

Wasser: Ökologie und Bewirtschaftung

Holger Schüttrumpf
Babette Scheres *Hrsg.*

Ökologische Aufwertung von Seedeichsystemen

Erste Planungsempfehlungen für die
Praxis mit aktuellen Erkenntnissen
aus der Wissenschaft

EBOOK INSIDE

 Springer Vieweg

Wasser: Ökologie und Bewirtschaftung

Zunehmend arbeiten Hydrologen, Hydrauliker, Ingenieure des Wasserwesens sowie Hydrochemiker und Biologen in interdisziplinären Gruppen zusammen. Allen gemeinsam ist, dass sie als Ökologen unter Berücksichtigung technisch-ökonomischer Gesichtspunkte die Strukturen und Funktionen der Gewässer erkennen, nutzen, gestalten und erhalten müssen. Die Reihe wendet sich an alle, die sich in Praxis und Theorie mit den Themen Oberflächengewässer, Grundwasser und Wasserversorgung oder Abwasserentsorgung beschäftigen. Das Spektrum umfasst sowohl Konzepte und Anforderungen, die technischer oder politischer Art sein können, als auch Techniken, Methoden und Modelle.

Weitere Bände in der Reihe <http://www.springer.com/series/14331>

Holger Schüttrumpf • Babette Scheres
Hrsg.

Ökologische Aufwertung von Seedeichsystemen

Erste Planungsempfehlungen für die Praxis
mit aktuellen Erkenntnissen aus der
Wissenschaft

Hrsg.
Holger Schüttrumpf
Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und
Wasserwirtschaft
RWTH Aachen University
Aachen, Deutschland

Babette Scheres
Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und
Wasserwirtschaft
RWTH Aachen University
Aachen, Deutschland

ISSN 2509-3398

ISSN 2509-3401 (electronic)

Wasser: Ökologie und Bewirtschaftung

ISBN 978-3-658-31506-1

ISBN 978-3-658-31507-8 (eBook)

<https://doi.org/10.1007/978-3-658-31507-8>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert durch Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2020

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Lektorat: Dr. Daniel Fröhlich

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Vorwort

Küstengebiete faszinieren mit beeindruckenden Landschaften und wertvollen Biotopen. Seit Jahrhunderten fühlt der Mensch sich zur Küste und zur See hingezogen, sei es um Ressourcen des Meeres zu nutzen, Handelswege zu verkürzen oder einfach zur Erholung und Naturbildung. Schnell wurde er sich jedoch auch der gewaltigen Naturkräfte bewusst, die von der See ausgehen. So begann er zum Schutz vor Überflutungen, Erdwälle aufzuschütten und diese den einwirkenden Kräften stetig anzupassen – der Seedeich war geboren. Heutzutage kann auf langjährige Erfahrungen und gesichertes Wissen zu den Seegangskräften und Bauwerkswirkungen zurückgegriffen werden und Seedeiche angepasst an die jeweiligen örtlichen Bedingungen gebaut werden. Im Fokus stehen dabei der Überflutungsschutz und die Stabilität des Deichbauwerks.

Vor dem Hintergrund zunehmender Naturbelastungen und Ökosystemschädigungen sowie steigender Belastungen infolge des Klimawandels haben wir – ein Team bestehend aus Wissenschaftler*innen der Fachbereiche Küsteningenieurwesen, Biologie und Umweltforschung – uns zusammengeschlossen, um Methoden und Ansätze zur ökologischen Aufwertung und Steigerung der ökosystemaren Leistungen von Seedeichen zu untersuchen. Wir betrachteten – die Deichsicherheit stets als Grundvoraussetzung im Hinterkopf – die verschiedenen Elemente von Seedeichsystemen und untersuchten Möglichkeiten und Chancen zur Steigerung des ökosystemaren Werts. Potenzial wurde bezüglich der Aufwertung und Miteinbeziehung des Deichvorlands und durch die ökologische Aufwertung des Deichbauwerks selbst erkannt. Neben ökologischen Vorteilen konnten auch küstenschutzrelevante Leistungen identifiziert werden. Ausgewählte Ansätze untersuchten wir tiefergehend im Rahmen des Verbundprojektes BMBF-EcoDike auf Basis theoretischer Überlegungen, Laboruntersuchungen, klein- und großmaßstäblicher Experimente sowie Messungen in der Natur.

