

Life-Cycle Engineering für Küstenbauwerke und Hafeninfrastrukturen

Am 01.07.2010 ist unter dem Dach der Niedersächsischen Technischen Hochschule (NTH) im Verbund zwischen der Leibniz Universität Hannover (LUH) und der Technischen Universität Braunschweig (TUBS) das neue Forschungsprojekt zum „Life-Cycle Engineering - NTH-Bau LCE“ mit einer Laufzeit von 2,5 Jahren und einer Fördersumme von 2,5 Millionen Euro gestartet. Auf der Veranstaltung am 06.09.2010 in Braunschweig eröffnete Frau Professor Dr. Johanna Wanka, Niedersächsische Ministerin für Wissenschaft und Kultur, dieses Vorhaben und betonte, dass dies ein weiterer Erfolg für die NTH sei und die Möglichkeit biete, enormes Fachwissen unterschiedlicher Disziplinen im Bauingenieurwesen zu bündeln, um dieses Zukunftsthema bearbeiten und nachhaltige Lösungskonzepte herbeiführen zu können. Das Projekt ist in sechs Teilprojekte untergliedert, innerhalb derer universitätsübergreifend in 15 Arbeitsgruppen an insgesamt 13 Instituten „*Strategien und Methoden des Life-Cycle-Engineerings für Ingenieurbauwerke und Gebäude*“ erarbeitet werden sollen. Das Forschungszentrum Küste zusammen mit seinen vier Trägerinstituten, dem Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen (LUH), dem Institut für Grundbau und Bodenmechanik (TUBS), dem Institut für Grundbau, Bodenmechanik und Energiewasserbau (LUH) sowie dem Leichtweiß-Institut für Wasserbau (TUBS), befasst sich mit dem Teilprojekt 4 „*Risikobasierte Strategie für Monitoring, Inspektion und Unterhaltung von Küstenschutzwerken als integraler Bestandteil von Life-Cycle Bemessungs- und Optimierungsverfahren*“. Im Folgenden wird das Teilprojekt 4 kurz vorgestellt.

Einleitung

In Anbetracht der steigenden Anforderungen an die Sicherheit des Küstenschutzes infolge der fortwährenden Urbanisierung des Küstenraumes sowie der sich verändernden Einwirkungen durch mögliche Klimaveränderungen ist eine Anpassung bzw. Ergänzung der heutzutage angewendeten Bemessungskonzepte für Küstenschutzwerke und Hafeninfrastrukturen unerlässlich. Es soll daher innerhalb des Teilprojektes 4 eine zuverlässigkeits- und risikobasierte Strategie für das **Monitoring**, die **Inspektion** und die **Unterhaltung (MIU-Strategie)** für Küstenschutzwerke und Hafeninfrastrukturen am Beispiel von Seedeichen und Kajenanlagen entwickelt werden, die dann als langfristiges Ziel einen integralen Bestandteil eines Life-Cycle Bemessungs- und Optimierungskonzeptes bilden wird. Zentrales Ziel des Life-Cycle Engineerings ist dabei die Entwicklung von Prognosemöglichkeiten zur gezielten Abschätzung der Restlebensdauer eines Bauwerks sowie die Erarbeitung von Instandhaltungsstrategien auf Basis der erhobenen und prozessierten Daten aus Monitoring, Inspektion und Unterhaltung, um Investitionen für Reparaturen langfristig planen zu können und die benötigten finanziellen Mittel zum entsprechenden Zeitpunkt zur Verfügung zu haben. Damit soll erreicht werden, dass Bauwerke prinzipiell eine hinreichende Zuverlässigkeit erfüllen und Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit oder der Tragfähigkeit nicht erreicht werden (vgl. Abb. 1).

Projektvorstellung

Die Bearbeitung des Teilprojektes erfolgt universitätsübergreifend innerhalb von drei Arbeitsprogrammen „Seedeiche“, „Kajenanlagen“ und „MIU-Strategie“ (vgl. Abb. 2), wobei alle beteiligten Institute bereits auf einschlägige Erfahrungen sowie umfangreiche Studien und Forschungsvorhaben in den jeweiligen Bereichen, z. B. bezüglich der Versagensformen

von Seedeichen oder dem Lastabtragungsverhalten von Kajenanlagen zurückblicken können.

Aufbauend auf den vorhandenen Erkenntnissen zielen die geplanten Forschungsarbeiten zunächst darauf ab, die noch fehlenden wissenschaftlichen Grundlagen hinsichtlich der Degradations- und Versagensmechanismen für Seedeiche und Kajenanlagen, ihre Wechselwirkungen sowie deren Auswirkungen auf den Gebrauchszustand und die Sicherheit des jeweiligen Bauwerkes zu erarbeiten.

