

Ein risikobasierter Planungsansatz für homogene Flussdeichquerschnitte

von

Dipl.-Ing. Niklas Marc Schwiersch (geb. Drews)

geb. am 02.11.1993 in Braunschweig

zur Erlangung des Grades eines
Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)
an der Fakultät Bauingenieurwesen
der Technischen Universität Dresden
eingereichte Dissertation

Kurzfassung

Die Erfassung des bestehenden Hochwasserrisikos (HWR) und dessen Steuerung durch Maßnahmen des Hochwasserrisikomanagements (HWRM) stehen seit Beginn der 2000er-Jahre gleichsam im Fokus der nationalen als auch internationalen Forschung. Gründe dafür sind u. a. die mitunter verheerenden und zunehmenden Konsequenzen von Hochwasserereignissen (HW) sowie ihre mediale Aufmerksamkeit (z. B. in Verbindung mit HW in Mitteleuropa 2021 oder in Australien, Bangladesch und Südafrika 2022). Aus der Risikodefinition als Produkt von Wahrscheinlichkeit und Konsequenzen eines HW leiten sich zur Steuerung des HWR zwei Handlungsoptionen ab. Diese sind (1) die Beeinflussung der Überflutungs- bzw. der Versagenswahrscheinlichkeit und (2) die Beeinflussung der HW-Konsequenzen. Für beide bedarf das HWRM geeigneter Werkzeuge, um planerisch mit dem bestehenden HWR umzugehen.

Vor diesem Hintergrund entwickelt diese Arbeit am Beispiel homogener Flusssdeichquerschnitte einen risikobasierten Planungsansatz und im Zuge dessen Methoden zur indirekten Bestimmung stochastischer Bodeneigenschaften, zur Identifikation von Steuerungsvariablen in Grenzzuständen und zur ökonomischen Optimierung von Deichquerschnitten.

Dafür erfasst diese Arbeit zunächst einen überregionalen Datensatz zu bodenmechanischen Klassifikationsversuchen. An deren statistischer Auswertung anschließend wird eine Methodik zur indirekten Bestimmung stochastischer Bodeneigenschaften erarbeitet. Die Ergebnisse ihrer Anwendung ermöglichen schließlich die stochastische Modellierung von zuverlässigkeitsrelevanten Bodenkenngößen, welche wiederum die Grundlage für probabilistische Zuverlässigkeitsanalysen in der Geotechnik bilden.

Im nächsten Schritt werden die gewonnenen stochastischen Ergebnisse für probabilistische Zuverlässigkeitsanalysen der Böschungsstabilität verwendet. Auf diese Weise quantifiziert diese Arbeit die Sensitivität der Wahrscheinlichkeit eines landseitigen Böschungsbruchs auf geometrische und materialtechnische Eingangsgrößen. Auf diese Weise können schließlich vier Steuerungsvariablen der Böschungsstabilität identifiziert werden.

Abschließend modelliert diese Arbeit die Zuverlässigkeits- und Risikokosten entlang einer idealisierten Deichlinie. Diese fließen in einen genetischen Algorithmus ein mit dessen Hilfe sich eine ökonomische Optimierung von Deichquerschnitten realisieren lässt. Im Ergebnis resultieren eine Methodik zur risikobasierten Optimierung sowie eine Empfehlung hinsichtlich des ökonomischen Anwendungsbereichs des für die Methodikentwicklung definierten Referenzdeichs.

Mit den entwickelten Methoden und den beispielhaft für homogene Flussdeiche gewonnenen Erkenntnissen leistet diese Arbeit einen Beitrag zur volkswirtschaftlich orientierten Flussdeichkonfiguration. Dafür spannt sie den Bogen von den Verteilungen der Eingangsvariablen (bodenmechanische Mikroebene) über die Zuverlässigkeitsanalysen (geotechnische Mesoebene) bis zur risikobasierten Optimierung (volkswirtschaftliche Makroebene). Damit schafft sie einen methodischen Ansatz zur lokalen, risikobasierten Planung von Flussdeichen als Bestandteil eines ganzheitlichen HWRM.

Abschließend empfiehlt diese Arbeit zum einen die Verbesserung der bodenmechanischen Datengrundlage. Zum anderen werden Potenziale zur methodischen Weiterentwicklung des hier vorgestellten Planungsansatzes aufgezeigt, welche insbesondere die Anwendbarkeit sowohl technischer als auch nicht-technischer Maßnahmen des HWRM betreffen.

Abstract

The assessment of existing flood risk (FR) and its management through flood risk management (FRM) measures have been the focus of national and international research since the early 2000s. Reasons for this include the sometimes devastating and increasing consequences of floods and their media attention (e.g. in connection with floods in Central Europe in 2021 or in Australia, Bangladesh and South Africa in 2022). Based on the definition of risk as a product of flood probability and flood consequences, two options for managing FR can be derived. These are (1) influencing the probability of flooding or failure and (2) influencing the consequences of flooding. For both, FRM requires suitable tools to deal with the existing FR.

Against this background, this thesis develops a risk-based design approach using the example of homogeneous levee cross-sections. Hence, methods are developed for the indirect evaluation of stochastic soil properties, for the identification of control variables in limit states and for the economic optimization of levee cross-sections.

For this purpose, this work first collects a trans regional data set of soil mechanical classification tests. Following their statistical evaluation, a methodology for the indirect determination of stochastic soil properties is developed. Subsequently, the results of their application enable the stochastic modelling of reliability-relevant soil properties, which in turn form the basis for probabilistic reliability analyses in geotechnical engineering.

In the next step, the obtained stochastic results are used for probabilistic reliability analyses of slope stability. Thus, this work elaborates the sensitivity of the probability of a landside slope failure to geometric and material input variables. This way, four control variables of slope stability can be identified.

Finally, this work models the reliability and risk costs along an idealized flood defense line. These are incorporated into a genetic algorithm, which can be used to realize an economic optimization of levee cross-sections. The results are a methodology for risk-based optimization and a recommendation regarding the economic application for the reference levee.

With the methods developed and the findings obtained during application, this work makes a contribution to the economic configuration of river levees. For this purpose, it spans the range from the distributions of the input variables (soil-mechanical micro-level) to the reliability analyses (geotechnical meso-level) to the risk-based optimization (economic macro-level). Thus, it creates a methodological approach for local, risk-based planning of river levees as part of a holistic flood risk management.

Finally on the one hand, this work recommends the improvement of the soil mechanical data basis. On the other hand, potentials are shown for methodological research on the applicability to both technical and non-technical measures of flood risk management.

Keywords: flood risk, flood risk management, flood protection, levees, stochastic soil properties, reliability, failure, probability of failure, genetic algorithm, optimization