In dem vorliegenden Sammelwerk werden verschiedene Aspekte zur ökologischen Aufwertung von Seedeichsystemen detailliert anhand aktueller Erkenntnisse aus der Wissenschaft diskutiert. Der Leserin/dem Leser soll ein Überblick über die aktuelle Praxis der Deichbemessung und Möglichkeiten zur ökologischeren Deichgestaltung unter Berücksichtigung des aktuellen Stands des Wissens gegeben werden. Von der Küstenschutzfunktion von Deichvorlandökosystemen, über ökologische und ingenieurbiologische Aspekte

der Deichvegetation, bis hin zur Deichunterhaltung und ökotoxikologischen Untersuchungen von Baumaterialien wird ein breites Spektrum an Themen adressiert. Unter dem Leitthema „naturbasierte Küstenschutzlösungen“ (nature-based solutions for coastal protection) möchten wir so auf Chancen und Möglichkeiten aufmerksam machen, den ökologischen Wert und die Ökosystemleistungen von Seedeichsystemen unter Berücksichtigung der Küstenschutzfunktion zu steigern, und somit zu einer nachhaltigen Entwicklung des Küstenraums beitragen.

In Anbetracht der Neuheit des Themas können an dieser Stelle nicht alle Fragestellungen endgültig beantwortet werden. Auf weiteren Forschungsbedarf wird an entsprechender Stelle hingewiesen. Für Anregungen sind wir jederzeit offen und sehen der Weiterverfolgung der Thematik mit Freude entgegen.

Den Autoren der einzelnen Beiträge möchten wir ganz herzlich für die gute Zusammenarbeit und ihren Beitrag zu diesem Buch danken.

Aachen, Deutschland
Juli 2020

Holger Schüttrumpf
Babette Scheres

Inhaltsverzeichnis

1	Aufbau und funktionelle Bemessung von Seedeichen – ein Überblick	1
	B. Scheres und H. Schüttrumpf	
1.1	Belastungen	3
1.2	Aufbau	6
1.3	Empfehlungen für die Planung und Ausführung	10
1.4	Zusammenfassung und Buchausblick	11
	Literatur.	12
2	Ökosystemare Aspekte an Seedeichsystemen	15
	B. Scheres, A. Arns, C. Bisgwa, B. Deutschmann, P. Fröhle, N. Goseberg, A. Graunke, T. K. Hoffmann, H. Hollert, J. Jensen, P. Jordan, K. Keimer, V. Kosmalla, N. Manojlovic, J. Michalzik, S. Molzberger, M. Paul, T. Schlurmann, D. Schürenkamp, F. Soltau, M. Ulm, N. Wrage-Mönnig und H. Schüttrumpf	
2.1	Definitionen und Rahmenprogramme	16
2.2	Ökologische Aufwertung von Seedeichsystemen	19
2.3	Zusammenfassung	24
	Literatur.	25
3	Die Küstenschutzfunktion von Deichvorlandökosystemen	29
	F. Soltau, K. Keimer, V. Kosmalla, D. Schürenkamp, M. Ulm, A. Arns, N. Goseberg und J. Jensen	
3.1	Ökosystemleistungen von Deichvorländern im Küstenschutz.	31
3.2	Empfehlungen zur Abschätzung der Wellendämpfung	36
3.3	Empfehlungen zur Erweiterung der Datengrundlage	41
3.4	Zusammenfassung	44
	Literatur.	46
4	Die Deichbegrünung unter ökologischen Gesichtspunkten	49
	N. Wrage-Mönnig, C. Bisgwa und A. Graunke	
4.1	Effekte pflanzlicher Diversität im Grünland	51
4.2	Biodiverse Grasnarben auf Deichen	54

