mechanischen Einflüssen schützt, besteht aus einem festen, jedoch flexiblen Geotextil aus Polypropylen (PP).

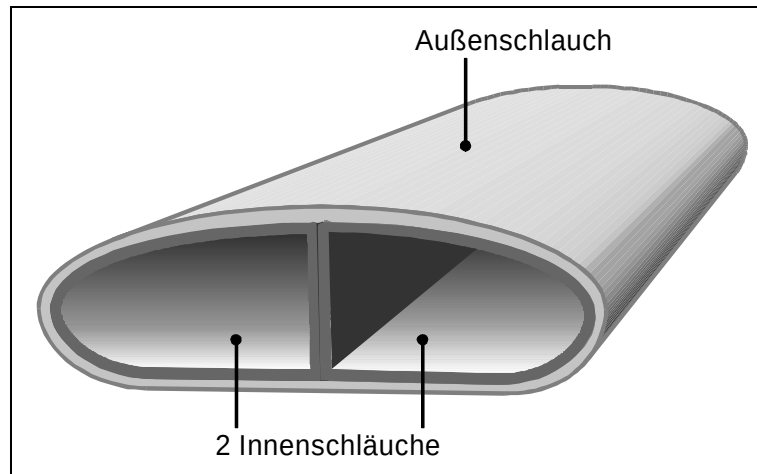


Abb. 49: Konstruktion der Schlauchbarriere von Water Structure TM

Zur Installation des mobilen Hochwasserschutzdammes dienen die auf einer Transportstange aufgerollte Schlauchbahn, Pumpen sowie Stangen und Seile zur Positionierung des Schlauchanfangs. Als Positionierungshilfe kann zunächst binnenseitig der eigentlichen Hochwasserschutzbarriere eine weitere Bahn geringeren Durchmessers installiert werden. Während des Befüllvorgangs müssen ggf. Maßnahmen

zur Unterbindung einer seitlichen Rollbewegung getroffen werden. Wenn es bei der Installation der Schlauchbahn zu einer unkontrollierten Rollbewegung kommt und Arbeiter Gefahr laufen, verletzt zu werden, kann nach WSU (1999) die Schlauchbarriere mit einem Messer durchstochen werden. Nach der Installation der Barriere muss sie weiterhin auf Leckagen oder Verschiebungen hin beobachtet werden. Die kritische Phase ist i.d.R. innerhalb von zwölf Stunden nach der Installation abgeschlossen (WSU 1999).

Vorteile bei der Anwendung eines mobilen Schlauchsystems bestehen in der vergleichsweise einfachen und schnellen Handhabung, im Verzicht auf festinstallierte Elemente und in den sehr geringen Kosten.

Nachteile stellen sich insbesondere bei dem vorgestellten doppelwandigen System von Water StructureTM bei Leckagen ein, da die Undichtigkeit nur schwer zu lokalisieren und zu erreichen ist. Ggf. muss der Einsatz eines Ersatzschlauches erwogen werden. Hierbei können jedoch Probleme beim Einfügen des Ersatzschlauches auftreten, da die Kopplung der Schläuche einseitig, jeweils nach der Füllung des vorherigen Schlauches, erfolgt. Bei längerer Standzeit muss die leicht verletzbare Schlauchbarriere bewacht werden, um Vandalismus vorzubeugen.

Der Einsatz der Barriere im Winter ist problematisch. Beim Gefrieren des Füllwassers innerhalb der Schläuche kann die damit einhergehende Volumenvergrößerung des Eises im Vergleich zum Wasser um rund 9 % zur verstärkten Zugbelastung der Schlauchbahn führen. Außerdem kann die Entleerung infolge Eisbildung behindert werden. Maßnahmen zur Verhinderung der Eisbildung existieren bei der vorgestellten mobil einsetzbaren Schlauchbahn nicht, da eine Durchlaufbeschickung mit Seewasser zur Frostvermeidung wegen der einzeln aneinandergereihten und verschlossenen Segmente nicht möglich ist.

Für den Einsatz eines entsprechenden mobilen Schlauchsystems an der deutschen Ostseeküste müssen insbesondere im Hinblick auf realisierbare Stauhöhen bei der vorhandenen dynamischen Belastung Untersuchungen durchgeführt werden. Ebenso ist eine veränderte Betriebsweise bei der Befüllung mit sicherer Fixierung sowie eine Materialverstärkung der Innenschläuche, möglicherweise in Form eines gewebeverstärkten Gummimaterials, zur Verringerung der Leckagegefahr zu prüfen. Insgesamt sind eingehende Untersuchungen sicherheitstechnischer Fragen sowie zur Betriebsweise bei Eisgang notwendig. Nach bisherigem Kenntnisstand ist der Einsatz mobiler Schlauchsysteme im Öffentlichen Hochwasserschutz an der deutschen Ostseeküste wegen der genannten sicherheitstechnischen Mängel nicht zu empfehlen. Ein Einsatz im privaten Objektschutz ist denkbar, sofern nur geringe dy-

namische Belastungen und geringe zu kehrende Hochwasserstände zu erwarten sind.

6.2.2.3.5 Temporäre Dammsysteme

Ein geschlossener temporärer Hochwasserschutzdamm kann durch die Verwendung von Schlauchbahnen erstellt werden. Beispiele entsprechender Konstruktionen sind in erster Linie aus dem Wehrbau bekannt. Seit 1998 werden jedoch in den Niederlanden beim Sperrwerk Ramspol weltweit erstmals Schlauchbahnen zum Hochwasserschutz eingesetzt, vgl. Kap. 6.2.2.2. Bewährt sich dieses Sperrwerk in Zukunft hinsichtlich der Sicherheitsanforderungen, kann eine weitere Verbreitung dieser Technik im Hochwasserschutz erwartet werden, da beim Einsatz von Schlauchbahnen vergleichsweise geringe Baukosten anfallen und eine unauffällige Einbindung des Schutzbauwerks in die Umgebung erzielt werden kann.

Die beim Hochwasserschutz an der deutschen Ostseeküste auftretenden statischen und dynamischen Lasten aus Wasserstand, Seegang, Eisgang und Treibgutstoß sind bei einer entsprechenden Dimensionierung des Gesamtbauwerks und der Einzelkomponenten durch einen temporären Hochwasserschutzdamm aus Schlauchbahnen schadfrei in den Untergrund abzutragen. Bei langen Schlauchbahnen müssen über die Länge verteilt mehrere Befüll- und Entleerungseinrichtungen sowie Pumpanlagen eingerichtet werden. Die Bemessung der Konstruktion und der Hydraulik müssen last- und systemabhängig durchgeführt werden. Die Befüllung von Schlauchbahnen zum Hochwasserschutz kann nur mit Wasser oder mit einem Wasser-Luft-Gemisch erfolgen. Bei einer im Wehrbau üblichen Luftfüllung ist das Eigengewicht der gefüllten Schlauchbahn zu gering, um den bei Hochwasserereignissen erhöhten Porenwasserüberdrücken im Boden zu widerstehen. Die Größe der Ablagefläche der Schlauchbahn liegt bei einer Füllung mit einem Wasser-Luft-Gemisch zwischen der einer reinen Wasser- und der einer reinen Luftfüllung und ist damit vergleichsweise gering, vgl. Kap. 6.2.2.2.

Beim Einsatz von Schlauchbahnen zum temporären Hochwasserschutz muss die Bahn in Ruhestellung durch eine mit der Geländeoberkante abschließende Bedeckung geschützt untergebracht werden. Hierdurch werden u.U. die möglichen Krümmungsradien der Hochwasserschutzlinie eingeschränkt. Je nach Stauhöhe und Füllmaterial ergeben sich große Ablagebreiten, die große und stabile Bedeckungen erfordern. Bei einer wassergefüllten Schlauchbahn mit einer senkrechten Aufbauhöhe von 3,0 m beträgt die Ablagebreite 7,2 m. Die Tiefe der Ablagekammer ist abhängig von der Ablagefalte und damit von der Materialsteifigkeit. Im Gegensatz zu

den Anforderungen im Wehrbau, wo eine Entfernung des Verbaukörpers bei Hochwasserabfluss gefordert wird, muss die Sperrfunktion im Hochwasserschutz gerade bei hohen Belastungen aus Wasserstand, Seegang, Eisgang und Treibgutstoß gegeben sein. Dies erfordert eine hohe Materialgüte, eine schonende Lagerung sowie eine ausreichende Wartung.

Problematisch kann die Entfernung der Abdeckung im Hochwasserfall sein. Bei dem der Ablagebreite entsprechendem Stützabstand müssen entweder einzeln manuell zu entfernende Holzbohlen oder mit schwerem Gerät zu hebende bewehrte Betonplatten verwendet werden. Die Möglichkeit die Schlauchbahn im Ruhezustand mit rolligem Material wie Kies oder Sand zu bedecken muss im Hinblick auf mögliche Materialschädigungen an der Schlauchbahn untersucht werden. Eine Bedeckung mit rolligem Material hätte den Vorteil der automatischen Entfernung bei Befüllung des Schlauches. Nach Gebrauch oder Probetrieb des Schlauches müsste das rollige Material jedoch wieder zurückgeführt und teilweise ersetzt werden.

Da der Einsatzbereich temporärer Hochwasserschutzdämme i.d.R. nur in beengten besiedelten Gebieten erwogen wird, ist zu prüfen, ob die für die Ablage der Schlauchbahn benötigten Flächen vorhanden sind. Die durch die Bedeckungen entstehenden Wege können u.U. als Fuß- oder Fahrweg benutzt werden, wobei deren Eignung hierfür, ggf. auch im Hinblick auf die Belastung der gelagerten Schlauchbahn, nachzuweisen ist.

Beim Betrieb der wassergefüllten Schlauchbahn bei Temperaturen unterhalb des Gefrierpunkts können Probleme durch Eisbildung und der damit einhergehenden Volumenerhöhung des Füllmediums innerhalb des Bauwerks entstehen. Eine Möglichkeit zur Verhinderung von Vereisungsschäden ist eine Durchlaufbeschickung mit Seewasser. Diese Betriebsweise bedarf allerdings vor Einsatz des Bauwerks einer Prüfung am Modell. Hierbei spielt insbesondere die ausreichende Vermischung des Durchlaufwassers mit dem im Schlauch vorhandenen Wasser eine Rolle. Besonders wichtig sind Vorkehrungen gegen eine Vereisung der Befüll- und Entleerungsorgane, ggf. unter Verwendung elektrischer Heizungen, getroffen werden.

Grundsätzlich können wasser- oder wasser- und luftgefüllte temporäre geschlossene Dämme aus Schlauchbahnen zum Hochwasserschutz an der deutschen Ostseeküste eingesetzt werden. Hierbei sind allerdings detaillierte Untersuchungen zur Konstruktion und zu den zu verwendenden Materialien notwendig.

6.2.2.3.6 Zusammenfassende Bewertung der Einsatzmöglichkeiten mobiler und temporärer Hochwasserschutzanlagen an der deutschen Ostseeküste

Mobile und temporäre Hochwasserschutzanlagen bieten den Vorteil geringer Behinderungen der Sicht- und Wegebeziehungen und haben den Nachteil vergleichsweise hoher Kosten. Problematisch kann auch die Erzielung eines sicher kalkulierbaren, geringen Versagensrisikos sein. Hierzu müssen neben entsprechenden technischen Voraussetzungen insbesondere eindeutige administrative Rahmenbedingungen bezüglich des Aufbauzeitpunktes und der Anzahl der zum Aufbau zur Verfügung zu stellenden geschulten Arbeitskräfte geschaffen werden.

Von technischer Seite müssen Antriebe redundant ausgelegt werden, sofern ein manuelles Erstellen der Schutzfunktion nicht möglich ist. Die Bemessung der Anlage muss entsprechend den an der Ostseeküste zu erwartenden Wasserständen, See- gangsbedingungen, Eisverhältnissen, Belastungen aus Treibgutstoß und Kolken erfolgen.