Arbeitsprogramm „Seedeiche“

Im Arbeitsprogramm „Seedeiche“ bildet das Deichversagen den wesentlichen Schwerpunkt. Der Versagensmechanismus der rückschreitenden Erosion („Piping“ – siehe auch Abb. 3) wird am Institut für Grundbau, Bodenmechanik und Energiewasserbau (LUH) seit mehreren Jahren erforscht, wobei sich die aktuellen Untersuchungen mit den kritischen hydraulischen Gradienten in suffusionsinstabilen Böden befassen (z. B. [2], [3]). Des Weiteren sind am Leichtweiß-Institut für Wasserbau (TUBS) systematische Analysen der bisherigen Deichbrüche in Deutschland und den Niederlanden durchgeführt worden, aus denen die wichtigsten Ursachen und Versagensformen identifiziert werden konnten [4]. Die Ergebnisse dieser und weiterer Analysen haben unter anderem gezeigt, dass der Wellenüberlauf die häufigste Ursache darstellt [5], aber auch, dass Deichbrüche infolge Druckschlagbelastung nicht auszuschließen sind [6]. Die größten Defizite bestehen in der genaueren Erfassung der Materialparameter und deren sowohl zeitlicher als auch räumlicher Variabilität sowie in der Modellierung der zeitabhängigen Versagensmechanismen (Erosion der Binnenböschung durch Wellenüberlauf, rückschreitende Erosion, etc.) und deren entsprechender Einbindung in die Fehlerbaumanalyse ([7], [8]).

Es besteht noch erheblicher Forschungsbedarf, was sowohl die genaue Erfassung der Seegangseinwirkungen und Widerstände angeht als auch deren zeitabhängige Auswirkung auf die Versagensformen im gesamten Deichquerschnitt entlang der Deichlinie [7]. Hinsichtlich der Seegangseinwirkungen sind sowohl die Modellierung der Druckschlagbelastungen durch Sturzbrecher auf der Außenböschung erforderlich sowie die Belastungen der Binnenböschung infolge Wellenüberlaufströmung (vgl. Abb. 4). Des Weiteren müssen auf der Widerstandsseite Wissenslücken bezüglich der Heterogenität der Materialparameter, der Erosionsbeständigkeit von Deckschichten und der Schwachstellen in Form von Hohlräumen durch Wühltiere oder Erosionskanäle geschlossen werden.

Daher werden in diesem Arbeitsprogramm zunächst die noch fehlenden Erkenntnisse der Prozessabläufe für die Versagensmechanismen auf Basis der Grundlagenforschung über die Weiterentwicklung der bereits bestehenden Modelle für Druckschlagbelastungen [6] durch Sturzbrecher sowie Wellenüberlaufströmungen [9] erarbeitet. Des Weiteren werden die zeitlichen Abläufe und Wechselwirkungen zwischen den Versagensmechanismen über die Aufstellung von Versagenswahrscheinlichkeiten für die einzelnen Mechanismen und darauf aufbauend über die Entwicklung von Fehlerbaumanalysen berücksichtigt [7]. Bisherige Untersuchungen haben gezeigt, dass die Ergebnisse herkömmlicher Fehlerbaumanalysen stark auf der unsicheren Seite liegen, so dass die Berücksichtigung der Zeitabhängigkeit zwischen bestimmten Versagensmechanismen im Fehlerbaum zu einer Erhöhung der jährlichen Wahrscheinlichkeiten des Top-Ereignisses „Deichbruch“ führt [8].

Arbeitsprogramm „Kajenanlagen“

Für den Bereich „Kajenanlagen“ sind bis zum jetzigen Zeitpunkt noch keine Untersuchungen bezüglich eines Life-Cycle-Engineerings angestellt worden, so dass hier vor dem Hintergrund des sehr komplexen und bis heute nicht vollständig bekannten Lastabtragungsverhaltens noch großer Forschungsbedarf besteht. Besonders bei den heutigen modernen Kajenanlagen wie dem Jade-Weser-Port in Wilhelmshaven oder den Anlagen in den Häfen Hamburg (vgl. Abb. 5) und Bremerhaven entstehen immer größere Anforderungen hinsichtlich der Überwindung großer Geländesprünge infolge der erforderlichen Wassertiefen für den Tiefgang großer Frachtschiffe. Die Einwirkungen aus schiffsinduzierten Wellenbelastungen auf die Trossen sowie Belastungen auf die Kajenanlagen aus An- und Ablegemanövern der Schiffe werden zu untersuchen sein. In der Vergangenheit sind hierzu bereits am Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen (LUH) Studien an der Elbe im Hafen Stade-Bützfleth durchgeführt worden, die mittels in-situ-Messungen die schiffinduzierten Belastungen im Hafen aufzeigen konnten (z. B. [10], [11], [12]).

