



Doctoral Thesis

Hydraulics of spatial dike breaches

Author(s):

Frank, Pierre-Jacques

Publication Date:

2016

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010803310> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH NO. 23938

HYDRAULICS OF SPATIAL DIKE BREACHES

A thesis submitted to attain the degree of
DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH
(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

PIERRE-JACQUES RAUL FRANK

Dipl.-Ing., Karlsruhe Institute of Technology

born on 11.08.1982

citizen of Luxembourg

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Robert M. Boes
Prof. Dr. Sandra Soares-Frazão

2016

Abstract

Dikes and dams are an essential part of modern infrastructure. Dikes along rivers protect the surrounding low lands, infrastructure and the population from floods, while earthen embankment dams impound reservoirs, e.g. for hydropower, irrigation, artificial snowing or flood retention. The large number of these infrastructures, coupled with increasing flood discharges in the last years amplifies the risk of a breach and potentially large damage. Recent dike breaches highlight the need for a better understanding of the dike breach process to quantify the resulting risks, conduct emergency planning and alert the population in case of impending danger. Although recent advances have been made in dike breach research, the hydraulics of dike breaching are still poorly understood.

The present research project investigates the spatial dike breach process due to overtopping for dikes of homogeneous non-cohesive sediment without a surface or core sealing. 80 plane and 35 spatial preliminary dike breach tests were conducted to optimize the test setup and the novel stereo-photogrammetric measurement system, which was applied to capture the 3D dike breach topography in the submerged breach. 45 systematic 3D dike breach tests were then conducted to test the modelling limitations, namely the (1) influence of seepage, (2) test repeatability, (3) symmetry of half-models, (4) Froude scalability, and to test the effect of the parameters (1) discharge, (2) sediment grain size, (3) pilot channel width, (4) dike cross-section, (5) mobile bed, (6) water surface topography, (7) reservoir volume and shape. The dike breach topography and the hydrographs were determined for the tests and combined for the subsequent data analysis. For tests with constant inflow discharge, the main governing parameters were identified as the critical flow depth, the dike shape and the reservoir water surface area, and to a lesser degree the sediment grain size and the dike height. The generalized main governing parameters were identified as the maximum headwater level, the reservoir water surface area, the dike cross-section and the inflow discharge. The final results include dimensionless relations to describe the breach process.

This research project essentially introduced four novelties to spatial dike breach research, namely (1) accurate submerged 3D breach topography mapping, (2) pump regulation to add a simulated volume to the physical reservoir volume, (3) proof of Froude similitude and (4) equation to predict peak breach discharge developed from laboratory model tests.

Kurzfassung

Deiche und Dämme sind ein wichtiger Bestandteil der modernen Infrastruktur. Flussdeiche schützen die Bevölkerung und die Infrastruktur vor Hochwasser, während Erddämme dem Einstau von Reservoirs dienen, u.a. zur Energieerzeugung, zur Bewässerung, zur künstlichen Beschneidung oder als Retentionsfläche. Die grossen Hochwasserabflüsse der letzten Jahre erhöhen das Risiko eines Deichbruchs und somit das Schadenspotential. Jüngste Deichbrüche verdeutlichen den Bedarf nach einem besseren Verständnis des Deichbruchprozesses um Risiken zu quantifizieren, Notfallplanungen zu erstellen und die Bevölkerung im Gefahrenfall zu warnen. Trotz jüngster Fortschritte ist der Wissensstand zum Deichbruchprozess immer noch gering.

Die vorliegende Arbeit untersucht den dreidimensionalen überströmten Deichbruch für homogene Deiche aus nicht-kohäsivem Sediment ohne Dichtungselemente. 80 zwei- (2D) und 35 dreidimensionale (3D) Deichbruchversuche wurden zur Optimierung des Versuchsstandes und des photogrammetrischen Systems, welches zur Ermittlung der 3D Topographie der durchströmten Bresche eingesetzt wird, durchgeführt. Anschliessend wurden 45 systematische Deichbruchversuche durchgeführt zur Prüfung der Modellgrenzen: (1) Einfluss der Durchsickerung, (2) Wiederholbarkeit, (3) Symmetrie des Halbmodells, (4) Froudeähnlichkeit; und zur Bestimmung des Einflusses verschiedener Parameter: (1) Durchfluss, (2) Korngrösse, (3) Initialbreschenbreite, (4) Deichquerschnitt, (5) mobiles Bett, (6) Wasserspiegeloberfläche, (7) Reservoirvolumen und -form. Für die Versuche wurden die Hydrographen und die Breschentopographien ermittelt und für die Datenanalyse zusammengeführt. Für Versuche mit konstantem Zufluss wurden als wesentliche Grössen die kritische Fliesstiefe, die Deichform und die Reservoirwasseroberfläche bestimmt, und zu einem kleineren Anteil die Korngrösse und Deichhöhe. Die verallgemeinerten wesentlichen Grössen bestehen aus dem maximalen Oberwasserstand, der Reservoirwasseroberfläche, dem Deichquerschnitt und dem Zufluss. Die Ergebnisse beinhalten dimensionslose Beziehungen zur Beschreibung des Bruchprozesses.

Vier wesentliche Neuerungen wurden im Rahmen dieses Projektes eingeführt: (1) Messung der durchströmten 3D Breschentopographie, (2) Pumpenregulierung zum Hinzufügen eines simulierten Reservoirvolumens, (3) Nachweis der Froudeähnlichkeit, und (4) Gleichung für den maximalen Breschenausfluss basierend auf Modellversuchen.