System	Bewertung der Einsatzmöglichkeit an der deutschen Ostseeküste
Mobile HWS-Wand	• Einsatzmöglichkeit ist grundsätzlich gegeben • Kombiniertes Einsatz permanenter und mobiler HWS-Wände liefert Vorteile hinsichtlich Sichtbeziehungen, Kosten, Aufbauzeit und -personal
Temporäre HWS-Wand	• Einsatzmöglichkeit ist grundsätzlich gegeben • Kombiniertes Einsatz permanenter und temporärer HWS-Wände liefert Vorteile hinsichtlich Sichtbeziehungen, Kosten, Aufbauzeit und –personal
Offener mobiler HWS-Damm	• Einsatzmöglichkeit ist grundsätzlich gegeben
Geschlossener mobiler HWS-Damm	• Einsatzmöglichkeit im öffentlichen Hochwasserschutz ist wegen bestehender Sicherheitsmängel <u>nicht</u> gegeben • Einsatzmöglichkeit im privaten Objektschutz ist bei geringen dynamischen Belastungen und zu kehrenden Hochwasserständen wegen der geringen Kosten denkbar
Geschlossener temporärer HWS-Damm	• Einsatzmöglichkeit von wasser- oder wasser- und luftgefüllten temporären geschlossenen Dämmen aus Schlauchbahnen ist grundsätzlich gegeben • Erhebliche Systembreiten sind erforderlich, damit relativ hoher Flächenbedarf und u.U. aufwendig zu installierende Bedeckungen

Tab. 24: Einsatzmöglichkeiten mobiler und temporärer Hochwasserschutzanlagen an der deutschen Ostseeküste

Eine Bewertung der grundsätzlichen Einsatzmöglichkeiten der verschiedenen mobilen und temporären Hochwasserschutzanlagen an der deutschen Ostseeküste ist in Tab. 24 zusammengestellt.

6.3 Hochwasserwarnung und Katastrophenschutz

Hochwasserwarnungen sind nur dann effektiv, wenn sie die bevorstehende Situation möglichst genau und möglichst frühzeitig beschreiben und zu einer angepassten Reaktion der Nachrichtenempfänger führen.

Zur Situationserfassung und –vorhersage stehen an der deutschen Ostseeküste mit dem Wasserstandsmeßsystem der WSD Nord in Kiel und dem Wasserstandsvorhersagemodell des BSH in Hamburg (vgl. Kap. 5.3) gute Instrumentarien zur Verfügung. Eine weitere Verbesserung der Modellergebnisse hinsichtlich der Genauigkeit der Höhe und des Eintrittszeitpunktes von Extremwasserständen ist jedoch anzustreben, da mehr als 70 % der prognostizierten und eingetretenen Niedrig- und Hochwasserstände Abweichungen größer $\Delta > \pm 50$ cm aufweisen (STIGGE 2000b). Die Modellergebnisse verschlechtern sich generell mit zunehmender Turbulenz der Wetterlage. Diese Abweichungen sind zu einem gewissen Teil jedoch nicht direkt auf das Zirkulationsmodell des BSH, sondern auf Ungenauigkeiten bei der Vorhersage der der Wasserstandserhöhung zugrundeliegenden Wettersituation durch den Deutschen Wetterdienst DWD zurückzuführen. Die Vorhersagen des DWD bedürfen unter extremen Wetterbedingungen der intensiven Bewertung von Meteorologen (SCHÖTTLER 2000); die Vorhersagen können vergleichsweise große Fehler aufweisen. Die Qualität der Wasserstandsvorhersage kann die der Wettervorhersage nicht übersteigen.

Die Warnsysteme zur örtlichen, regionalen und bundesweiten Warnung der Bevölkerung vor bevorstehenden und unmittelbaren Gefahrenlagen basieren überwiegend auf der klassischen Sirenenwarnung und der Warnung über Rundfunk und Fernsehen. Bis in die Mitte der neunziger Jahre hinein hat der Bund für den Fall einer militärischen Bedrohungslage und für den Verteidigungsfall ein Warnsystem mit rund 80.000 Sirenen bundesweit verteilt vorgehalten, das auch zur Warnung vor Bränden und Naturkatastrophen genutzt werden konnte. Nach der Wiedervereinigung der beiden deutschen Staaten wurde dieses bundesweit vernetzte Sirenensystem abgeschaltet, und über 40.000 Sirenen wurden demontiert; der Rest wird nur noch in kommunaler Regie weitergeführt (EIKENBERG 2000). Der Abbau des flächendeckenden Sirenennetzes hat nach SCHÖTTLER (2000) zu einer Warnlücke geführt, die dringend durch den Aufbau eines bundesweit einheitlich

geregelten digitalen Warn- und Alarmierungssystems geschlossen werden muss.

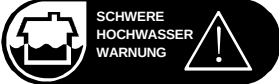
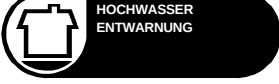
Hiermit ist auch die Einführung eines standardisierten Vokabulars und Zeichensatzes zur Hochwasserwarnung an den deutschen Küsten und im Binnenland anzustreben. Seit September 2000 wird nach zweijähriger Entwicklungs- und Testphase von der englischen Umweltbehörde (Environment Agency) ein neuer einheitlicher Hochwasserwarncode für England und Wales eingesetzt (BORROWS 2000). Hierbei werden die drei Warnstufen Hochwasserwacht (Flood Watch), Hochwasserwarnung (Flood Warning) und Schwere Hochwasserwarnung (Severe Flood Warning) unterschieden. Nach Rückgang der erhöhten Wasserstände wird Hochwasserentwarnung (All Clear) gegeben.

Im Gegensatz zu den vier Alarmstufen der Hochwassermelddienstverordnungen der Länder Schleswig-Holstein und Mecklenburg-Vorpommern, denen Maßnahmen zugeordnet sind, die von den für den Hochwasserschutz zuständigen staatlichen Institutionen zu ergreifen sind (vgl. Kap. 5.4.1), richtet sich das englische Hochwasserwarnsystem speziell an den Bürger. Zur verbesserten Warnkommunikation sollte auch in Deutschland ein über die Grenzen der Bundesländer hinweg geltendes einheitliches System zur Hochwasserwarnung im Binnenland und an den Küsten mit Handlungshinweisen für staatliche Organisationen sowie für die Bürger erstellt werden. Ein entsprechender Entwurf, auch unter Verwendung von optischen Hinweiszeichen, wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit entwickelt (Tab. 25).

Eine angepasste Reaktion der Bevölkerung auf Hochwasserwarnungen ist nur dann zu erwarten, wenn die Warnungen von der Bevölkerung verstanden und ernst genommen werden und wenn das Wissen um zu ergreifende Schutzmaßnahmen vorhanden ist. Die mögliche persönliche Gefährdung muss also bereits im Vorfeld wahrgenommen und akzeptiert werden. Extreme Hochwasserereignisse an der Ostsee treten sehr selten auf, so dass das schadenbringende Potential der See leicht in Vergessenheit gerät. Deshalb ist eine gezielte Aufklärung der Bevölkerung hinsichtlich der möglichen Gefahren notwendig, und es müssen Instrumentarien zur dauerhaften Festigung des Gefährdungsbewusstseins entwickelt werden.

	Hochwassermeldung Regionale und überregionale Wasserstandsmeldung <u>Institutionell:</u> - Meldung der erwarteten erhöhten Wasserstände an den ersten und zweiten Empfängerkreis (vgl. Kap. 5.4.1) <u>Privat:</u> - Keine speziellen Maßnahmen	
 Farbe: Rot	Hochwasserwacht Überschwemmungen sind möglich <u>Institutionell:</u> Entspr. Hochwassermeldung sowie: - Information der Öffentlichkeit über die zu erwartende Hochwassergefahr - Verbau von Öffnungen in der Hochwasserschutzlinie - Kontrolldienst an der Hochwasserschutzlinie	<u>Privat:</u> - Informationspflicht über die zu erwartenden Wasserstände über Rundfunk, Fernsehen, Internet und Telefon - Information von Nachbarn und Bekannten über die angekündigte Hochwassergefahr - Überprüfung der Durchführbarkeit der persönlichen Katastrophenabwehr im Falle eines Hochwassers - Überprüfung der sicheren Verwahrung von Haustieren und Vieh bei Hochwasser - Überprüfung der Durchführbarkeit einer Evakuierung
 Farbe: Rot	Hochwasserwarnung Überschwemmungen werden erwartet; das persönliche Hochwasserschutzprogramm muss in die Tat umgesetzt werden <u>Institutionell:</u> Entspr. Hochwasserwacht sowie: Kontrolle der Hochwasserschutzlinie rund um die Uhr unter Beteiligung von Angehörigen der Wasserwirtschaftsämter, der Wasserwehren sowie freiwilliger Helfer anderer Institutionen	<u>Privat:</u> Entspr. Hochwasserwacht sowie: - Sicherung von Haustieren, Kraftfahrzeugen, Lebensmitteln, Wertsachen und anderen Gegenständen - Sicherung von Hauseingängen und Hausöffnungen mit Sandsäcken oder transportablen Schutzwänden - Vorbereitung der Trennung von der Strom- und Gasversorgung - Vorbereitung der Evakuierung - Schutz der eigenen Person, der Familie sowie aller Personen, die Hilfe benötigen

Tab. 25: Entwurf eines neuen Hochwasserwarnsystems für deutsche Küsten- und Flussgebiete (teilweise in Anlehnung an EA 2000)

 SCHWERE HOCHWASSER WARNUNG Farbe: Rot	Schwere Hochwasserwarnung Schwere Überschwemmungen werden erwartet <u>Institutionell:</u> Entsprechend Hochwasserwarnung sowie: • Maßnahmen der Katastrophenabwehr gemäß Kap. 5.4.2 <u>Privat:</u> Entsprechend Hochwasserwarnung sowie: • Vorbereitung auf den Verlust der Gas, Strom-, Wasser- und Telefonversorgung • Bewahrung der Ruhe sowie Beruhigung anderer, insbesondere Kinder • Kooperation mit für den Katastrophenschutz Verantwortlichen und Hilfsorganisationen • Bereithaltung für die Evakuierung und ggf. Durchführung von Evakuierungen
 HOCHWASSER ENTWARNUNG Farbe: Grün	Hochwasserentwarnung Hochwasserwacht und Hochwasserwarnung werden wegen sinkender Wasserstände aufgehoben <u>Institutionell:</u> • Rückbau der Schutzmaßnahmen • Behebung eingetretener Schäden <u>Privat:</u> • Rückkehr in evakuierte Gebiete • Rückbau der Schutzmaßnahmen • Behebung eingetretener Schäden • Organisation der finanziellen sowie manuellen Hilfe bei eingetretenen Schäden

Tab. 25 (Fortsetzung): Entwurf eines neuen Hochwasserwarnsystems für deutsche Küsten- und Flussgebiete (teilweise in Anlehnung an EA 2000)

Zur vorbeugenden Information der Bevölkerung sind detaillierte Gefährdungskarten sowie Broschüren in Papierform und im Internet zu veröffentlichen, in denen vom einzelnen zu ergreifende vorsorgende und zur Katastrophenabwehr dienende Maßnahmen aufgeführt und erläutert sind. Das Hochwasserrisiko unter Einbeziehung der Eintrittswahrscheinlichkeit hoher Wasserstände und der damit einhergehenden Schadenskonsequenzen ist allgemein verständlich darzustellen. Hierbei ist auch auf den nur begrenzt vorhandenen baulichen Schutz vor hohen Wasserständen in besiedelten Gebieten infolge des unvollständigen Ausbaugrads und der Versagensmöglichkeiten der Schutzanlagen sowie infolge der nur sektoralen, bis zum Erreichen der Bemessungsparameter vorhandenen Schutzwirkung der Anlagen hinzuweisen. Die Mobilisierungs- und Selbsthilfefähigkeit der Bevölkerung muss gezielt angesprochen werden. Viele Aufgaben, wie der vorsorgende Bautenschutz sowie

die im Katastrophenfall vorzunehmenden Sicherungsmaßnahmen an Privathäusern, können nur in Eigenverantwortung durchgeführt werden, und auch Aufgaben im öffentlichen Raum können in der Kürze der verbleibenden Zeit oftmals nur unter sachkundiger Mithilfe der Bevölkerung erfolgen.