Auch sind das Gleichgewichtssystem und damit die Boden-Fluid-Bauwerk-Interaktionen bis heute nicht ausreichend geklärt. Das Institut für Grundbau und Bodenmechanik (TUBS) befasst sich bereits seit einigen Jahrzehnten mit Forschungen zum Verhalten von Kajenanlagen (z. B. [13], [14], [15]), jedoch wurden diese Messungen im Sinne der Beobachtungsmethode für die Bauphase vorgenommen und nicht gezielt auf die Entwicklung eines Life-Cycle-Engineerings oder eines Risikomanagements ausgerichtet. Die noch ungenügenden Kenntnisse über das genaue Tragverhalten von Kajenanlagen werden bislang mittels hoher Sicherheitszuschläge kompensiert. Daher ist vor allem im Bereich des Kajenbaus eine Überarbeitung des derzeitigen Bemessungskonzepts unter Einbeziehung von Risikoanalysen unabdingbar.

Das Arbeitsprogramm ist bezüglich der Erarbeitung noch fehlender Erkenntnisse in die Schwerpunkte „Fluid-Bauwerk“ (Teil der Hydrodynamik) und „Boden-Fluid-Bauwerk“ (Teil der Geotechnik) aufgeteilt, wobei zwischen beiden Schwerpunkten eine intensive Abstimmung bei der Entwicklung eines Bemessungskonzeptes für hydrodynamische und geotechnische Belastungsansätze stattfinden wird.

In-situ-Messprogramme sollen in dem Teil der Hydrodynamik eine Bestimmung des Absunks am Schiff, des Schwall, des Absunks und Schwall im Hafenbecken sowie die Bestimmung von Strömungsgeschwindigkeiten in der Hafeneinfahrt und der Wasserstände im Hafen in Abhängigkeit verschiedener Bedingungen für ein entsprechendes Bemessungsschiff ermöglichen. Auf Basis der daraus resultierenden Ergebnisse können für maßgebende Lastfälle die Wellenhöhen sowie entstehende Trossenkräfte bestimmt werden. Im weiteren Verlauf des Projekts werden darauf aufbauend Fehlerbaumanalysen aufgestellt, um Belastungs- und Degradationsmodelle ableiten zu können, die dann wiederum in eine Monitoring-, Inspektions- und Unterhaltungsstrategie (MIU-Strategie) und damit in ein Konzept des Life-Cycle-Engineerings für neue Kajenanlagen eingebunden werden können.

Im Bereich der Geotechnik werden die tatsächlichen Spannungs-Verformungsverhalten von Kajen infolge der Interaktionen „Boden-Fluid-Bauwerk“ unter Berücksichtigung zeitlicher Veränderungen auf Basis bereits gewonnener Erkenntnisse präzisiert. Eine systematische Schwachstellenanalyse bezüglich üblicher Konstruktionsformen in repräsentativen Baugrundsituationen wird durchgeführt, um auf Grundlage dieser Ergebnisse ein

geotechnisches Monitoring-Konzept für Kajenanlagen entwickeln zu können, was zu einem monitoring-basierten Risikomanagement im Hinblick auf geotechnische Risikofaktoren und ebenfalls zur Einbindung in ein Life-Cycle-Engineering führen soll.

Arbeitsprogramm „MIU-Strategie“

Das dritte Arbeitsprogramm bildet das Zentrum des Teilprojekts 4. Hier sollen die sich ergebenden Modelle und Verfahren für einen typischen Nordseedeich mit Sandkern und grüner Grasdecke sowie für eine Kajenanlage nach dem heutigen Stand der Technik in eine **Monitoring-, Inspektions- und Unterhaltungsstrategie** (kurz: **MIU-Strategie**) implementiert werden, so dass im Weiteren die Integration in ein Life-Cycle-Bemessungskonzept erfolgen kann. Es liegen bereits vereinzelt Mess- und Fernerkundungstechniken sowie Techniken für das Monitoring, die Inspektion und Unterhaltung von Küsten- und Hafenanlagen vor (z. B. [16], [17], [18]). Jedoch fehlt bislang eine zusammenhängende Strategie vor allem in Bezug auf die Behandlung des Restrisikos, die sich in ein risikobasiertes Life-Cycle-Bemessungskonzept integrieren lässt.