4.3	Maßnahmen zur Schaffung pflanzlicher Diversität auf Deichen	58
4.4	Zusammenfassung	61
	Literatur.	61
5	Die Rolle der Deichvegetation aus Ingenieursicht	67
	B. Scheres, J. Michalzik, T. K. Hoffmann, M. Paul, H. Schüttrumpf und T. Schlurmann	
5.1	Vegetation zur Deichverstärkung	68
5.2	Der Widerstand gegen Wellendruckschläge.	72
5.3	Der Widerstand gegen Wellenüberlauf	75
5.4	Der Einfluss von Wellen auf die Vegetationsentwicklung	79
5.5	Erfassung des Widerstands.	85
5.6	Grasverstärkungen	90
5.7	Zusammenfassung	92
	Literatur.	93
6	Geotextilien in Seedeichen – Ökotoxikologische Aspekte	101
	B. Deutschmann und H. Hollert	
6.1	Ökotoxikologische Aspekte von Deichdeckwerken.	102
6.2	Geotextilien	103
6.3	Ökotoxikologische Untersuchungen von Geotextilien in EcoDike	104
6.4	Material und Methoden	105
6.5	Ergebnisse	107
6.6	Diskussion	110
6.7	Zusammenfassung	113
	Literatur.	114
7	Unterhaltung ökologisch aufgewerteter Seedeiche	117
	P. Jordan, N. Manojlovic und P. Fröhle	
7.1	Auf dem Weg zu einer risikobasierten Deichunterhaltung	118
7.2	Relevante Versagensmechanismen und Konsequenzen für Inspektionen . .	119
7.3	Status Quo an der deutschen Küste	122
7.4	Einfache in situ Tests und Bewertungsschemata	127
7.5	Diskussion der Ergebnisse und Zusammenfassung	136
	Literatur.	139
	Stichwortverzeichnis.	141



Aufbau und funktionelle Bemessung von Seedeichen – ein Überblick

1

B. Scheres und H. Schüttrumpf

Einführung

Seit Jahrtausenden siedelt der Mensch bevorzugt in Wassernähe. Neben Rohstoffen und Nahrung sind insbesondere die Handels- und Transportwege in Flüssen und Meeren von großer Bedeutung. Zudem stellen Binnen- und Küstengewässer attraktive Landschaften für Erholungs- und Freizeitaktivitäten dar. So hat sich aus der demografischen Entwicklung ergeben, dass heutzutage 21 der weltweit 33 Megacities innerhalb eines Radius von 100 km von der Küste zu finden sind (Martínez et al. 2007). Entsprechend hoch ist die Anzahl der im Küstenbereich lebenden Menschen und der Wert der dort befindlichen Schutzgüter (z. B. Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz 2018; Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein 2013).

Der Küstenschutz hat die zentrale Aufgabe, diese Schutzgüter und Menschen sowie ihren Lebensraum vor den Einwirkungen des Meeres zu schützen. Dabei sind sowohl der Sturmflutschutz, d. h. der Schutz des Hinterlandes vor Überschwemmungen infolge von Sturmfluten, als auch der Erosionsschutz, d. h. der Schutz vor einem Rückgang der Küstenlinie, zu gewährleisten. Hierzu können unterschiedliche Küstenschutzstrategien verfolgt werden, u. a. der Schutz mit technischen Bauwerken, eine Anpassung an die Gegebenheiten (z. B. Häuser auf Stelzen) oder der kontrollierte Rückzug aus der Gefahrenzone (Niemeyer et al. 2014). Beim Sturmflutschutz mit technischen Bauwerken haben sich insbesondere Seedeiche und Ufermauern bewährt. Diese Bauwerke bilden eine linienhafte

B. Scheres (✉) · H. Schüttrumpf

Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft, RWTH Aachen University, Aachen, Deutschland

E-Mail: schuettrumpf@iww.rwth-aachen.de

© Der/die Autor(en), exklusiv lizenziert durch Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2020

H. Schüttrumpf, B. Scheres (Hrsg.), *Ökologische Aufwertung von Seedeichsystemen*, Wasser: Ökologie und Bewirtschaftung,

https://doi.org/10.1007/978-3-658-31507-8_1

1

Erhöhung der Oberfläche entlang der Küstenlinie und stellen somit im Sturmflutfall eine Barriere gegen das angreifende Wasser des Meeres dar. Allein in Deutschland schützen rund 1200 km See- und Ästuardeiche eine Fläche von 12.000 km² mit einer Population von mehr als 2.400.000 Menschen (Schüttrumpf 2008). Abb. 1.1 zeigt beispielhaft einen Seedeich mit Grasdeckschicht und einen Seedeich mit grauem Deckwerk.