Eine gezielte Verteilung der Informationsmaterialien an durch Sturmflut gefährdete Haushalte an der deutschen Ostseeküste im Rahmen von Informationskampagnen, die durch Zeitungs-, Rundfunk- und Fernsehberichterstattungen unterstützt werden, ist anzustreben und betont die gesellschaftliche Relevanz der Thematik. Hierbei sind auch den Schulen Unterrichtsmaterialien für verschiedene Altersstufen zur Hochwassergefährdung zur Verfügung zu stellen.

Insbesondere das Fernsehen benötigt zur Unterstreichung der Aussagen qualitativ und quantitativ ausreichende Visualisierungsvorlagen. Es ist notwendig, Bildmaterial in Form von Fotografien, Video und Film von früheren Hochwasserkatastrophen, Katastrophenschutzübungen und Computeranimationen bspw. von Überschwemmungsszenarien für interessierte Journalisten und Regisseure vorzuhalten. Hierbei ist es für die Sendeanstalten häufig von großer Wichtigkeit, dass das Material bisher noch nicht anderweitig veröffentlicht wurde. Ist entsprechendes Bildmaterial nicht vorhanden, sinkt der Anreiz der Medienanstalten, Informationen über die Hochwassergefährdung und –vorsorge zu publizieren (HILLEBRANDT 2000), und erst während und nach dem nächsten Großschadensereignis kommt es zur bekannten kurzfristigen Häufung der Berichterstattung. Die Öffentlichkeitsarbeit und damit auch die Zusammenarbeit mit den Medien sollte als kontinuierliche Größe in die Arbeit der mit dem Hochwasserschutz beauftragten staatlichen Ämter eingeplant sein.

Die hinsichtlich der unterstützenden Information der Bevölkerung besonders wichtigen Fernseh- und Rundfunkanstalten sowie Zeitungsredaktionen sind diejenigen, die in den durch Sturmfluten gefährdeten Regionen Lokalredaktionen unterhalten. Nur die Standortnähe lässt eine kontinuierliche Berichterstattung über Gefährdungspotential, Warnsystem und zu ergreifende Schutzmaßnahmen zu.

Als möglichst jährlich wiederkehrender Startzeitpunkt entsprechender Informationskampagnen unterschiedlichen Umfangs ist der Frühherbst zu wählen, um einerseits einen zeitlichen Bezug zur bevorstehenden Sturmflutsaison herzustellen und andererseits ausreichend Zeit für die vom einzelnen kurzfristig zu ergreifenden Vorsorgemaßnahmen zur Verfügung zu stellen.

Hochwasser- und Katastrophenwarnungen sollten nur dann ausgegeben werden, wenn tatsächlich Gefahr droht und nur diejenigen Personen ansprechen, die sich

tatsächlich in Gefahr befinden. Hochwasserwarnungen, deren Inhalt sich nicht erfüllen oder die für einen Teil des angesprochenen Personenkreises nicht zutreffend sind, können dazu führen, dass zukünftige Warnungen ignoriert werden. Fehlwarnungen lassen sich jedoch wegen der Unsicherheiten in der Vorhersage der Wetter- und Wasserstandssituation nicht immer vermeiden. Diese Problematik muss öffentlich dargestellt und diskutiert werden.

Die Akzeptanz der Bevölkerung den Warnungen gegenüber steigt mit der Anzahl der verschiedenen Autoritäten, die die Warnungen veröffentlichen (KOPPE et al. 1999). Hierbei sollte der Wortlaut unterschiedlich, der sinngemäße Inhalt jedoch genau identisch sein. Lokale Autoritäten sollten insbesondere bei anstehenden Evakuierungen mit in den Informationsprozess einbezogen werden, da sie persönlich bekannt und häufig selbst von den bevorstehenden Maßnahmen betroffen sind und damit die Bevölkerung besser von unbequemen und möglicherweise auf den ersten Blick unnötigen Maßnahmen überzeugen können.

Eine effektive Hochwasserwarnung sollte wie folgt aufgebaut sein (in Anlehnung an EDW 2000):

- Kurz und prägnant - der zum Verlesen benötigte Zeitraum sollte möglichst kürzer als eine, zumindest aber kürzer als zwei Minuten sein
- Form einer Bekanntmachung
- Verwendung einer nichttechnischen, allgemein verständlichen Sprache und entsprechender Abbildungen
- Nennung der offiziellen Quelle der Meldung (bspw. Wasserstandsvorhersage des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie in Rostock, Katastrophenwarnung des Innenministers des Landes)
- Nennung der wichtigsten Information zu Beginn der Meldung (bspw. Meldung zur Evakuierung bestimmter Gebiete)
- Beschreibung der gefährdeten Gebiete und Nennung der voraussichtlichen Eintrittszeit der unmittelbaren Gefährdung
- Nennung des Unsicherheitsniveaus der Warnung (sofern die hierzu notwendige Sachkenntnis zuvor in Aufklärungsprogrammen vermittelt wurde)
- Kurze Erläuterung der von den Einzelnen zu ergreifenden Maßnahmen
- Angabe, wo detaillierte Hinweise zur Gefährdung und zu den zu ergreifenden Maßnahmen zu finden sind

Nach TWIGG (1998) sind Konzepte für Hochwasserwarnungen nicht nur aus einer Blickrichtung heraus zu entwickeln. Diejenigen, die die Warnungen veröffentlichen, müssen sich darüber bewusst sein, wie die Empfänger hierauf möglicherweise rea-

gieren, bspw. Ignoranz oder Panik, und wie das gewünschte Verhalten provoziert werden kann. Ein vielversprechender Weg zur Verbesserung der Warn-Kommunikation ist der Einsatz der Wasserwehren in Mecklenburg-Vorpommern, siehe Kap. 5.4.2. Hiermit kann ein weit verbreitetes Risikobewusstsein sowie Wissen um zu ergreifende Maßnahmen sichergestellt werden und es wird die Bereitschaft zum eigenverantwortlichen Handeln im Vorfeld und während einer Krisensituation gestärkt.

Die Maßnahmen des Katastrophenschutzes werden immer unter Zeitdruck mit möglichst hoher Effizienz durchgeführt werden müssen. Eine gute Orientierung im gefährdeten Gebiet ist deshalb neben der Beherrschung des einzusetzenden technischen Geräts Grundvoraussetzung. Deshalb ist die oft vernachlässigte jährliche Überarbeitung der Katastrophenschutzpläne zur Erfassung des jeweils aktuellen Standes der Infrastruktur, der besonders verwundbaren bzw. wertvollen Bereiche und der Adressen wichtiger Ansprechpartner von großer Wichtigkeit. Hierzu gehört auch das Vorhalten aktueller Landkarten und Baupläne. Grundsätzlich ist die Mitarbeit ortskundiger Helfer notwendig.

Auch in dieser Hinsicht ist die Einrichtung lokaler Wasserwehren entsprechend des Wassergesetzes Mecklenburg-Vorpommerns ein sinnvolles Instrument. Hierdurch steht eine große Anzahl ortskundiger, motivierter und in Übungen speziell geschulter Helfer zur Verfügung. Die Organisation der Wasserwehren sollte sich an der der Freiwilligen Feuerwehren orientieren. Die Wasserwehren sollten sich personell jedoch möglichst gering mit den Freiwilligen Feuerwehren überschneiden, da bei Hochwasserereignissen der Einsatz von Feuerwehren ebenso wie der der Wasserwehren gefordert ist. Die Vorhaltung und Instandsetzung von Verbrauchsmaterialien und technischem Gerät muss durch speziell berufene Mitglieder der Wasserwehren gesichert werden. Zweimal jährlich stattfindende Hochwasserschutzübungen unter Teilnahme aller Mitglieder sind i.d.R. für die Übungszwecke ausreichend.

Zum effektiven Katastrophenschutz gehört aber nicht nur der lokale und private Einsatz. PFEIL (2000) führt den Begriff der "Katastrophenverwaltung" ein. Eine strukturierte öffentliche Verwaltung muss die Ressourcen zur Bewältigung von Großschadensereignissen jeglicher Art liefern. Der Katastrophenschutz ist grundsätzlich auf Ebene der Bundesländer geregelt und der Bund ist nur für den Schutz der Zivilbevölkerung im Spannungsfall und im bewaffneten Konflikt zuständig ist (Art. 73, GG 1998). Allerdings stellt der Bund sein Einsatzpotential oftmals auch in Friedenszeiten den Ländern zur Verfügung. Ein herausragendes Ereignis dieser Art war der umfangreiche Hilfseinsatz der Bundeswehr, des technischen Hilfswerkes (THW) und des Bundesgrenzschutzes (BGS) während des Oderhochwassers 1997.

Demgegenüber stehen jedoch massive Einsparungen des Bundes im Bereich des Zivilschutzes mit einer Reduzierung der jährlichen Ausgaben um 40 % von 1993 auf 1999 (SCHÖTTLER 2000). Hiermit haben sich nach DKKV (1999) die Möglichkeiten des Bundes, über die Ressourcen und Instrumente des Zivilschutzes positiven Einfluss auf den im Zuständigkeitsbereich der Länder liegenden Katastrophenschutz zu nehmen, weiter reduziert. Nach SCHÖTTLER (2000) ist die Wiedereinrichtung einer Koordinierungsstelle für großflächige Gefahrenlagen im Bundesministerium des Innern zur Gewährleistung des Bevölkerungsschutzes zwingend notwendig.

7 Zusammenfassung

Sturmfluten entstehen an der deutschen Ostseeküste aus der Überlagerung verschiedener meteorologischer und astronomischer Einflüsse. Sie treten im Vergleich mit anderen Seegebieten selten auf, können aber insbesondere wegen der u.U. mehrtägigen Verweilzeit hoher Wasserstände zu erheblichen Belastungen der Küste und der Küstenschutzbauwerke führen.

Entsprechend langfristiger Beobachtungen der Sturmflutwasserstände an der deutschen Ostseeküste kann insgesamt von einer Zunahme der leichten Sturmfluten während der letzten Dekaden ausgegangen werden; eine Zunahme schwerer und sehr schwerer Sturmfluten ist nicht nachweisbar. Ebenso wenig ist aus den bisherigen Zeitreihen mittlerer Wasserstände eine signifikante Beschleunigung des säkularen Wasserstandsanstiegs festzustellen. Eine Beibehaltung der an der deutschen Ostseeküste örtlich differierenden Beträge des säkularen Anstiegs ist ebenso begründet wie eine moderate Erhöhung der Anstiegsrate für das 21. Jahrhundert aufgrund eines hohen Sicherheitsbedürfnisses.

Das Hochwasserschutzsystem an der deutschen Ostseeküste hat heute einen noch nie zuvor erreichten Ausbaugrad erlangt; es weist jedoch weiterhin entscheidende Mängel und Lücken auf. Diese können insbesondere bei den auf Bundes- und Länderebene vorhandenen finanziellen Engpässen nicht allein durch technisch-bauliche Maßnahmen behoben werden. Neben den ökonomischen Beschränkungen müssen auch landschafts- und stadtplanerische Randbedingungen beachtet werden, die teilweise einen herkömmlichen baulichen Hochwasserschutz nicht zulassen. In der vorliegenden Arbeit werden in erster Linie die folgenden drei Bereiche eines zukünftigen Hochwasserschutzmanagements an der deutschen Ostseeküste betrachtet:

- Vorsorgemaßnahmen zur Verringerung des Schadenspotentials im überflutungsgefährdeten Raum sowie zur Bildung finanzieller Rücklagen für den Schadensfall
- Bemessungsgrundlagen und spezielle Anlagen des vorbeugenden baulichen Hochwasserschutzes sowie
- Hochwasserwarnung und Katastrophenschutz.

Die Hochwasservorsorgemaßnahmen umfassen die Risikovorsorge (Deckung von Hochwasserschäden unter Einschluss der Versicherungswirtschaft), die Flächenvorsorge (raumordnerische Maßnahmen), die Bauvorsorge (Maßnahmen zur Sicherung von Gebäuden bei Hochwasser) sowie die Schadstoffvorsorge (Vermeidung von

Schadstoffaustritten bei Hochwasser). An der deutschen Ostseeküste einzusetzende Hochwasservorsorgemaßnahmen werden in der Arbeit entwickelt und dargestellt.