Die ersten Schritte innerhalb des Arbeitsprogramms werden deshalb sein, die Ziele und Anforderung an eine MIU-Strategie zu erarbeiten und zu präzisieren. Dabei ist geplant, dass die Strategie präventiv und anwendbar sowohl für die Bemessung neuer sowie zur Sicherheitsüberprüfung bestehender Bauwerke sein soll. Generell müssen die Systeme „Deich“ und „Kajenanlage“ definiert werden, das heißt, die Funktionsweisen einzelner Bauwerkskomponenten müssen erkannt und beschrieben sowie die Rolle im Gesamtsystem definiert werden. Die in den Arbeitsprogrammen „Seedeiche“ und „Kajenanlagen“ entwickelten Modelle zur Beschreibung von Degradationsmechanismen werden für dieses Arbeitsprogramm zur Verfügung gestellt und weiterentwickelt, um damit Grundlagen für die Durchführung von Zuverlässigkeits- und Risikoanalysen zu schaffen.

In diesen Zuverlässigkeits- und Risikoanalysen werden die jeweils aktuellen Informationen und Daten aus Monitoring und Inspektion berücksichtigt, so dass über die gesamte Lebensdauer eines Bauwerks mittels entsprechender Methoden ermöglicht werden soll, die Grenz- und Gebrauchszustände zu aktualisieren, um die verbleibenden Sicherheiten abschätzen zu können.

In Zusammenarbeit mit den zuständigen Behörden und Hafenanlagenbetreibern sollen abschließend Methoden entwickelt werden, mit denen übliche Mess-, Beobachtungs- und Fernerkundungstechniken für das Monitoring und die Inspektion von Küstenschutzwerken auf Basis der in diesem Forschungsvorhaben gewonnenen Erkenntnisse und Ergebnisse bewertet werden können.

Ausblick

In der ersten Zeit werden innerhalb der Arbeitsprogramme die noch fehlenden Versagensmechanismen für Deiche und Kajenanlagen analysiert und beschrieben, so dass die entsprechenden Versagenswahrscheinlichkeiten aufgestellt werden können, wobei hier insbesondere die Wechselwirkungen der Versagensmechanismen untereinander durch Fehlerbaumanalysen berücksichtigt werden sollen. Im Arbeitsprogramm der MIU-Strategie werden in erster Linie die bereits bestehenden probabilistischen Monitoring- und Unterhaltungsstrategien aus anderen Fachbereichen, wie z. B. der Kernkraftenergie oder dem Talsperrenbau, analysiert und für Deiche und Kajenanlagen adaptiert, wobei entsprechende Anpassungen zu erfolgen haben.

Die Ergebnisse der ersten Arbeitsschritte werden zu gegebener Zeit an dieser Stelle veröffentlicht.

Im Namen aller am Projekt Beteiligten soll an dieser Stelle bereits ein Dank an das Niedersächsische Ministerium für Wirtschaft und Kultur gerichtet werden für die Ermöglichung dieser Forschungsarbeit durch die finanzielle Unterstützung.

Schrifttum:

