

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Schüttrumpf, Holger

Smart Hydraulic Structures - Wohin führt uns der Weg?

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/107044>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Schüttrumpf, Holger (2020): Smart Hydraulic Structures - Wohin führt uns der Weg?. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Interdisziplinärer Wasserbau im digitalen Wandel. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 63. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 3-10.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Smart Hydraulic Structures - Wohin führt uns der Weg?

Holger Schüttrumpf

Die Digitalisierung hat alle Bereiche unseres täglichen Lebens, Arbeitens und Wohnens erfasst. Wasserbauwerke werden zwar auch mit Sensoren und Messtechnik ausgestattet, doch gibt es hier noch gewaltige Potentiale, die bislang noch nicht genutzt werden. Ziel ist es, das Monitoring von Wasserbauwerken sowohl unter Normalbedingungen als auch unter extremen Belastungssituationen zu verbessern, um damit Kosten zu reduzieren, Schäden zu vermeiden, die Lebensdauer von Wasserbauwerken zu erhöhen und die Widerstandsfähigkeit im Extremfall zu verbessern.

Stichworte: Digitalisierung; Smart Civil Structures, Sensorik, Wasserwirtschaft 4.0

1 Einleitung

Ein sensorbasiertes Monitoring von Prozessen und Zuständen ist in vielen Bereichen unseres Lebens eine Normalität. In jedem Auto sind viele Sensoren implementiert, die z.B. Fahrgeschwindigkeit, Drehzahl, Ölstand, Luftdruck und viele andere Parameter kontinuierlich erfassen und bei Bedarf sogar aufzeichnen. Moderne Kaffeemaschinen erkennen den Füllstand im Kaffeebohnenbehälter und im Wasserbehälter. Kühlschränke erkennen Temperaturen und Inhalt. Smartwatches und Fitnesstracker zeichnen unseren Puls, unsere Aktivitäten und sogar unsere Position auf und werten die gewonnenen Daten statistisch aus. Die Kosten für diese Geräte liegen zwischen rd. 100 Euro (Kaffeemaschine), 200 Euro (Fitnesstracker), 500 Euro (Kühlschrank) und 30.000 Euro (Mittelklassewagen). Das Risiko im Falle eines Versagens oder Ausfalls der beobachteten Prozesse ist in vielen der erwähnten Bereiche gering (kein Kaffee, zu warmer Kühlschrank, keine Weiterfahrt mehr möglich).

Anders sieht dies bei Ingenieurbauwerken wie Staudämmen, Brücken, Straßen, Türmen, Tunneln und anderen Hoch- und Tiefbauwerken aus. Ein Versagen des Bauwerks kann u.U. viele Menschenleben gefährden und zu einem erheblichen ökonomischen Schaden führen. Beispielsweise werden durch die Deiche am Niederrhein rd. 1,5 Mio. Menschen und 150 Mrd. Euro an ökonomischen Werten geschützt.

Interessanterweise finden sich in den erwähnten Ingenieurbauwerken keine oder nur wenige Sensoren, um die Funktionalität, Gebrauchstauglichkeit und Standsicherheit von Bauteilen oder des gesamten Bauwerks zu beobachten und frühzeitig Informationen bzgl. einer Gefährdung oder Veränderung im System an den Betreiber zu schicken.

Die zentrale Frage ist somit, wieso nutzen wir Sensoren im täglichen Leben und setzen nur wenige Sensoren zur Überwachung sicherheitsrelevanter Bauwerke ein. Zu unterscheiden sind in diesem Zusammenhang Sensoren, die die Stabilität eines Bauwerks überwachen, und Sensoren, die dessen Funktionalität überwachen.

Insbesondere stellt sich diese Frage auch im Wasserbau, wenn es das Monitoring von Wasserbauwerken (Deiche, Dämme, Hochwasserschutzmauern, Wehre, etc.) betrifft. Insbesondere die Hochwasserschutzbauwerke sollen extremen Belastungen standhalten und entsprechend widerstandsfähig sein.

Der folgende Kurzbeitrag wird sich mit dieser Frage beschäftigen und die Vor- und Nachteile smarter Wasserbauwerke diskutieren. Erfahrungen aus dem BMBF-Projekt „Earlydike“ werden genutzt, um die Möglichkeiten und Potentiale von Sensoren am Beispiel von Deichen zu diskutieren.

Das Projekt Earlydike erweiterte hierbei Erkenntnisse des BMBF-Projekts “Sensorbasierte Geotextilien” (FKZ: 02WH0570 bis 02WH0574) und des EU UrbanFlood-Projekts, die optische Sensoren nutzen.

2 Das BMBF-Projekt Earlydike

2.1 Einleitung

Ziel des BMBF-Projekts Earlydike war die Verbesserung von Frühwarnsystemen im Hochwasserfall durch Sensoren in Deichen. Herkömmliche Frühwarnsysteme basieren auf der Beobachtung von Wasserständen unter Berücksichtigung numerischer Modellverfahren für die Wasserstandsprog-

nose. Hiermit können Wasserstände mit hoher Genauigkeit aufgezeichnet und vorausberechnet werden.