Die Hochwasservorsorge schließt neben dem staatlichen Handeln auch immer das eigenverantwortliche Handeln der Bürger mit ein. Die Risikovorsorge kann, neben der Schadensdeckung im Katastrophenfall, entscheidend zur Forcierung privater schadenspotentialmindernder Vorsorgemaßnahmen beitragen. Der Aufbau einer von der privaten Versicherungswirtschaft verwalteten, wegen der hohen möglichen Kumulschäden jedoch staatlicherseits gestützten Hochwasserschadensversicherung unter Einschluss des deutschen Küstenbereichs ist erstrebenswert und wird näher erörtert.

Zur Verbesserung der Flächenvorsorge ist eine frühzeitige und effektive Einschaltung der Wasserwirtschaftsverwaltung in kommunale Bauplanungen im Küstenbereich notwendig. Die Vergabe von öffentlichen Bauförderungen des Bundes und der Länder im überschwemmungsgefährdeten Küstenbereich sollte verstärkt eine hochwasserschutzgerechte Flächenvorsorge einbeziehen. Außerdem kann der Aufbau eines flächendeckenden Versicherungssystems zur Deckung von Überschwemmungsrisiken Bürger und Kommunalverwaltungen zu Nutzungseinschränkungen im Überschwemmungsgebiet motivieren.

Bei der Bauvorsorge handelt es sich um Maßnahmen, die zum Schutz vor Hochwasser einzelner Gebäude eingesetzt werden. Sie sind eine Voraussetzung zum Aufbau einer effizienten Risikovorsorge insbesondere in den Gebieten, in denen bereits leichte und mittlere Sturmfluten schadensbringend sind. Grundsätzlich existieren die folgenden fünf permanenten bzw. temporären Varianten des Objektschutzes, deren Vor- und Nachteile hinsichtlich ihrer Anwendung an der deutschen Ostseeküste dargestellt werden:

- Örtliche Verlagerung bestehender Gebäude
- Bauen in erhöhter Lage
- Ringdeichung
- Dichtung gegen Wassereintritt
- Schadenspotentialminderung unter Zulassung des Wassereintritts

Die an der deutschen Ostseeküste am häufigsten eingesetzten baulichen Hochwasserschutzmaßnahmen sind Deiche und Dünen. In geringerem Maße oder bisher nicht eingesetzte Hochwasserschutzbauwerke sind senkrechte Verwallungen, Sturmflutsperrwerke sowie temporäre und mobile Systeme, deren Ausbildungen und Einsatzmöglichkeiten an der deutschen Ostseeküste näher erläutert werden.

Der Einsatz von senkrechten Wänden bietet sich häufig in beengten Stadtgebieten an. Es ergeben sich jedoch oftmals Probleme hinsichtlich der Sichtbeziehungen bei hoch über Gelände ragenden senkrechten Bauwerken und bezüglich sicherheitstechnischer Fragestellungen bei zur Wahrung des Verkehrsflusses angeordneten Öffnungen in der Schutzlinie.

Durch die Anordnung von Sturmflutsperrwerken kann die Länge der erforderlichen Schutzlinie verringert und sicherheitstechnische sowie stadt- und landschaftsplanerische Vorteile können erzielt werden. Bei der Konstruktion von Sturmflutsperrwerken sind insbesondere die Verschlussorgane den örtlichen Belastungen und Anforderungen entsprechend auszubilden. Verschiedene Sperrwerksverschlüsse werden vorgestellt und hinsichtlich sicherheitstechnischer, verkehrlicher, ökologischer, stadt- und landschaftsplanerischer sowie ökonomischer Gesichtspunkte bei einem Einsatz an der deutschen Ostseeküste miteinander verglichen.

In räumlich beengten Stadtgebieten oder zur Wahrung von Sichtbeziehungen insbesondere in intensiv touristisch genutzten Küstenorten kann der Einsatz von temporären oder mobilen Schutzbauwerken in Form von Wänden oder Dammsystemen erwogen werden, die bisher in erster Linie zum Hochwasserschutz an Binnenflüssen eingesetzt wurden. Es werden unterschiedliche Systeme auf ihre grundsätzliche Eignung zum Einsatz an der deutschen Ostseeküste hin überprüft. Besonderes Augenmerk ist auf einen schnellen und sicheren Aufbau auch bei ungünstigen meteorologischen Bedingungen innerhalb der kurzen zur Verfügung stehenden Vorwarnzeit sowie auf den sicheren Betrieb bei hohen Seegangbelastungen und Eisgang zu legen. Die temporär oder mobil zu schützenden Bereiche sollten in ihrer Ausdehnung auf kurze Strecken von bis zu einigen hundert Metern beschränkt sein. Eine Kombination von permanenten Schutzeinrichtungen mit temporär oder mobil einzusetzenden Aufbauten verringert die innerhalb der Vorwarnzeit zu bewegenden Schutzkomponenten und damit die Aufbauzeit und die Anzahl der zum Aufbau benötigten Kräfte.

Zur Bemessung von Hochwasserschutzanlagen stehen grundsätzlich deterministische und probabilistische Verfahren zur Verfügung. Der zu erzielende Schutzgrad kann über das gesamte Gebiet einheitlich oder differenziert nach Schadenspotentialen gewählt werden.

Probabilistische Bemessungsverfahren, die Hinweise auf Versagenswahrscheinlichkeiten von Hochwasserschutzsystemen liefern, können i.d.R. nicht angewendet werden, da nur ungenügende Eingangsdaten vorliegen. Die in die probabilistische Bemessung zu berücksichtigenden Eintrittswahrscheinlichkeiten einzelner Scha-

densmechanismen basieren, insbesondere bei der Betrachtung von eng mit dem Baumaterial Boden in Verbindung stehenden Schadensfällen, bisher nicht auf örtlich erhobene Daten, sondern sind mehr oder weniger frei gewählt. Hiermit kann keine verbesserte Bemessung im Vergleich zur Anwendung deterministischer Verfahren erzielt werden. Eine Erweiterung des Kenntnisstandes über Schadensmechanismen ist anzustreben. Die bereits bestehenden Kenntnisse hinsichtlich der Schadensmechanismen und des Zusammenwirkens zusammengesetzter sowie redundant ausgelegter Schutzsysteme sollten in qualitativer Weise in die deterministische Bemessung einbezogen werden.

Eine Bemessung unter Risikoaspekten wird an der deutschen Ostseeküste im begrenzten Maße durchgeführt, indem im Zusammenhang besiedelte und andere Gebiete unterschieden werden. Eine direkt auf das Schadenspotential basierende Bemessung ist jedoch nicht sinnvoll. Einerseits weist die hierfür notwendige probabilistische Bemessung bisher erhebliche Mängel auf. Andererseits würde eine strikte Durchführung der Risikobemessung zu sehr unterschiedlichen Schutzgraden und damit zu einer unter der bestehenden gesellschaftlichen Ordnung nicht erwünschten starken Ungleichbehandlung der Bürger in den verschiedenen Küstenregionen führen.

Eine im Vergleich zur heutigen Praxis größere Flexibilität in der Festlegung von Bemessungshochwasserständen und damit von Schutzgraden ist allerdings hinsichtlich eines effizienten Einsatzes finanzieller Ressourcen wünschenswert. Unter Berücksichtigung der Hochwassergefährdung von Menschenleben, Sach- und Kulturgütern sowie der Ökologie sollten besonders schützenswerte Bereiche einen höheren und weniger schützenswerte Küstengebiete einen verringerten baulichen Schutzgrad erhalten.

Zur Bestimmung des Belastungsparameters Wasserstand für die Bemessung von Schutzbauwerken an der Küste können unterschiedliche Verfahren eingesetzt werden. Von besonderer Bedeutung sind hierbei maximal aufgetretene und maximal mögliche Scheitelwasserstände sowie Eintrittswahrscheinlichkeiten von Wasserständen.

Zur Einschätzung maximal aufgetretener Scheitelwasserstände sowie zur statistischen Analyse von Wasserständen liegen überlieferte historische Hochwasserstände sowie z.T. bis in das frühe 19. Jahrhundert reichende systematische Pegelmessungen vor. Diese grundsätzlich gute Datenbasis weist hinsichtlich der Datenqualität Mängel auf. Die überlieferten historischen Hochwasserstandsdaten müssen hinsichtlich der Plausibilität gewissenhaft geprüft werden. Die Anzahl der zur Verfü-

gung stehenden Originalquellen ist jedoch sehr begrenzt. Fehler in Höhe von mehreren Dezimetern sind bei den historischen Hochwasserständen nicht auszuschließen. Ebenso können die frühen Pegelmessungen erhebliche Fehler aufgrund systematischer Messfehler, wechselnder, nur ungenau dokumentierter Pegelnullpunktlagen sowie nicht eindeutig definierter Maßeinheiten aufweisen.

Eine Abschätzung von an der Küste maximal möglichen Wasserständen erfordert weitreichende Kenntnisse der physikalischen Zusammenhänge bei der Entstehung von Sturmfluten sowie die Möglichkeit einer entsprechend hochauflösenden Umsetzung in numerischen Modellen. Hierzu ist eine getrennte Betrachtung der einzelnen den Wasserstand beeinflussenden Faktoren notwendig. Das Wasserstandsvorhersagemodell des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie für die deutsche Ostseeküste bezieht atmosphärische, astronomische und hydrologische Einflussgrößen ein. Die Differenzen zwischen modellierten und gemessenen Wasserständen sind insbesondere beim Auftreten von extremen Wasserständen bedeutend. Somit ist eine auf Wetterszenarien gestützte Vorhersage maximal zu erwartender Wasserstände an den Küstenorten der deutschen Ostseeküste bisher nur unter Zulassung großer Ungenauigkeiten möglich. Ein weiterer Unsicherheitsfaktor in der Berechnung von maximal möglichen Wasserständen besteht in der Auswahl der maßgebenden Wetterszenarien.

Die statistische Analyse von Daten kann immer nur als Hilfsmittel für die Entscheidungsfindung bei praktischen Fragestellungen beispielsweise hinsichtlich der Festlegung von Bemessungshochwasserständen dienen. Bei der Definition von Eintrittswahrscheinlichkeiten von Sturmflutwasserständen an der deutschen Ostseeküste ist wegen der eingeschränkten Datenlage besondere Vorsicht geboten. Der bisherige Kenntnisstand weist darauf hin, dass dem aktuellen Bemessungshochwasserstand an der deutschen Außenküste der Ostsee eine mittlere Wiederkehrperiode von 100 bis 200 Jahren zuzuordnen ist; die 100-jährliche Wiederkehrwahrscheinlichkeit beträgt 40 bis 65 %. Hiermit ist es auch unter Kosten-Nutzen-Erwägungen als begründet anzusehen, einen Bemessungshochwasserstand dieser Größenordnung grundsätzlich für den baulichen Hochwasserschutz erster Ordnung anzusetzen und nur nach intensiver Einzelprüfung davon abzuweichen.

Die Bemessung von Schutzbauwerken an der deutschen Ostseeküste muss gegen Kombinationen äußerer Lasten aus Wasserstand, Seegang und Eisgang erfolgen. Häufig kann aufgrund der Schutzwirkung von Landvorsprüngen oder Bauwerken das gleichzeitige Auftreten extremer Hochwasserstände und extremer Seegangsbelastungen am betrachteten Ort ausgeschlossen werden. Die Seegangsbelastung ist

grundsätzlich am Ort des zu errichtenden Schutzbauwerkes unter Betrachtung unterschiedlicher möglicher Wasserstände zu ermitteln. Das gemeinsame Auftreten von Hochwasserständen und Eisgang muss an der deutschen Ostseeküste in Betracht gezogen werden.