- [1] Budelmann (2010): Vortrag auf der Eröffnungsveranstaltung des Forschungsprojektes „Life-Cycle Engineering - NTH-Bau LCE“, 06.09.2010, Braunschweig, unveröffentlicht
- [2] Achmus, M. und Mansour, B. G. S. (2006): „Considerations and Model tests on the Design of River Barrages with Respect to Piping“, 3rd. International Conference on Scour and Erosion (ICSE), Amsterdam, The Netherlands
- [3] Achmus, M. (2006): „Untersuchungen zum Nachweis gegen Erosionsgrundbruch an Stauwerken“, 2. Symposium Sicherung von Dämmen, Deichen und Stauanlagen, Universität Siegen
- [4] Schüttrumpf, H. und Oumeraci, H. (2004): „Learning from sea dike failures“, Bulletin Permanent International Association of Navigation Congresses (PIANC), Volume 117
- [5] D'Eliso, C. (2007): „Breaching of sea dikes initiated by wave overtopping - a tiered and modular modelling approach“, Dissertation, Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Technische Universität Braunschweig, University Florence, Braunschweig, Florence
- [6] Stanczak, G. (2008): Breaching of sea dikes initiated from the seaside by breaking wave impacts“, Dissertation, Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Technische Universität Braunschweig, University Florence, Braunschweig, Florence
- [7] Oumeraci, H. (2005): "Integrated risk-based design and management of coastal flood defences", COMRISK, Keynote Lecture. Die Küste - Archiv für Forschung und Technik an der Nord- und Ostsee, Heft 70, Special Issue: pp. 151-172
- [8] Kortenhaus, A. (2007): "Probabilistische Methoden für Nordseedeiche", Mitteilungen des Leichtweiß-Instituts für Wasserbau der Technischen Universität Braunschweig, Heft Nr. 154
- [9] Tuan, T.Q. und Oumeraci, H. (2008): "Development of numerical breach model of inhomogeneous sea dikes", ASCE, Proc. 31st International Conference Coastal Engineering (ICCE). Hamburg.
- [10] Matheja, A. und Schweter, L. (2006): „Naturmessungen zur Bestimmung der schiffsinduzierten Belastungen im Hafen Stade-Bützfleth“, Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Leibniz Universität Hannover, Bericht Nr. 691
- [11] Matheja, A., Schweter, L und Schlurmann, T (2007): „Bestimmung von Trossenkräften und Schiffsbewegungen an den Liegeplätzen N3, N4 und N5 verursacht durch die Passierfahrt von Post-Panmax-Schiffen im Hafen Stade-Bützfleth, Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Leibniz Universität Hannover, Bericht Nr. 700
- [12] Matheja, A., Schweter, L und Schlurmann, T (2007): „Bestimmung von Trossenkräften und Schiffsbewegungen am Liegeplatz K1 verursacht durch die Passierfahrt von Post-Panmax-Schiffen im Hafen Stade-Bützfleth, Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Leibniz Universität Hannover, Bericht Nr. 701

- [13] Gattermann, 1998: „Interpretation von geotechnischen Messungen an Kaimauern in einem Tidehafen“, Mitteilung des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik der Technischen Universität Braunschweig, Heft Nr. 59
- [14] Stahlhut, 2000: „Belastung einer Kaimauer durch wechselnde Wasserstände infolge Tide“, Mitteilung des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik der Technischen Universität Braunschweig, Heft Nr. 64
- [15] Boley et al., 2004: „Numerische Untersuchungen zum Einfluss der Erddruckabschirmung durch Pfähle bei Kaimauern“, In: „Kaimauern – Messungen und Numerik“, Gemeinsamer Sprechtag der Hafenbautechnischen Gesellschaft und der TU Hamburg-Harburg am 01.06.2004, Veröffentlichungen des Arbeitsbereiches Geotechnik und Baubetrieb der TU Hamburg-Harburg, Heft 7, S. 131-149
- [16] PIANC (2004): „Inspection, maintenance and repair of maritime structures exposed to damage and material degradation in a saltwater environment“, MARCOM – WG 17, Brussels, Belgium
- [17] CIRIA / CUR / CETMEF (2007): „The Rock Manual – The use of rock in hydraulic engineering“, CIRIA / CUR, London, United Kingdom
- [18] Agerschou, H. et al. (2004): „Planning and design of ports and marine terminals“, Thomas Telford, London, United Kingdom

Verfasser:

Dipl.-Ing. Nannina Horstmann, Wissenschaftliche Mitarbeiterin, Forschungszentrum Küste – Gemeinsame Zentrale Einrichtung der LUH und TUBS

Dr.-Ing. Stefan Schimmels, Betriebsleitung, Forschungszentrum Küste – Gemeinsame Zentrale Einrichtung der LUH und TUBS

Prof. Dr.-Ing. Martin Achmus, Institut für Grundbau, Bodenmechanik und Energiewasserbau (LUH)

Prof. Dr.-Ing. Hocine Oumeraci, Leichtweiß-Institut für Wasserbau (TUBS)

Prof. Dr.-Ing. habil. Torsten Schlurmann, Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen (LUH)

Prof. Dr.-Ing. Joachim Stahlmann, Institut für Grundbau und Bodenmechanik (TUBS)

Dipl.-Ing. Ulrike Berndt, Institut für Grundbau und Bodenmechanik (TUBS)

Dipl.-Ing. Kerstin Dänecke, Leichtweiß-Institut für Wasserbau (TUBS)

Dipl.-Ing. Christine Hegemann, Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen (LUH)

Dipl.-Ing. Dominik Schäfer, Institut für Grundbau, Bodenmechanik und Energiewasserbau (LUH)