In verfügbaren Frühwarnsystemen and Hochwasserschutzdeichen wird das Bauwerk Deich selber nicht mitberücksichtigt. Dies bedeutet, dass dem Hochwasserschutzverantwortlichen während des Hochwasserfalls keine Informationen über den Zustand des Deiches selber vorliegen. Er hat keine Informationen über Sickerlinien, Wassergehalte, Festigkeitsänderungen, Verformungen oder sonstige Veränderungen im Deichkörper selber.

Üblicherweise wird diesem Manko durch Deichläufer begegnet, die im Hochwasserfall am Deich entlangfahren, um den Zustand des Deiches zu überwachen und ggf. Veränderungen zu identifizieren. Die Funktion des Deichläufers kann hier auch durch Drohnen, Hubschrauber oder Flugzeuge übernommen werden. Problematisch bei dieser Art des Deichmonitorings im Hochwasserfall sind folgende Aspekte:

- ◁ Es kann nur die Dechoberfläche beobachtet werden, d.h. Veränderungen im Deichkörper können u.U. nicht erkannt werden.
- ◁ Veränderungen im und am Deichkörper müssen vom Beobachter identifiziert werden können, d.h. insbesondere kleine Veränderungen bleiben dem menschlichen Auge u.U. verborgen.
- ◁ Die Identifikation von Veränderungen ist von der Erfahrung des Deichläufers abhängig.
- ◁ Der Deichläufer kann nicht an jeder Stelle zu jeder Zeit sein, d.h. es entstehen zeitliche und räumliche Lücken in der Beobachtung.
- ◁ Die Wirkung von Deichstabilisierungsmaßnahmen kann nur optisch beurteilt werden.

Hier bieten sich verschiedene Sensorsysteme in Ergänzung zum traditionellen Deichläufer an, um insbesondere die Nachteile des traditionellen Deichläufers mit den Vorteilen eines innovativen Deichmonitorings zu kombinieren:

- ◁ Informationen zu Veränderungen von Prozessen im Deich (z.B. Wasserstand, Verformung)
- ◁ Kleine Veränderungen können u.U. erkannt werden, damit können Gegenmaßnahmen geplant und realisiert werden.
- ◁ Der Deich kann zeitgleich über seine ganze Länge beobachtet werden und es treten lediglich zeitliche und räumliche Lücken auf, die von der Auflösung der Sensorsysteme abhängen.

- ◁ Deichverteidigungsmaßnahmen können zielgerichtet und passgenau geplant und realisiert werden.

Sensorsysteme in Deichen befinden sich derzeit noch in den Anfängen und es existieren derzeit noch keine Systeme, die in großem Umfang in der Praxis umgesetzt werden könnten. Dennoch befinden sich diese Systeme in Entwicklung und es ist mit einer zunehmenden Digitalisierung von Hochwasserschutzdeichen in Zukunft zu rechnen. Gründe, die derzeit gegen entsprechende Systeme sprechen, ergeben sich aus den Nachteilen von Sensorsystemen:

- ◁ Die Systeme befinden sich noch in der Entwicklung. Bislang existieren nur experimentelle Anwendungen im Labormaßstab.
- ◁ Es fehlt der Nachweis der Praxistauglichkeit im Hochwasserfall. Aufgrund der Seltenheit extremer Hochwasserereignisse ist der Nachweis der Praxistauglichkeit für extreme Hochwasserereignisse nur schwierig zu führen.
- ◁ Die Systeme sind noch nicht ausreichend robust und der Nachweis der Langlebigkeit inkl. der dauerhaften Funktionsfähigkeit ist noch zu führen.
- ◁ Insbesondere aus der geforderten Langlebigkeit der Systeme ergibt sich die Frage, ob Daten auch bei sich verändernden IT-Systemen in Zukunft noch verarbeitet und genutzt werden können.
- ◁ Hochwasserschutz basiert auf bewährten und etablierten Verfahren.
- ◁ Datenschutzprobleme werden häufig erwähnt, wenn es um die Realisierung dieser Systeme geht.

Im Rahmen des BMBF-Earlydike Projekts war es das Ziel, ein Frühwarnsystem auf der Grundlage eines innovativen Deichmonitorings zu entwickeln.

2.2 Das Earlydike-Frühwarnsystem

Ziel des BMBF-Projekts Earlydike war der „Aufbau eines Sensor- und risikobasierten Frühwarnsystems für Hochwasserschutzanlagen am Beispiel von Seedeichen unter Berücksichtigung aller relevanten Prozesse“ (Krebs et al., 2017; Schüttrumpf et al., 2017). Abb. 1 zeigt einen Überblick des Systems, inkl. der verschiedenen Komponenten sowie Projektpartner der Universitäten Aachen, Hamburg, Siegen und der Bundesanstalt für Wasserbau in Hamburg.