Bezüglich der Hochwasserwarnung und des Katastrophenschutzes wird ein Hochwasserwarnsystem entworfen, das eine einheitliche und effektive Warnkommunikation über die Bundeslandgrenzen hinweg ermöglichen soll. Hierbei ist eine ausreichende Information der Bevölkerung über Hochwassergefahren im Vorfeld nötig, um ein zur Durchführung von Maßnahmen des Katastrophenschutzes aber auch von privaten Vorsorgemaßnahmen notwendiges Gefahrenbewusstsein sicherzustellen. Die Einbeziehung größerer Bevölkerungsteile in den Katastrophenschutz im Rahmen der in Mecklenburg-Vorpommern teilweise bereits organisierten Wasserwehren stellt hierbei ein effektives Mittel dar, da einerseits eine große Zahl ortskundiger, motivierter und in Übungen geschulter Helfer zur Verfügung steht und andererseits eine breit gefasste Information der Bevölkerung über Hochwassergefahren möglich ist.

Zum effektiven Katastrophenmanagement gehört nicht nur der lokale und private Einsatz, sondern auch eine strukturierte öffentliche Verwaltung auf Landesebene und bezüglich der Koordination landesübergreifender Großschadensereignisse auch auf Bundesebene. In den letzten Jahren vorgenommene Sparprogramme im Bereich des Zivilschutzes bergen nicht zu unterschätzende Gefahren.

8 Schrifttum

- 1 AGB 1976 "Gesetz zur Regelung des Rechts der Allgemeinen Geschäftsbedingungen".
- 2 AP "The Belle Tout lighthouse – Back from the brink". Infobroschüre der Firma Abbey Pynford PLC (AP), Watford, England.
- 3 ARC 2000 "Disaster Service". American Red Cross. <http://www.redcross.org/disaster/>
- 4 BAENSCH, J. 1875 "Die Sturmfluth vom 12./13. November 1872 an den Ostseeküsten des Preußischen Staates". Zeitschrift für Bauwesen, Jg. 25.
- 5 BAERENS, C.; HUPFER, P. 1995 "Zur Häufigkeit und den Ursachen von Extremwasserständen an der deutschen Ostseeküste". Ann. Meteorol. 31.
- 6 BAERENS, C.; HUPFER, P.; NÖTHEL, H.; STIGGE, H.-J. 1994 "Zur Häufigkeit von Extremwasserständen an der deutschen Ostseeküste. Teil I: Sturmhochwasser". Spezialarbeiten aus der Arbeitsgruppe Klima des Meteorologischen Instituts der Humboldt Universität zu Berlin, Nr. 8, Berlin.
- 7 BAYER, E. 1986 "Küstenschutz". Baukultur, H. 6.
- 8 BECKMANN, B.-R. 1997 "Veränderungen in der Windklimatologie und in der Häufigkeit von Sturmhochwassern an der Ostseeküste Mecklenburg-Vorpommerns". Hrsg. Raabe, A.; Heintzenberg, J.: Wissenschaftliche Mitteilungen aus dem Institut für Meteorologie der Universität Leipzig und dem Institut für Troposphärenforschung e.V. Leipzig 7, Leipzig.

- 9 BERG, M.; 1994 "Was ist ein Schaden? Zur normativen Dimension
 ERDMANN, G.; des Schadensbegriffs in der Risikowirtschaft". Ver-
 HOFMANN, M.; lag der Fachvereine, Zürich.
 JAGGY, M.;
 SCHERINGER,
 M.; SEILER, H.

- 10 BGH 1990 "BGH, Vers.R. 1990, 896". Nach: KRUG, H. 1991.

- 11 BML 1999 "Bund-Länder-Gemeinschaftsaufgabe "Verbesse-
 rung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes"
 (GAK) Rahmenplan 2000 – 2003". Bundesministe-
 rium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten
 (BML), Bonn.

- 12 BOETIUS, J. 1996 "Handbuch der versicherungstechnischen Rückstel-
 lungen: Handels- und Steuerbilanzrecht der Versi-
 cherungsunternehmen". Köln.

- 13 BORROWS, P. 2000 "Flood Risk Awareness – Recent British Initiatives".
 In: Land and Water Management in Europe 2/2000,
 ERWG Letter 10. Druckpartner Moser Druck + Ver-
 lag, Rheinbach.

- 14 BROTTTO, M.T.; 1998 "The Venice Lagoon Project – The Barriers at the
 GENTILOMO, M. Lagoon Inlets for Controlling High Tides". PIANC
 Bulletin, No. 98.

- 15 BSH 1999 "Computing the North sea and Baltic sea – The
 Operational Model of the BSH". Bundesamt für See-
 schifffahrt und Hydrographie, Hamburg und
 Rostock.

- 16 CHMIELORZ, 1995 "Überschwemmung und Versicherung, Ein Diskussi-
 G.; METZGER, onsbeitrag aus der Sicht eines Rückversicherers".
 J. Versicherungswirtschaft.

- 17 DAEMRICH, 1999 "Overtopping at Vertical Structures". Proc. Second
 K.F. German-Chinese Joint Seminar on Recent Devel-
 opment in Coastal Engineering". Coastal Ocean
 Monitoring Center, Tainan, Taiwan, R.O.C.

- | | | | |
|----|--|-------------|--|
| 18 | DGJ | 1985 - 1995 | "Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch, Küstengebiet der Ostsee". |
| 19 | DH | 1999 | "Project Description: Study on Inflatable Flood-Protective Dams". Delft Hydraulics (DH), Delft. |
| 20 | DHI | 1959 | "Ostsee-Handbuch IV. Teil – Von Flensburg bis Utklippan und Memel". Deutsches Hydrographisches Institut (DHI), Hamburg. |
| 21 | DIECKMANN, R. | 1996 | "Zum langfristigen Meeresspiegelanstieg und seiner Bedeutung für das Küsteningenieurwesen". Hansa, Jg. 133, Heft 10. Schifffahrts-Verlag Hansa, Schroedter & Co., Hamburg. |
| 22 | DICK, S.;
KLEINE, E.;
MÜLLER-
NAVARRA, S. | 2000 | "The BSH's Operational Circulation Model. First results of a new model version." BSH Hamburg, Stand Dezember 2000 (Veröffentlichung in Vorbereitung). |
| 23 | DIETRICH, R.;
LIEBSCH, G.;
WOLF, M.;
HALBFASß, S.;
NOVOTNY, K. | 2000 | "Statistische Untersuchungen zur Häufigkeit von Extremsturmfluten in Mecklenburg-Vorpommern – Methodik zur Erarbeitung von Bemessungsganglinien für Küstenschutzanlagen". Techn. Universität Dresden im Auftrag des Staatlichen Amtes für Umwelt und Natur, Rostock, unveröffentlichter Zwischenbericht. |
| 24 | DIETRICH, R.;
LIEBSCH, G. | 2000 | "Zur Variabilität des Meeresspiegels an der Küste von Mecklenburg-Vorpommern". Zeitschrift für geologische Wissenschaften, Band 28, Heft 6, Gesellschaft für Geowissenschaften e.V., Berlin |
| 25 | DIETZ, H. | 1995 | "Allgemeine Sachversicherung 1994 / 1995". In: Versicherungswirtschaft 1995. |
| 26 | DIN 4049 - 3 | 1994 | "Hydrologie, Teil 3: Begriffe zur quantitativen Hydrologie". Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth-Verlag Berlin. |
| 27 | DKKV | 1999 | Jahresbericht Deutsches Komitee für Katastrophenvorsorge e.V. (DKKV), Bonn. |

- 28 DOSBOUW 1984 "Das Sturmflutwehr in der Oosterschelde". De Oosterschelde Stormvloedkering Bouwcombinatie und das Ministrie van Verkeer en Waterstraat, DOSBOUW. Eigenverlag.
- 29 DUPHORN, K.; 1995 "Die deutsche Ostseeküste". Sammlung geologischer Führer, Band 88. Borntraeger, Berlin, Stuttgart.
KLIEWE, H.;
NIEDERMEYER,
R.O.; JANKE,
W.; WERNER,
F.
- 30 DVWK 1999 "Statistische Analyse von Hochwasserabflüssen". DVWK-Merkblätter 251. Verlag Paul Parey, Hamburg, Berlin.
- 31 DVWK 1990 "Betrachtungen zur (n-1)-Bedingung an Wehren". DVWK-Merkblätter 216. Verlag Paul Parey, Hamburg, Berlin.
- 32 DWD 2000 http://www.dwd.de/general/8NWV_produkte.htm
- 33 EAK 1993 "Empfehlungen des Ausschusses für Küstenbauwerke". In: Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (Hrsg.): Die Küste, Heft 55. Westholsteinische Verlagsgesellschaft Boyens & Co, Heide i. Holst.
- 34 EA 2000 "Environment Agency – Flood Warning Information". Environment Agency (EA), London.
<http://www.environment-agency.Gov.uk/flood/warning2.htm>
- 35 EAU 1996 "Empfehlungen des Arbeitsausschusses "Ufereinfassungen" Häfen und Wasserstraßen", 9. Auflage. Verlag Ernst & Sohn, Berlin.
- 36 EDW 2000 "Effective Disaster Warning". Report by the Working Group on Natural Disaster Information Systems, Subcommittee on Natural Disaster Reduction, 19.11.2000. National Science and Technology Council, Washington.

- 37 EGLI, TH. 1996 "Hochwasserschutz und Raumplanung. Schutz vor Naturgefahren mit Instrumenten der Raumplanung – dargestellt am Beispiel von Hochwasser und Murgängen". ORL-Bericht 100/1996, Institut für Orts-, Regional- und Landesplanung, ETH Zürich.
- 38 EIBEN, H. 1992 "Schutz der Ostseeküste von Schleswig-Holstein ". In: Kramer, J.; Rohde, H. (Hrsg.): Historischer Küstenschutz, Wittwer, Stuttgart.
- 39 EIKENBERG, CHR. 2000 "Journalisten-Handbuch zum Katastrophenschutzmanagement", 6. Auflage. Deutsches Komitee für Katastrophenvorsorge e.V. (DKKV), Bonn.
- 40 ENDERLE, U. 1981 "Zur Problematik der Wasserstandsvorhersage für die Küsten der westlichen Ostsee“. Fachliche Mitteilungen Nr. 202, Amt für Wehrgeophysik, Traben-Trarbach.
- 41 FEMA 1999 "Mandatory Purchase of Flood Insurance Guidelines". FEMA 186 / Sept. 1999, Federal Emergency Management Agency (FEMA), Jessup, USA.
- 42 FRANCO, C.; FRANCO, L. 1999 "Overtopping Formulas for Caisson Breakwaters with Nonbreaking 3D Waves". Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, Jg. 125, H. 2.
- 43 FRANCO, L; DE GERLONI, M.; VAN DER MEER, J.W. 1994 "Wave overtopping on vertical and composite breakwaters". ASCE Proc. 24th ICCE, Kobe, Japan.
- 44 FRANCO, C.; FRANCO, L.; RESTANO, C.; VAN DER MEER, J.W. 1995 "The effect of wave obliquity and short-crestedness on the overtopping rate and volume distribution on caisson breakwaters". MAST II-MCS (Monolithic Coastal Structures) Final Project Proceedings.