Infolge des Klimawandels ist in den nächsten Jahrzehnten mit einem Anstieg des globalen mittleren Meeresspiegels (IPCC 2019; Dangendorf et al. 2019) und damit verbunde-



Abb. 1.1 Seedeich mit Grasdeckschicht (oben, Foto: Schüttrumpf, 2012) und Seedeich mit grauem Deckwerk (unten, Foto: Schüttrumpf, 2019)

nen Änderungen der Sturmflutwasserstände (Arns et al. 2015) und Welleneinwirkungen (Chini et al. 2010) sowie zunehmenden Bemessungshöhen für Küstenschutzbauwerke (Arns et al. 2017) zu rechnen. Neben der grundlegenden Unterhaltung der bestehenden Küstenschutzbauwerke, um Alterungserscheinungen entgegenzuwirken und die Schutzfunktion aufrechtzuerhalten, sind diese stetig an die steigenden Belastungen anzupassen.

In den nachfolgenden Abschnitten werden basierend auf gängigen nationalen und internationalen Bemessungsempfehlungen (EAK 2002; EurOtop 2018; CIRIA 2013) die hydraulischen Belastungen und der Aufbau von Seedeichen sowie Leitfäden und Empfehlungen für die Bemessung zusammenfassend dargestellt. Der Fokus liegt dabei auf den hydraulischen Einwirkungen und der funktionellen Bemessung (Küstenschutzfunktion). Für geotechnische, konstruktive und bautechnische Gesichtspunkte wird auf weiterführende Literatur verwiesen.

1.1 Belastungen

1.1.1 Wasserstände und Seegang

Seedeiche erfahren äußere hydraulische Belastungen durch schwankende Wasserstände und Seegang.

Der Wasserstand vor/am Seedeich variiert infolge der Gezeiten, Windstau, Fernwellen und (im Ästuar) dem Oberwasserzufluss (Abb. 1.2). Während eines Sturmflutereignisses überlagern sich die verschiedenen Einflüsse. Tidebedingte Wasserspiegelschwankungen sind periodisch und meteorologisch unabhängig. Wichtige Parameter stellen das Tidehochwasser (Thw), das Tideniedrigwasser (Tnw) und der Tidehub (Thb) als Differenz zwischen Tidehoch- und -niedrigwasser dar. Beispielsweise beträgt der mittlere Tidehub am Pegelstandort Cuxhaven 2,97 m (Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz 2007). Wasserspiegelschwankungen infolge von Windstau sind hingegen von der Meteorologie abhängig und werden u. a. von Windparametern und der Ursprungswassertiefe beeinflusst. Der Wind aus einem Starkwindfeld überträgt



Abb. 1.2 Schwankende Wasserstände und Seegang vor/am Seedeich

Schubkräfte in den Wasserkörper, schiebt somit Wasser in Windrichtung und erzeugt den sogenannten Windstau. An der Nordseeküste kann der Windstau eine Größe von 2–4 m erreichen (EAK 2002).

Für die Bemessung von Küstenschutzbauwerken ist der jeweilige Bemessungswasserstand heranzuziehen, welcher länderspezifisch definiert und anhand verschiedener Bemessungsverfahren festgelegt ist. Je nach Verfahren wird der Bemessungswasserstand dabei auf Basis des auf heute bezogenen höchsten gemessenen (Tide-)Hochwasserstands (Vergleichswertverfahren) oder auf Basis von Einzelwerten zur Berücksichtigung des mittleren Tidehochwassers, der maximalen Springtideerhöhung und des maximalen Windstaus (Einzelwertverfahren) oder mithilfe statistischer Methoden bestimmt. Allen Bemessungsverfahren gemein ist die Berücksichtigung des säkulären Meeresspiegelanstiegs in Form eines Sicherheitszuschlags. Der Seegangseinfluss ist nicht im Bemessungswasserstand enthalten. Die Bemessungswasserstände werden von der zuständigen obersten Deichbehörde festgesetzt und können den Generalplänen Küstenschutz oder gesonderten Bescheiden entnommen werden.

