

Probabilistische Bemessungsmethoden für Seedeiche (ProDeich)

ANDREAS KORTENHAUS
Leichtweiß-Institut für Wasserbau, TU Braunschweig

Veranlassung und Ziel: Weltweit haben sich in den letzten fünf Jahrzehnten vermehrt Naturkatastrophen ereignet. An den meisten Küsten sind erhöhte Sturmflutwasserstände zu verzeichnen, während andererseits weiterhin die Besiedlung und die wirtschaftliche Nutzung des Küstenraums anwachsen. Damit wird die schon häufig diskutierte Frage noch weiter in den Mittelpunkt rücken, ob sich die Sicherheit von Küstenschutzmaßnahmen quantifizieren lässt und wie sicher „sicher genug“ ist. Probabilistische Methoden bieten die Möglichkeit, diese Fragen zu beantworten. Hauptziel von ProDeich war es daher, ein probabilistisches Bemessungskonzept auf der Grundlage bestehender, zu ergänzender und neu zu entwickelnder Grenzzustandsgleichungen für die maßgebenden Versagensmechanismen und deren Wechselwirkungen vorzuschlagen und das Konzept an Beispieldeichen zu implementieren. Damit kann die Machbarkeit probabilistischer Bemessungsmethoden für Küstenschutzbauwerke aufgezeigt werden.

Methodik: Auf Grundlage von bestehenden Schadensanalysen wurden hierfür alle erforderlichen Versagensmechanismen (25 Mechanismen) einschließlich der dafür notwendigen Eingangsparameter (87 Parameter) und ihrer Unsicherheiten zusammengestellt und bewertet. Die Zusammenhänge zwischen den Mechanismen wurden in einem Fehlerbaum beschrieben.

Hierfür wurden (i) die Grenzzustandsgleichungen für die meisten Versagensmechanismen entweder neu entwickelt, angepasst bzw. verbessert, (ii) eine einheitliche Methodik für die Erfassung der Unsicherheiten für Eingangsparameter und Modelle entwickelt, (iii) die Einflüsse der Unsicherheiten der Modelle und die Eingangsparameter auf die Versagenswahrscheinlichkeiten der jeweiligen Mechanismen ermittelt, (iv) die Versagenswahrscheinlichkeiten aller Mechanismen bestimmt und ihr Einfluss auf das Gesamtversagen erfasst, (v) die Abhängigkeiten der Versagensmechanismen untereinander analysiert und Versagensszenarien entwickelt, die die zeitlichen Abläufe des Versagens beschreiben, (vi) die zeitliche Veränderung der Eingangsparameter und ihr Einfluss auf die Gesamt-Versagenswahrscheinlichkeit des Deiches untersucht, und (vii) die berechnete Gesamt-Versagenswahrscheinlichkeit des Deiches bewertet.

Ergebnisse: Die Analyse hat gezeigt, dass sich die Gesamt-Versagenswahrscheinlichkeit eines Seedeiches mit Hilfe des vorgeschlagenen Bemessungskonzept ermitteln ließ. Bei Berücksichtigung aller 25 Versagensmechanismen wurde eine Versagenswahrscheinlichkeit P_f ermittelt, die bei den untersuchten Beispielen um etwa eine Zehnerpotenz niedriger lag als bei Verwendung vereinfachter Fehlerbäume mit einer deutlich geringeren Anzahl von Versagensmechanismen.

Die wichtigsten Versagensmechanismen stellten bei den heutigen Deichbauweisen und Kronenhöhen die Erosionsprozesse auf der Außenböschung von Seedeichen dar, während andere Mechanismen viel weniger Einfluss auf die Gesamt-Versagenswahrscheinlichkeit des Deiches hatten (z.B. Überströmen des Deiches). Vor allem die Unsicherheiten des Bemessungswasserstandes wiesen einen entscheidenden Einfluss auf die Versagenswahrscheinlichkeiten der einzelnen Mechanismen und auf die Gesamt-Versagenswahrscheinlichkeit auf. Die Unsicherheiten der Modelle waren dagegen nur für rückschreitende Erosion (Piping) und Wellenüberlauf von großer Bedeutung. Hinsichtlich des Einflusses des Typs der verwendeten statistischen Verteilung des Eingangsparameters lieferte i.d.R. die Normalverteilung die größten Versagenswahrscheinlichkeiten.

Verwertbarkeit: die Ergebnisse des Projekts verdeutlichen die Machbarkeit von probabilistischen Bemessungsverfahren für neue und zur Quantifizierung der Sicherheitsreserven bestehender Küstenschutzwerke. Zugleich zeigen sie aber auch, dass z.Z. noch viele Annahmen hinsichtlich der Unsicherheiten und der Grenzzustandsgleichungen notwendig sind. Der entsprechende Forschungsbedarf wird aus den Ergebnissen abgeleitet. Insgesamt liefert das Projekt die Grundlagen für den wesentlichsten und bislang lückenhaftesten Baustein zur Durchführung von Risikoanalysen einer durch Hochwasser bedrohten Küstenregion.