



Einbindung von turbulenten Zustandsgrößen der Propulsionsbelastung des Bugstrahlruders in die Bemessung von Schüttsteindeckwerken an Binnenschiffverkehrsstraßen

Bowthruster-Induced Turbulent Structures and Their Involvement in the Design of Armourstones
in Bulk for Inland Waterways

An der
Fakultät Bauingenieurwesen
der Technischen Universität Dresden
zur Erlangung der Würde eines
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
eingereichte und genehmigte

DISSERTATION

von
Dipl.-Ing. Rocco Zimmermann
geboren am 03.10.1986 in Torgau

Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Stamm (Technische Universität Dresden)
Prof. Dr.-Ing. Jochen Aberle (Technische Universität Braunschweig)
Prof. Dr.-Ing. habil. Jochen Fröhlich (Technische Universität Dresden)

eingereicht am: 03. April 2020
verteidigt am: 10. September 2020

Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Bestimmung des erforderlichen Deckwerkssteindurchmessers für eine Böschung an einer deutschen Binnenwasserstraße, welche unter der Belastung des Bugstrahlrudereinsatzes eines böschungsnah fahrenden Schiffes steht. Hierbei wird ausschließlich der Betrachtungsfall einer losen Steinschüttung (bestehend aus den Wasserbausteinen der geläufigen Größen- bzw. Gewichtsklassen) geschildert. Für die Bestimmung der Belastung des beschriebenen Bugstrahlrudereinsatzes wird auf die dreidimensionale hydropnumerische Modellierung (3D-HN-Modellierung) zurückgegriffen. Der wesentliche Fokus innerhalb der 3D-HN-Modellierung liegt auf der Ausarbeitung der vorherrschenden turbulenten Strukturen, welche sowohl dem turbulenten Grundcharakter des Propulsionsstrahls als auch der Strahlumlenkung durch die bestehende Querströmung zugeordnet werden. Diesbezüglich präsentiert die Arbeit geeignete Modellannahmen (z. B. für die Berücksichtigung der Schiffsgeschwindigkeit), Randbedingungen (z. B. für den Propeller des Bugstrahlruders) sowie grundlegende Bedürfnisse an die Diskretisierung des Modellgebietes (z. B. aufgrund der Grenzschicht-Theorie von ebenen Wänden). Als Grundlage für die beschriebene Untersuchungsabsicht wird in einem ersten Schritt ein Überblick zur bestehenden Literatur bzw. zu den bestehenden und angewandten Ansätzen der Deckwerksbemessung infolge der Belastung eines Propulsionsstrahls bereitgestellt. Weiterhin müssen Erfahrungen zur Wirkungsweise einer Querströmung auf die Strahlausbreitung gesammelt und eingebunden werden. Aufgrund der böschungsnahen Fahrt des Schiffes steht dem umgelenkten Propulsionsstrahl ein zusätzlich beengter Ausbreitungsraum zur Verfügung, welcher ebenfalls in die Betrachtungen einfließt.

Auf Grundlage der beschriebenen Rahmenbedingungen wird die Wahl eines geeigneten Modellierungsansatzes innerhalb der 3D-HN-Modellierung vorgestellt. Damit die vorhandenen turbulenten Strukturen hinsichtlich ihrer Wirkungsweise an der Böschung erfasst werden können, bindet die vorliegende Arbeit eine von Söhngen (2014) aufgestellte Auswertemethodik der bemessungsrelevanten, böschungsnahen Belastungsgrößen ein. Hierbei wird verstärkt auf die Rolle des Belastungsbetrags, der Belastungsorientierung sowie der Belastungsdauer eingegangen. Entsprechend der geschilderten komplexen Strömungssituation müssen geeignete Versuchsparmeter definiert werden, welche in der Lage sind, potenzielle Gesetzmäßigkeiten der Strahlausbreitung und der daraus resultierenden Böschungsbelastung aufzuzeigen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit stehen die Einflüsse der Schiffsgeschwindigkeit, der Bugstrahlruderleistung sowie des Böschungsabstandes im Vordergrund, wohingegen weitere Einflussgrößen (wie z. B. die Böschungsneigung) unverändert bleiben.