Seegang entsteht durch die Einwirkung von Wind auf die Wasseroberfläche (Abb. 1.2). Man unterscheidet zwischen Windwellen, die infolge des direkten Einflusses eines lokalen Windfeldes entstehen, und Dünungswellen, die sich von ihrem Entstehungsort fortbewegt haben. Die Energie und Richtung der Wasserwellen sind dabei von den erzeugenden Windkräften abhängig. Treffen unterschiedliche Wellenfelder aufeinander, überlagern sich diese. Natürlicher Seegang ist folglich unregelmäßig und kurzkämmig, d. h. ungleichmäßig in seiner Auslenkung und Richtung. Mithilfe von Wellentheorien kann die räumliche und zeitliche Verteilung des Seegangs unter bestimmten Annahmen beschrieben und analysiert werden.

Beim Einlaufen in flacher werdendes Wasser und bei der Wellen-Bauwerks-Interaktion erfahren Wellen Transformationsprozesse. Unter Flachwassereffekten versteht man

- Shoaling: die Änderung der Wellenhöhe infolge Grundberührung beim küstennormalen Einlaufen der Welle
- Refraktion: das Einschwenken der Welle Richtung Küstenlinie beim schrägen Einlaufen der Welle (ebenfalls verbunden mit einer Änderung der Wellenhöhe)
- Wellenbrechen: das Brechen der Welle, wenn die Grenzsteilheit (Wellenhöhe/Wellenlänge) erreicht ist
- Energieverluste durch Sohlreibung und Perkolation (Sickerströmung).

Bauwerksbedingte Wellentransformationsprozesse sind

- Reflexion: Reflexion der Welle an einem Bauwerk
- Diffraktion: Ausbreitung von Wellen in Bereiche ohne direkten Seegangseinfluss (z. B. hinter Bauwerken)
- Transmission: Transmission von Wellen durch teildurchlässige Bauwerke
- Wellenauflauf und Wellendruckschlag.

Für die Bemessung von Küstenbauwerken sind die Eigenschaften des am Untersuchungsort zu erwartenden Seegangs zu berücksichtigen. Seegangsmessungen z. B. mithilfe von Wellenbojen ermöglichen die Aufnahme des natürlichen Seegangs. Anhand der gewonnenen Daten können statistische und/oder spektrale Seegangparameter bestimmt werden. Für die meisten Bemessungsverfahren sind die signifikante Wellenhöhe H_s , definiert als der Mittelwert der 33 % höchsten Wellen der Zeitreihe, und die zugehörige signifikante Wellenperiode T_{Hs} die Eingangparameter. Zur Berücksichtigung wechselnder Wasserstände, Strömungen und Windbedingungen sind langzeitstatistische Auswertungen erforderlich. Weiterhin können Seegangsdaten mit Seegangsvorhersageverfahren unter Hinzunahme von Windparametern (Windgeschwindigkeit, Winddauer und Einwirklänge) für die zu untersuchende Situation (z. B. Extrembelastung) berechnet werden. Der Bemessungsseegang ist unter Berücksichtigung des Seegangs selbst und bauwerksspezifischer Aspekte zu ermitteln. Er ergibt sich als das Seegangereignis, das die ungünstigste Belastung auf das Bauwerk oder die ungünstigste Bauwerkswirkung hervorruft.

1.1.2 Direkte hydraulische Belastungen

Am Seedeich bewirken der Wasserstand und Seegang unterschiedliche hydrostatische und hydrodynamische Belastungen. Anstehendes Wasser übt einen hydrostatischen Druck auf den Seedeich aus und führt zu einer Durchsickerung des Deichkörpers. Durch die Wasserspiegelauslenkung der Wellen kommt ein zusätzlicher Anteil quasihydrostatischen Drucks hinzu sowie hydrodynamische Belastungen in Form von Wellendruckschlägen, Wellenauf-, -ab- und -überlauf.

Wellendruckschläge sind lokale, kurzzeitige Belastungen, die bei Sturzbrechern auftreten. Der resultierende maximale Druck entspricht dem Mehrfachen des quasihydrostatischen Drucks der jeweiligen Welle. Die Anzahl und Höhe der Druckschläge sind dabei u. a. abhängig von der Böschungsneigung (Führböter 1986; Führböter und Sparboom 1988; Witte 1988).