- 45 FRÖHLE, P. 2000 "Messung und statistische Analyse von Seegang als Eingangsgröße für den Entwurf und die Bemessung von Bauwerken des Küstenwasserbaus". Rostocker Berichte aus dem Fachbereich Bauingenieurwesen, Heft 2, Rostock.
- 46 FÜHRBÖTER, A., DETTE, H.-H.; WITTE, H.H.; SCHULZ, K.-P. 1987 "Modelluntersuchungen zur Druckschlagbelastung der Wehrträger des Eidersperrwerkes". Leichtweiß-Institut für Wasserbau der Technischen Universität Braunschweig (unveröffentlichter Bericht).
- 47 GÄTJEN, B. 1977/78 "Sturmflutsperrwerke an der deutschen Nordseeküste – Aufgaben, Planung und Bau". Jahrbuch der Hafenbautechnischen Gesellschaft, Bd. 36, S. 179 – 226. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- 48 GemAgrG 1988 "Gesetz über die Gemeinschaftsaufgabe "Verbesserung der Agrarstruktur und des Küstenschutzes". Bundesminister für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (Hrsg.), Bonn.
- 49 GG 1998 "Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland". Deutscher Bundestag, Referat für Öffentlichkeitsarbeit (Hrsg.), Bonn.
- 50 GISSING, K. 1990 "Gutachten über die Alterungsbeständigkeit der bei Schlauchwehren der Müzskraftwerke verwendeten Gummibahnen". Bruck a.d. Mur (unveröffentlicht).
- 51 GL 1987 "Entwurf eines Elbesperrwerks – Studie zur technischen Machbarkeit". Germanischer Lloyd (GL) – Auftraggeber: Behörde für Wirtschaft-, Verkehr und Landwirtschaft – Strom- und Hafenbau, Hamburg (unveröffentlicht).
- 52 GODA, Y. 2000 "Random Seas and Design of Maritime Structures", 2. Auflage. World Scientific, Singapore.
- 53 GRAFF, A. 1999 "Die Versicherung von Elementarrisiken im Rahmen der Verbundenen Hausrat- und der Verbundenen Wohngebäudeversicherung". In: Versicherungswirtschaft Heft 15.

- 54 HAMANN, M. 1998 "Sturmflutgefährdete Gebiete und potentielle Wertverluste an den Küsten Schleswig-Holsteins. Planungsgrundlagen für zukünftige Küstenschutzstrategien". In: Higelke, B (Hrsg.): Beiträge zur Küsten- und Meeresgeographie. Kieler Geographische Schriften, Bd. 97, Kiel.
- 55 HILLEBRANDT, TH. 2000 "Katastrophenvorsorge als Medienthema – wann ist es für Journalisten interessant? Eine höchst subjektive Betrachtung". In: Peters, H.P.; Reiff, S.: Naturkatastrophen und Medien – Herausforderungen an die öffentliche Risiko- und Krisenkommunikation. Dokumentation des IDNDR-Expertenworkshops vom 3.-4.12.1998 in Königswinter. Deutsches Komitee für Katastrophenvorsorge e.V. (DKKV), Bonn.
- 56 HÖFT, H.-D. 1988 "Ein Weg zur Verbesserung des Hamburger Sturmflutschutzes?". Hansa, Jg. 125, Heft 22, S. 1449-1457. Schifffahrts-Verlag Hansa, Schroedter&Co., Hamburg.
- 57 HOUGHTON, J.T. ; MEIRA FILHO, L.G.; CALLANDER, B.A.; HARRIS, N.; KATTENBERG, A.; MASKELL, K. (Hrsg.) 1996 "Climate Change 1995 – The Science of Climate Change". Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Cambridge University Press.
- 58 HUPFER, P. 1979 "Die Ostsee – kleines Meer mit großen Problemen". Teubner, Leipzig.
- 59 HUPFER, P. 1997 "Klimaänderungen und –wirkungen im Ostseeraum". In: Die Ostsee und ihr Einzugsgebiet – Wandel des Natur- und Kulturräumes". Greifswalder Geographische Arbeiten, Band 15, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald.

- 60 HwMDVO 1993 "Hochwassermelddienstverordnung". Gesetz und Verordnungsblatt für Mecklenburg-Vorpommern, Nr. 12, Hrsg.: Innenminister des Landes Mecklenburg-Vorpommern..
- 61 IPCC 2001 "Summary for Policymakers – Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability", Draft 19.02.2001. Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, Working Group 2, Third Assessment Report, Genf.
- 62 JENSEN, J.; TÖPPE, A. 1986 "Zusammenstellung und Auswertung von Originalaufzeichnungen des Pegels Travemünde/Ostsee ab 1826". DGM, H4, S. 99-107.
- 63 JENSEN, J.; TÖPPE, A. 1990 "Untersuchungen über Sturmfluten an der Ostsee unter spezieller Berücksichtigung des Pegels Travemünde". DGM, Jg. 34, H1/2, S. 29-37.
- 64 JORISSEN, R.E. 2000 "Coastal Flood-Risk Management in the Netherlands". Mitteilungen des Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen Heft 85, Universität Hannover.
- 65 KALENBERG, C. 1998 "Zur Versicherbarkeit von Hochwasser- und Überschwemmungsschäden". VVW –Schriftenreihe des Fachbereichs Versicherungswesen der Fachhochschule Köln, Heft 14.
- 66 KLAUS, J.; SCHMIDKE, R.F. 1990 "Bewertungsgutachten für Deichbauvorhaben an der Festlandsküste – Modellgebiet Wesermarsch" Untersuchungsbericht im Auftrag des Bundesministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bonn.
- 67 KLIEWE, H.; JANKE, W. 1978 "Stratigraphie und Entwicklung des nordöstlichen Küstenraumes der DDR". Peterm. Geogr. Mitt., Jg 122, Heft 2, Gotha, Leipzig.
- 68 KLUG, H. 1980 "Der Anstieg des Ostseespiegels im deutschen Küstenraum seit dem Mittelatlantikum". Eiszeitalter und Gegenwart, Jg. 30, Hannover.
- 69 KLUGE, CH. 1996 "Statistische Analyse von Hochwasserdurchflüssen". Dresdner Berichte, Heft 7, Dresden.

- 70 KOHLHASE, S. 1983 "Ozeanographisch-seebauliche Grundlagen der Hafenplanung". Mitteilungen des Franzius-Instituts für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Universität Hannover, Heft 57, Eigenverlag, Hannover.
- 71 KOHLHASE, S.; FRÖHLE, P.; FITTSCHEN, TH. 2000 "Einfluß von Steiluferabbrüchen an der Ostsee auf die Prozeßdynamik angrenzender Flachwasserbereiche – Teilprojekt Hydrodynamik". Abschlußbericht des Institut für Wasserbau, Universität Rostock. Auftraggeber: Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen, KFKI.
- 72 KOLP, O. 1955 "Sturmflutgefährdung der deutschen Ostseeküste zwischen Trave und Swine". Seehydrographischer Dienst, Hydro-Meteorologisches Institut, Stralsund.
- 73 KOPPE, B. 1999 "Das Sommerhochwasser an der Oder 1999 – Ursachen, Verlauf, Folgerungen". Jahrbuch der Hafenbautechnischen Gesellschaft, 52. Band. Schifffahrts-Verlag Hansa, Hamburg.
- 74 KOPPE, B. 1999 "Der letzte Baustein der Delta-Werke - das Sperrwerk im Nieuwe Waterweg". Binnenschifffahrt, Jg. 54, Heft 3. Schifffahrts-Verlag Hansa, Schroedter & Co., Hamburg.
- 75 KOPPE, B.; JUERGENS M.W.; KOHLHASE, S. 1999 "Some Aspects of Storm Surge Management in the State of Mecklenburg-Vorpommern / Coast of the Baltic Sea". Proc. Fifth Intern. Conf. on Coastal and Port Eng. in Developing Countries (COPEDEC), Band 1, Kapstadt.
- 76 KOSLOWSKI, G. 1989 "Die flächenbezogene Eisvolumensumme, eine neue Maßzahl für die Bewertung des Eiswinters an der Ostseeküste Schleswig-Holsteins und ihr Zusammenhang mit dem Charakter des meteorologischen Winters". Dt. Hydrogr. Z. Jg. 42.
- 77 KÖSTER, R. 1995 „Entstehung der Ostsee„. In: Rheinheimer, G (Hrsg.): Meereskunde der Ostsee, 2. Aufl. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.

- 78 KRAUSS, W.; 1962 "Zum System der Eigenschwingungen der Ostsee".
MAGAARD, L. Kieler Meeresforschung 18.
- 79 KRON, W. 1998 "Gesellschaftliche Nutzungsansprüche in Auen und
die Steuerung mit ökonomischen Instrumenten am
Beispiel der Überschwemmungsversicherung". In:
DVWK-Schriften 122: Zukunftsfähige Schutzstrate-
gien der Wasserwirtschaft. Kommissionsvertrieb
Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Was-
ser mbH, Bonn.
- 80 KRUG, H. 1991 "Erweiterte Elementarschadenversicherung im
Breitengeschäft – Ein Überblick". In: Erweiterte Ele-
mentarschadenversicherung im Breitengeschäft.
Hannover Forum – 19./20. 09.1991. Hannover
Rückversicherungs-AG, Eisen und Stahl Rückversi-
cherungs-AG, Hannover.
- 81 KRÜGER, G. 1910/11 "Über Sturmfluten an den deutschen Küsten der
westlichen Ostsee mit besonderer Berücksichtigung
der Sturmflut vom 30./31. Dezember 1904" Jahres-
bericht der Geogr. Gesellschaft zu Greifswald.
- 82 LAMPE, R. 1996 "Die Küsten der Ostsee und ihre Dynamik". In:
Lozan, J.L.; Lampe, R.; Matthäus, W.; Rachor, E.;
Rumohr, H.; von Westernhagen, H.: Warnsignale
aus der Ostsee. Parey Buchverlag Berlin.
- 83 LBauO M-V 1994 "Landesbauordnung Mecklenburg-Vorpommern
(LBauO M-V)". Innenminister des Landes Mecklen-
burg-Vorpommern (Hrsg.), Schwerin.
- 84 LBO 2000 "Landesbauordnung für das Land Schleswig-Hol-
stein (LBO)". Innenminister des Landes Schleswig-
Holstein (Hrsg.), Kiel.
- 85 LIEBSCH, G. 1997 "Aufbereitung und Nutzung von Pegelmessungen für
geodätische und geodynamische Zielstellungen".
Deutsche Geodätische Kommission, Verlag der
Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Reihe
C, Heft 485, München.

- | | | | |
|----|-----------|------|--|
| 86 | LKatSG | 2000 | "Gesetz über den Katastrophenschutz in Schleswig-Holstein". Innenminister des Landes Schleswig-Holstein (Hrsg.), Kiel. |
| 87 | LKatSG | 1992 | "Gesetz über den Katastrophenschutz in Mecklenburg-Vorpommern". Gesetz und Verordnungsblatt für Mecklenburg-Vorpommern, Nr. 26, Innenminister des Landes Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.), Schwerin. |
| 88 | LNatG M-V | 1998 | "Landesnaturenschutzgesetz Mecklenburg-Vorpommern (LNatG M-V)". Schwerin. |
| 89 | LNatSchG | 1993 | "Landesnaturenschutzgesetz Schleswig-Holstein (LNatSchG). Innenminister des Landes Schleswig-Holstein (Hrsg.), Gesetz- und Verordnungsblatt für Schleswig-Holstein, Kiel. |
| 90 | LU | 1998 | "Das Sommerhochwasser an der Oder 1997 – Fachbeiträge anlässlich der Brandenburger Ökologietage II". Studien- und Tagungsberichte Band 16, Schriftenreihe des Landesumweltamtes (LU) Brandenburg, Potsdam. |
| 91 | LU | 1995 | "Hochwasserschutz in Brandenburg". Landesumweltamt Brandenburg (LU), Potsdam. |
| 92 | LÜBBE, E. | 1997 | "Küstenschutz an der deutschen Ostseeküste aus der Sicht des Bundes". In: Schriftenreihe für Landschaftspflege und Naturschutz, Heft 52, Bundesamt für Naturschutz, Bonn – Bad Godesberg. |
| 93 | LWaG | 1992 | "Wassergesetz des Landes Mecklenburg-Vorpommern". Gesetz und Verordnungsblatt für Mecklenburg-Vorpommern, Nr. 28, Innenminister des Landes Mecklenburg-Vorpommern (Hrsg.), Schwerin. |
| 94 | LWG | 1992 | "Landeswassergesetz Schleswig-Holstein (LWG)". Gesetz und Verordnungsblatt für Schleswig-Holstein, Innenminister des Landes Schleswig-Holstein (Hrsg.), Kiel. |