Im Anschluss an die Generierung der zeitlichen Belastungsverläufe an der Böschung beschreibt die vorliegende Arbeit ein Vorgehen zur Entkopplung der 3D-HN-Modellierung von der Mobilisierung eines Deckwerkssteins. Hierfür dienten Modellsteine aus physikalischen Modellversuchen der Bundesanstalt für Wasserbau als Datengrundlage für die Durchführung einer Computertomographie eines kompletten Modelldeckwerkes. Die daraus gewonnenen Einzelsteingeometrien werden hinsichtlich ihrer Ergebnisqualität interpretiert und abschließend mit den ermittelten Belastungsverläufen der 3D-HN-Modellierung innerhalb einer Festkörperbewegung vereinigt.

Schlagwörter: Bemessung Deckwerk, Schüttsteindeckwerk, Bugstrahlruder, 3D-HN-Modellierung, Detached Eddy Simulation (DES), Turbulente Belastungsstrukturen in Propulsionsstrahlen, Strahlumlenkung, Computertomographie, Einzelsteingeometrie

Abstract

The present thesis addresses the reckoning of the required embankment stone diameter at German federal inland waterways, in order to guarantee a sustainable embankment stability against the bowthruster jet of closely passing by vessels. In doing so, the exclusive case being examined is armourstones in bulk (common classes of coarse particles and mass). From a systematic point of view the three-dimensional hydrodynamic modeling approach is used to determine the incoming strains of the bowthruster jet. Within this approach one of the main emphases is to highlight the prevailing turbulent structures, which can be assigned to the fundamental turbulent character of the jet as well as towards the bending of the jet entering a crossflow. In this regard the thesis presents suitable model assumptions (e.g. the consideration of the vessel movement), boundary conditions (e.g. the turning propeller) and model area requirements (e.g. due to the boundary layer theory at walls). As a basis for the described research intention an overview of the existing literature on bowthruster jets as well as the currently used design approach for armourstones in bulk is given. Furthermore, knowledge of the jet bending mechanism due to a crossflow has to be provided and included. Additionally, the role of the limited space between the vessel and the embankment has to be pointed out, as it forces the jet propagation to modify greatly.

In consequence of the mentioned framework conditions, a suitable modeling approach which is able to comprehend the broad manifestations of turbulence is chosen. In order to achieve knowledge about the strain mechanism of the bended bowthruster jet on the embankment, the present thesis includes an evaluation algorithm given by Söhngen (2014). Within the evaluation algorithm the importance of the strain magnitude, the strain orientation as well as the strain duration is emphasized. In accordance with the outlined complex flow situation appropriate research parameters have to be defined, which enable the detection of potential regularities within the bended jet propagation as well as within the resulting strains on the embankment. Therefore, the present thesis primarily deals with the speed of the vessel, the installed capacity of the bowthruster and the embankment distance of the vessel, whereas additional influence quantities (e.g. the slope angle of the embankment) remain constant.

Following the generating process of the embankment strains, an approach which detaches the three-dimensional hydrodynamic modeling of the strains from the mobilization of an individual armourstone is introduced. The required model stones originated from experimental modeling approaches of the Federal Waterways Engineering and Research Institute and were processed in order to conduct a computer tomography of a complete embankment model. Subsequent to the computer tomography the isolated stone geometries were processed, leading towards a reunification with the embankment strains within a rigid body simulation approach.

Keywords: Embankment Design, Armourstones in Bulk, Bowthruster, Three-Dimensional Hydrodynamic Modeling, Detached Eddy Simulation (DES), Turbulent Structures in Jets, Jet Bending in Crossflows, Computer Tomography, Geometry of Armourstones