Nach dem Wellenbrechen kommt es zum Wellenauflauf, bei dem die kinetische Energie der Welle in potenzielle Energie umgewandelt wird. An dem Punkt der Richtungsumkehr mit dem gravitationsbedingten Beginn des Wellenablaufs ist die maximale Wellenaufhöhung der jeweiligen Welle erreicht. Ist die Wellenaufhöhung höher als das Bauwerk, kommt es zum Wellenüberlauf. Während des Wellenauf-, -ab- und -überlaufs erfährt die Deichoberfläche eine Strömungsbelastung. Die Wellenaufhöhung, Wellenüberlaufhöhe und die Strömungsgrößen sind vom Bauwerk selbst (Böschungsneigung, Oberflächenrauheit etc.) und den Seegangseigenschaften (Wellenhöhe und -periode, Wellenangriffsrichtung) abhängig. Das EurOtop-Manual (2018) stellt die Ergebnisse diverser physikalischer Modellversuche zum Wellenauf-, -ab- und -überlauf sowie den damit verbundenen Strömungsgrößen zusammen und dient als Handbuch zum Wellenüberlauf an Küstenbauwerken.

Für die Bemessung der Kronenhöhe von Seedeichen werden der Bemessungswasserstand und der Bemessungsseegang berücksichtigt. So wird einem Überströmen infolge erhöhten Wasserstands vor dem Deich entgegengewirkt und gewährleistet, dass nur eine begrenzte Anzahl von Wellen zu Wellenüberlauf führt. Eine absolute Sicherheit gegen Überlauf kann aufgrund der stochastischen Natur des Seegangs nicht gewährleistet werden. Beispielsweise wird in Niedersachsen bei der Bemessung eine Überlauftoleranz von 3 % der Wellen angesetzt (Niemeyer 2001). In Schleswig-Holstein wird die Deichhöhe so bemessen, dass ein mittlerer Wellenüberlauf von 2 l/(sm) nicht überschritten wird (Ministerium für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein 2013). Weitere Empfehlungen zur Begrenzung der mittleren Wellenüberlauffrate sind im EurOtop-Manual (2018) gegeben.

Typische Ursachen eines Seedeichversagens sind Wellenüberlauf, Wellendruckschläge und Durchsickerung (Abb. 1.3). Wasser, das infolge von Wellenüberlauf über den Seedeich fließt, kann zum Auswaschen von Bodenmaterial und Erosionsprozessen auf der landseitigen Böschung bis hin zu Böschungsrutschungen führen. Durch Wellendruckschläge, die beim Auftreffen brechender Wellen auf den Seedeich einwirken, können Erosionsprozesse auf der seeseitigen Böschung initiiert werden. Infiltrierendes oder durchsickerndes Wasser beeinflusst die Materialeigenschaften des Seedeichs und somit die Standsicherheit und Versagensprozesse. Die Schädigung eines Seedeichs infolge dieser Belastungen kann unter anderem durch die Deichgeometrie, Materialeigenschaften und den Deichzustand beeinflusst werden. Detaillierte Informationen zu Seedeichschäden und den Versagensprozessen sind beispielsweise in Schüttrumpf und Oumeraci (2002); Oumeraci et al. (2005) oder dem International Levee Handbook (CIRIA 2013) zu finden. Ein Fehlerbaum mit der Gesamtheit der Versagensmechanismen ist in Kortenhaus (2003) gegeben.

1.2 Aufbau

1.2.1 Klassischer Aufbau

Seedeiche werden standardmäßig als Erdbauwerke errichtet und dienen dem Küstenschutz in Form einer Barriere zwischen Meer und Hinterland. Aufbau, Geometrie und Baustoffe

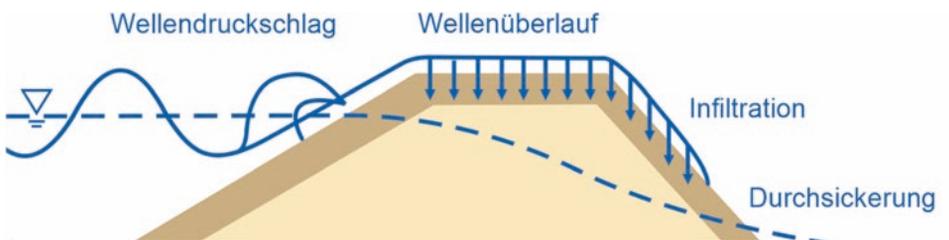


Abb. 1.3 Ursachen des Versagens von Seedeichen (z. B. Oumeraci et al. 2005; Kortenhaus 2003)