- | | | | |
|-----|-------------------------------|-------|---|
| 95 | MAI, S.; VON
LIEBERMAN, N. | 2000 | "Belastungen der Seedeiche durch Wasserstände und Wellen". Mitteilungen des Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen Heft 85, Universität Hannover. |
| 96 | MAI, S.;
ZIMMERMANN,
C. | 2000 | "Konzepte und Techniken im Küstenschutz im Land Niedersachsen unter geänderten Klimabedingungen – Probabilistischer Ansatz zur Beurteilung". Mitteilungen des Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen Heft 84, Universität Hannover. |
| 97 | MATTHÄUS, W. | 1995 | "Temperatur, Salzgehalt und Dichte". In: Rheinheimer, G. (Hrsg.): Meereskunde der Ostsee, 2. Auflage, Springer Verlag, Berlin. |
| 98 | MBLU | 1997a | "Internes Meßnetz Küste Mecklenburg-Vorpommern". Broschüre des Ministerium für Bau, Landesentwicklung und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern, Schwerin. |
| 99 | MBLU | 1997b | "Küstenschutz in Mecklenburg-Vorpommern". Broschüre des Ministerium für Bau, Landesentwicklung und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern, Schwerin. |
| 100 | MBLU | 1995 | "Generalplan Küsten- und Hochwasserschutz Mecklenburg-Vorpommern". Ministerium für Bau, Landesentwicklung und Umwelt Mecklenburg-Vorpommern, Schwerin. |
| 101 | MELF | 1992 | "Küstensicherung in Schleswig-Holstein". Broschüre des Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Schleswig-Holstein (MELF), Kiel. |
| 102 | MELF | 1986 | "Generalplan 1986 – Deichverstärkung, Deichverkürzung und Küstenschutz in Schleswig-Holstein". Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten des Landes Schleswig-Holstein (MELF), Kiel. |

- | | | |
|------------------------------|-------|---|
| 103 MLR | 2001a | "Generalplan Küstenschutz", Entwurf, Stand 05.02.2001. Ministerium für Räume, Landesplanung, Landwirtschaft und Tourismus des Landes Schleswig Holstein (MLR), Kiel. |
| 104 MLR | 2001b | "Wertermittlungsergebnisse für die einzelnen potentiellen Überflutungsräume, differenziert nach Höhenschichten – Tab. 2: Ostküste". Unveröffentlichte Studie, Ministerium für Räume, Landesplanung, Landwirtschaft und Tourismus des Landes Schleswig Holstein (MLR), Kiel. |
| 105 MLR | 1998 | "Küstenschutz in Schleswig-Holstein". Info-CD, Version 1.0. Ministerium für Ländliche Räume, Landesplanung, Landwirtschaft und Tourismus des Landes Schleswig Holstein (MLR), Kiel. Im Text angegebene Schadenswerte z.T. berichtigte Werte entsprechend einer Mitteilung des MLR. |
| 106 MONTAG, J. | 1999 | "Pegel Eckernförde". Hansa, Jg. 136, Heft 7. Schiffs-fahrts-Verlag Hansa, Schroedter&Co., Hamburg. |
| 107 MÜLLER, E. | 1991 | "Überlegungen zur Rückversicherung von erweiterten Elementarschadendeckungen". In: Erweiterte Elementarschadenversicherung im Breitengeschäft. Hannover Forum – 19./20. 09.1991. Hannover Rückversicherungs-AG, Eisen und Stahl Rückversi-cherungs-AG, Hannover. |
| 108 MVWÖ | 1997 | "Wasserstrasse: Schwimmendes Sturmflutwehr schützt Umland von Rotterdam".
http://www.minvenw.nl/cend/dvo/international/deutsch/
http://www.minvenw.nl/cend/dvo/international/deutsch/pressemitteilungen/du0597.html#Schwimmendes
Ministerium für Verkehr, Wasserwirtschaft und Öffentliche Arbeiten, last updated: 09.06.1997 |
| 109 NAGAI, S.;
KAKUNO, S. | 1976 | "Slit-Type Breakwater; Box-Type Wave Absorber". ASCE, Proc. 15 th Intern. Conf. on Coastal Eng., Honolulu. |

- 110 NAGAI, S.; 1978 "Wave Pressures on Slit-Type Breakwaters". ASCE, KAKUNO, S. Proc. 16th Intern. Conf. on Coastal Eng., Hamburg.
- 111 NEUMANN, G. 1941 "Eigenschwingungen der Ostsee". Arch. Dtsch. Seewarte u. Marineobs., Jg. 61, Heft 4, S. 1 – 59.
- 112 NFIP 1999 "Introduction to the NFIP". Federal Emergency Management Agency, Jessup, USA.
<http://www.fema.gov/nfip/intnfip.htm>, last updated 22.04.1999
<http://www.fema.gov/nfip/fiprobyr.htm>, last updated 15.05.1999
- 113 NIEDERMEYER, 1995 "Die heutige Ostsee und ihre südwestliche Küste". R.-O.; In: Die deutsche Ostseeküste, Sammlung geologischer Führer, Band 88, Gebr. Borntraeger, Berlin, WERNER, F.; Stuttgart, JANKE, W.
- 114 NMELF 1979 "Erfahrungen und Folgerungen aus den Januar-Sturmfluten 1976 für den Küstenschutz Niedersachsens". Ingenieurkommission des Niedersächsischen Ministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (NMELF). In: Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (Hrsg.): Die Küste, Heft 33. Westholsteinische Verlagsgesellschaft Boyens & Co, Heide i. Holst.
- 115 OBERLEITNER, 1983 "Schlauchwehre". wasser, energie, luft – eau, énergie, P.; VISCHER, D. air, 75. Jg., Heft 4, Baden, Schweiz.
- 116 OUMERACI, H. 1996 "Bemessung von Hochwasserschutzwänden auf Sturmflutseegang – Anforderungen an ein Bemessungskonzept". In: "Hochwasserschutz in Häfen". Sprechtag der Hafenbautechnischen Gesellschaft Gesellschaft am 02.10.1996, Hamburg
- 117 PETERSEN, M.; 1979 "Sturmflut. Die großen Fluten an den Küsten ROHDE, H. Schleswig-Holsteins und in der Elbe". K. Wachholtz Verlag, Neumünster.

- | | | |
|--------------------|---------|--|
| 118 PFEIL, J. | 2000 | "Maßnahmen des Katastrophenschutzes und Reaktionen der Bürger in Hochwassergebieten – Am Beispiel von Köln und Bonn". Deutsches Komitee für Katastrophenvorsorge e.V. (DKKV), Bonn. |
| 119 PLATE, E.J. | 1998 | "Stochastic Hydraulic Modelling – A Way to Cope with Uncertainty". Proc. ICHE, 3rd Intern. Conf. on Hydrosience and Engineering, Cottbus. |
| 120 PLATE, E.J. | 1993 | "Statistik und angewandte Wahrscheinlichkeitslehre für Bauingenieure". Verlag Ernst & Sohn, Berlin. |
| 121 POHLHAUSEN, R. | 1999 | "Gedanken zur Überschwemmungsversicherung in Deutschland". In: Zeitschr. f.d. Versicherungsw. 2/3. |
| 122 PROBST, B. | 2000 | "Generalplanungen für den Küstenschutz in Schleswig-Holstein". Mitteilungen des Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen Heft 85, Universität Hannover. |
| 123 QUICK DAMM | - | "Quick-Damm". Firmenunterlagen der Firma Quick-Damm, Heuchelheim. |
| 124 REINHARD, H. | 1967 | "Geschiebeverfrachtung durch Eisschollen". Wissenschaftliche Zeitschrift der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, Jg. 16, Mathematisch-naturwissenschaftliche Reihe Nr. 3, Greifswald. |
| 125 REINHARD, H. | 1958/59 | "Über Wirkungen des Eises an der Küste". Wissenschaftliche Zeitschrift der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald, Jg. 8, Mathematisch-naturwissenschaftliche Reihe Nr. 1/2, Greifswald. |
| 126 ROSSITER, J.R. | 1967 | "An analysis of annual sea level variations in European waters". J. R. Astr. Soc. Band 12. |
| 127 RWS | 1999 | "The inflatable dam and the Bouwdienst". Rijkswaterstaat (RWS), Den Haag. |
| 128 SACHS, L. | 1997 | "Angewandte Statistik". 8. Auflage, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg. |
| 129 SALVE | 2001 | "Mose project". In: http://www.salve.it/uk/index.html |
| 130 SASS, H.-H. | 1986 | "Hochwasserschutz für Venedig". Bauingenieur, 61. |

- 131 SATUJO - "Barrages Gonflables Rubber Dams". Firmenbro-
schüre von SATUJO SA, Boisset Gaujac, Frank-
reich.
- 132 SCHÄFER, R. 1991 "30 Jahre Elementarschadenversicherung in Baden-
Württemberg – Erkenntnisse, Meinungen, Perspek-
tiven". In: Erweiterte Elementarschadenversicherung
im Breitengeschäft. Hannover Forum – 19./20.
09.1991. Hannover Rückversicherungs-AG, Eisen
und Stahl Rückversicherungs-AG, Hannover.
- 133 SCHMELZER, 2000a Schriftliche Mitteilung zu den Eisverhältnissen an
N. der deutschen Ostseeküste vom 27.10.2000. Bun-
desamt für Seeschifffahrt und Hydrographie Ros-
tock.
- 134 SCHMELZER, 2000b Scheitelwerte bekannter Sturmflutwasserstände an
N. der Mecklenburg-Vorpommerschen Ostseeküste
zusammengestellt vom Wasserstandsvorsage-
dienstes des BSH. Anlage zur schriftlichen Mittei-
lung zu den Eisverhältnissen an der deutschen Ost-
seeküste vom 27.10.2000. Bundesamt für See-
schifffahrt und Hydrographie (BSH) Rostock.
- 135 SCHÖTTLER, H. 2000 "Ist unser Bevölkerungsschutzsystem noch zu-
kunftsfähig? – Katastrophenschutz im 21. Jahrhun-
dert: Anspruch, Realität und notwendige Entwick-
lungslösungen". Deutsches Komitee für Katastro-
phenvorsorge e.V. (DKKV), Bonn.
- 136 SCHUMACHER, 1998 "Klimaänderung und Boddenlandschaft – Holozäne
W.; LAMPE, R.; Entwicklungsgeschichte ausgewählter Boddenland-
JANKE, W. schaften Mecklenburg-Vorpommerns unter beson-
derer Berücksichtigung von Klima, Eustasie und
Isostasie". Verbundvorhaben des BMBF, Abschluß-
bericht 1994 – 1998.

- | | | |
|--------------------|-------|---|
| 137 SCHUMACHER, W. | 2000 | "Das Sturmhochwassergeschehen an der südlichen Ostseeküste – ein Beitrag zur Bewertung des Bemessungshochwasserstandes". Unveröffentlichtes Teilgutachten vom 03.11.2000, Ernst-Moritz-Arndt Universität Greifswald, Institut für Geologische Wissenschaften. |
| 138 SHD | 1979 | "Atlas zur Ermittlung der Wellenhöhen in der südlichen Ostsee". Seehydrographischer Dienst der Deutschen Demokratischen Republik (SHD). |
| 139 SIEFERT, W. | 1996 | "Seegangswirkung als Bemessungsgröße für den Hochwasserschutz in Hamburg". In: Hochwasserschutz in Häfen – Neue Bemessungsansätze. Sprechtag der Hafenbautechnischen Gesellschaft e.V., Hamburg. |
| 140 SJÖBERG, B. | 1992 | "Sea and coast" The National Atlas of Sweden. Almquist & Wiksell International Stockholm. |
| 141 STARKE | 1997 | "Erläuterungsbericht zum Antrag auf Feststellung des Planes für den Bau eines Emssperrwerks zwischen Gandersum und Nendorp bei Strom-km 32,2 durch das Land Niedersachsen." Bezirksregierung Weser-Ems, Norden (unveröffentlicht). |
| 142 StAUN | 1995 | "Analyse zum Hochwasserschadenspotential an der Ostsee- und Boddenküste in Mecklenburg-Vorpommern" der OSAM GmbH. Staatliches Amt für Umwelt und Natur (StAUN) Rostock, Rostock. |
| 143 STERR, H. | 1993 | "Der Einfluß von Klimavarianz auf die Morphodynamik der deutschen Ostseeküste".In: Schellnhuber, H.-J.; Sterr, H.: Klimaänderung und Küste: Einblick in das Treibhaus, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. |
| 144 STIGGE, H.-J. | 2000a | "Bekannte Pegel der (ehemaligen) deutschen Ostseeküste seit 1811". Teil eines Konzepts zur Veröffentlichung (bisher unveröffentlicht), Rostock. |

- 145 STIGGE, H.-J. 2000b "Bewertung von Modellergebnissen für Wasserstandsvorhersagen". Unveröffentlicht, Rostock.
- 146 STIGGE, H.-J. 1996 "Was man über Ostseesturmfluten wissen sollte...". In: Redieck & Schade (Hrsg.): Dokumentation der Sturmflut vom 3. und 4. November 1995 an den Küsten Mecklenburg-Vorpommerns, Redieck & Schade, 1996, Rostock
- 147 STIGGE, H.-J. 1995 "The Local Effect of Storm Surges on the Baltic Coast". Contribution to the UNESCO-Workshop HYDROCOAST '95, Bangkok.
- 148 STIGGE, H.-J. 1994 a "Die Wasserstände an der Küste Mecklenburg-Vorpommerns". In: Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (Hrsg.): Die Küste, Heft 56, Westholsteinische Verlagsgesellschaft Boyens & Co, Heide i. Holst.
- 149 STIGGE, H.-J. 1994 b "Akzeleration und Periodizität des säkularen Meeresspiegelanstiegs an der Mecklenburgischen Küste". Deutsche Hydrographische Zeitschrift, Bd. 46, S. 255-262.
- 150 STIGGE, H.-J. 1989 "Nullpunktkorrektur für alle DDR-Küstenpegel". Beiträge zur Meereskunde H. 60, Berlin.
- 151 STRÜBING, K. 1999 "The Ice Winter of 1998/99 on the German Coasts between Ems and Oder, with a Survey of the Entire Baltic Area". Deutsche Hydrographische Zeitung, Jg. 51, Heft 1, S. 85-95, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg, Rostock.
- 152 STRÜBING, K. 1995 "Der Eiswinter 1994/95 im deutschen Küstengebiet zwischen Ems und Oder ". Deutsche Hydrographische Zeitung, Jg. 47, Heft 2, S. 153-160, Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg, Rostock.

- | | | |
|---|------|--|
| 153 TAUTENHAIN,
E., SCHMIDT,
R.;
ZIMMERMANN,
C; DAEMRICH,
K.F. | 1994 | "Lastansätze von brechenden und nichtbrechenden Wellen auf die Hochwasserschutzwände in Hamburg". Gutachterliche Stellungnahme (unveröffentlicht), Großer Wellenkanal, Hannover. |
| 154 TAUTENHAIN,
E.; SCHMIDT-
KOPPENHAGE
N, R. | 1996 | "Wirkung wellendämpfender Baumaßnahmen vor Hochwasserschutzwänden". In: "Hochwasserschutz in Häfen". Sprechtag der Hafenbautechnischen Gesellschaft am 02.10.1996, Hamburg. |
| 155 TIESEL, R. | 1995 | "Das Wetter". In: Rheinheimer, G. (Hrsg.): Meereskunde der Ostsee, 2. Auflage, Springer Verlag, Berlin. |
| 156 TOMCZAK, G. | 1958 | "Nachweis der fortschreitenden Welle in der südlichen Nordsee". Dt. hydrogr. Z., Bd. 21, H.3. |
| 157 TWIGG, J. | 1998 | "Community perceptions of risk – Their impact on the effectiveness of early warning systems". In: Programme and Abstracts of the Early Warning Conference, 07. – 11.09.1998, Potsdam. |
| 158 UNDRO | 1991 | "Mitigation natural disasters: Phenomena, effects, and options". Office of the United Nations Disaster Relief Coordinator (UNDRO), New York. |
| 159 VerBAV | 1991 | "Musterbedingungen BEH und BEW: Besondere Bedingungen für die Versicherung weiterer Elementarschäden in der Hausrat- bzw. in der Wohngebäudeversicherung". Bundesaufsichtsamt für das Versicherungswesen, VerBAV 8/1991. |
| 160 VRIJLING, J.K. | 1990 | "Probabilistic design of flood defences". In: Pilarczyk, K.W. (ed): Coastal Protection. Balkema, Rotterdam. |
| 161 WaG DDR | 1982 | "2. Wassergesetz der DDR vom 21.07.1982". GBl 1 Nr. 26 |

- 162 WARRICK, R.A.; 1996 „Changes in Sea Level“. In: Houghton, J.T. et al.:
LE PROVOST, "Climate Change 1995 - The Science of Climate
C.; MEIER, M.F.; Change". Intergovernmental Panel on Climate
OERLEMANS, Change (IPCC), Cambridge University Press.
J.;
WOODWORTH,
P.L.
- 163 WEGEMANN, G. 1911 "Die Sturmfluten der westlichen Ostsee". Die Heimat
21 (1911), Nr. 9
- 164 WEISE, H. 1990 "Rezente vertikale Erdkrustenbewegungen im südli-
chen Ostseeraum". Veröffentlichungen des Zentral-
instituts für Physik der Erde, Nr. 115, Potsdam.
- 165 WEISS, D.; 1996 "Sturmfluten – Angriff und Gefahr für die Küste unter
BIERMANN, S. besonderer Berücksichtigung des 3. und 4. Novem-
ber 1995". In: Redieck & Schade (Hrsg.): Doku-
mentation der Sturmflut vom 3. und 4. November
1995 an den Küsten Mecklenburg-Vorpommerns,
Redieck & Schade, 1996, Rostock
- 166 WERNICKE, H. 1996 "Kulturen und Herrschaften im Ostseeraum". In: Lo-
zan, J.L. et al. (Hrsg.): Warnsignale aus der Ostsee.
Parey Buchverlag Berlin.
- 167 WGS 1999 "Das pneumatische Wehr bei Ramspol – Ein einzig-
artiges Sturmflutsperrwerk für West-Overijssel".
Waterschap Groot Salland (WGS), Zwolle.
- 168 WOHLSTEDT, R 1958 "Das Eiszeitalter I und II. ". Stuttgart.
- 169 WSU 1999 "Water Structure TM". Internetveröffentlichung von
Water Structure unlimited: www.waterstructure.com,
USA.
- 170 WÜBBER, C.-H.; 1979 "The two dimensional seiches of the Baltic Sea".
KRAUSS, W. Oceanol. Acta 2: 435 - 466.
- 171 ZSG 1997 "Zivilschutzgesetz der Bundesrepublik Deutschland
(ZSG)". Bundesminister des Innern (Hrsg.), Berlin.

Anhang

Jahreshöchstwasserstände am Pegel Travemünde der Jahre 1826 bis 2000 (W_{mess} : Messwert [m NN_{alt}], W_{gen} : Unter Berücksichtigung eines säkularen Meeresspiegelanstiegs von 15cm/100a auf das Jahr 2000 genormte Werte [m NN_{alt}]) (nach JENSEN, TÖPPE 1986; DGJ 1985-1995; Jahreshöchstwasserstände 1996 bis 2000 nach Informationen des Wasser- und Schifffahrtsamtes Lübeck)

Jahr	W_{mess}	W_{gen}		Jahr	W_{mess}	W_{gen}
1826	1,02	1,28		1851	0,68	0,90
1827	1,09	1,35		1852	0,68	0,90
1828	0,59	0,85		1853	0,97	1,19
1829	0,87	1,13		1854	0,61	0,83
1830	1,30	1,56		1855	1,04	1,26
1831	0,66	0,91		1856	0,82	1,04
1832	0,94	1,19		1857	0,97	1,18
1833	0,66	0,91		1858	1,26	1,47
1834	0,51	0,76		1859	0,92	1,13
1835	1,30	1,55		1860	0,54	0,75
1836	1,45	1,70		1861	1,47	1,68
1837	1,3	1,54		1862	0,61	0,82
1837	0,87	1,11		1863	0,73	0,94
1839	0,80	1,04		1864	1,02	1,22
1840	0,80	1,04		1865	1,42	1,62
1841	1,23	1,47		1866	0,51	0,71
1842	0,51	0,75		1867	1,81	2,01
1843	0,87	1,11		1868	1,54	1,74
1844	0,90	1,13		1869	1,30	1,50
1845	0,97	1,20		1870	0,80	1,00
1846	1,11	1,34		1871	0,97	1,16
1847	0,83	1,06		1872	0,69	0,88
1848	0,90	1,13		1873	3,16	3,35
1849	0,83	1,06		1874	1,34	1,53
1850	1,04	1,27		1875	1,24	1,43

Jahr	W_{mess}	W_{gen}		Jahr	W_{mess}	W_{gen}
1876	1,19	1,38		1908	1,82	1,96
1877	0,74	0,92		1909	0,93	1,07
1878	0,39	0,57		1910	1,24	1,38
1879	0,89	1,07		1911	1,07	1,20
1880	0,94	1,12		1912	1,09	1,22
1881	1,42	1,24		1913	1,29	1,42
1882	0,64	0,82		1914	1,97	2,10
1883	0,84	1,02		1915	1,00	1,13
1884	1,18	1,35		1916	0,95	1,08
1885	0,72	0,89		1917	0,86	0,98
1886	0,78	0,95		1918	0,82	0,94
1887	1,21	1,38		1919	0,54	0,66
1888	0,83	1,00		1920	0,64	0,76
1889	1,33	1,50		1921	0,80	0,92
1890	0,68	0,85		1922	1,20	1,32
1891	1,83	1,99		1923	0,62	0,74
1892	0,76	0,92		1924	1,28	1,39
1893	0,91	1,07		1925	0,74	0,85
1894	1,67	1,83		1926	0,88	0,99
1895	1,17	1,33		1927	0,88	0,99
1896	1,08	1,24		1928	1,05	1,16
1897	0,79	0,94		1929	1,10	1,21
1898	1,33	1,48		1930	0,91	1,02
1899	1,04	1,19		1931	0,97	1,07
1900	1,27	1,42		1932	1,19	1,29
1901	1,03	1,18		1933	0,83	0,93
1902	1,27	1,42		1934	0,98	1,08
1903	1,18	1,33		1935	1,27	1,37
1904	1,27	1,41		1936	1,01	1,11
1905	2,16	2,30		1937	0,80	0,89
1906	1,09	1,23		1938	1,01	1,10
1907	1,19	1,33		1939	1,38	1,47

Jahr	W_{mess}	W_{gen}		Jahr	W_{mess}	W_{gen}
1940	1,44	1,53		1971	1,10	1,14
1941	0,94	1,03		1972	1,40	1,44
1942	1,58	1,67		1973	0,95	0,99
1943	0,83	0,92		1974	1,32	1,36
1944	0,62	0,70		1975	1,01	1,05
1945	0,66	0,74		1976	1,44	1,48
1946	1,02	1,10		1977	1,08	1,11
1947	0,49	0,57		1978	1,21	1,24
1948	1,15	1,23		1979	1,81	1,84
1949	1,39	1,47		1980	1,44	1,47
1950	1,54	1,62		1981	0,94	0,97
1951	0,72	0,79		1982	1,10	1,13
1952	1,42	1,49		1983	1,63	1,66
1953	1,10	1,17		1984	1,42	1,44
1954	2,00	2,07		1985	1,16	1,18
1955	1,15	1,22		1986	0,91	0,93
1956	1,51	1,58		1987	1,78	1,80
1957	1,56	1,62		1988	1,15	1,17
1958	1,62	1,68		1989	1,45	1,47
1959	1,00	1,06		1990	1,78	1,80
1960	1,65	1,71		1991	1,10	1,11
1961	1,55	1,61		1992	1,23	1,24
1962	1,21	1,27		1993	1,51	1,52
1963	1,15	1,21		1994	1,17	1,19
1964	1,40	1,45		1995	1,43	1,44
1965	1,35	1,40		1996	1,84	1,85
1966	1,44	1,49		1997	1,11	1,11
1967	1,07	1,12		1998	1,39	1,39
1968	1,57	1,62		1999	0,79	0,79
1969	1,22	1,27		2000	1,32	1,32
1970	0,92	0,97				