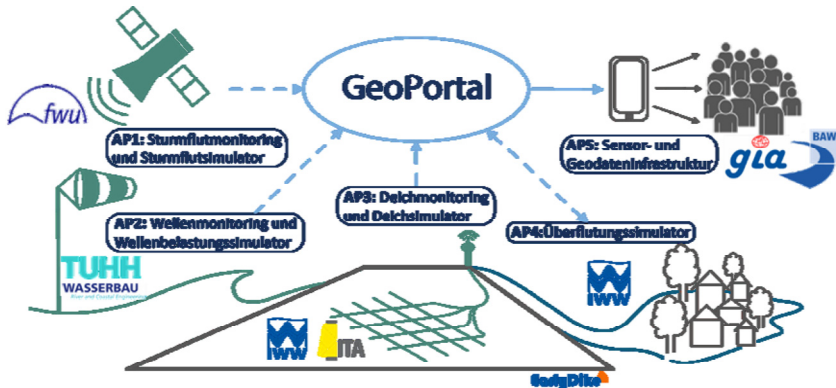


Abbildung 1: Aufbau des Earlydike-Frühwarnsystems (Schüttertrumpf et al, 2017)

Grundlage jedes Frühwarnsystems ist die Beobachtung von Wasserständen. Hierzu wurde vom Institut für Wasserbau der Universität Siegen ein Sturmflutsimulator entwickelt (AP1) (Niehüser et al., 2018), der beobachtete Wasserstände an Pegelstandorten unter Berücksichtigung numerischer Modellverfahren für jeden Punkt entlang der Küste berechnet und interpoliert und um eine Prognose der zu erwartenden Wasserstandsentwicklung ergänzt.

Dieser sogenannte Sturmflutsimulator wurde vom Institut für Wasserbau der TU Hamburg um einen Wellenbelastungssimulator (AP2) zur Erfassung der dynamischen Belastung von Deichen ergänzt und erweitert (Dreier und Fröhle, 2018). Ziel war es, entlang der Küste auch die vollständigen Informationen zur Seegangsbelastung der Deiche im Sturmflutfall zu ermitteln.

Den Kern des Projekts stellte das Arbeitspaket 3 dar, d.h. das Deichmonitoring und der Deichsimulator. In Zusammenarbeit zwischen dem Institut für Textiltechnik der RWTH Aachen und dem Institut für Wasserbau der RWTH Aachen wurde hier ein geotextilbasiertes Sensorsystem auf der Grundlage von Carbonrovings entwickelt (Quadflieg et al., 2015, Schwab, 2018) und in verschiedenen Modellen in unterschiedlichen Maßstäben erfolgreich getestet (Krebs et al., 2017).

Ergänzt wurde das Deichmonitoring um einen Überflutungssimulator auf der Grundlage von Promaides, um auch die Auswirkungen und damit die Konsequenzen eines Deichversagens bereits im Frühwarnsystem zu berücksichtigen (AP4).

Die Daten des Sturmflutsimulators, des Wellenbelastungssimulators, des Deichsimulators und des Überflutungssimulators werden georeferenziert in Echtzeit an ein Geoportal (AP5) übergeben, das in Zusammenarbeit vom Lehrstuhl für Bauinformatik und Geoinformationssysteme sowie der Bundesanstalt für Wasserbau in Hamburg entwickelt wurde (Becker et al., 2018). Dieses Geoportal beinhaltet eine Sensorebene, eine Integrations-ebene sowie eine Präsentationsebene, um insbesondere über letztere den Deichverantwortlichen eine Möglichkeit zur visuellen Erfassung des Deichzustands inkl. der Deichbelastung entlang der Küste zu geben. Genauere Informationen können dann für einzelne Punkte über das System abgerufen werden.



Abbildung 2: Modelldeich: links: Carbonrovings auf Geotextil vor Einbau einer Deckschicht; rechts: Modelldeich mit Deckschicht bei Überströmung

3 Zukunft der Digitalisierung im Wasserbau

Die Digitalisierung bietet auch für den Wasserbau eine Vielzahl von Möglichkeiten. Viele Entwicklungen in Hinblick auf eine Digitalisierung bzw. ein Wasserbau 4.0 haben hier bereits angefangen. Beispiele hierfür sind auch die Entwicklungen im Bereich Building Information Modelling (BIM). Eine wichtige Rolle im Rahmen des Wasserbau 4.0-Ansatzes spielen die Modellierung und die Simulation komplexer und nicht-linearer Prozesse, woraus sich eine Vielzahl von Frühwarn-, Überwachungs-, Steuerungs- und Optimierungssystemen ergeben. Die resultierenden Ergebnisse können visualisiert und somit zur schnellen und direkten digitalen Kommunikation an Stakeholder, die interessierte bzw. betroffene Öffentlichkeit und sonstige Nutzer der Daten verwendet werden. Hieraus ergeben sich zahlreiche Potentiale für den Wasserbau und die Wasserwirtschaft, die derzeit noch wenig genutzt werden und von den verschiedenen Akteuren im Wasserbau eine stärkere Digitalisierung erfordern.

4 Literatur

- Becker, R.; Herle, S.; Blankenbach, J. (2018): Interoperable Sensor- und Dateninfrastruktur für das Echtzeitmonitoring von Wasserbauwerken. – In: D3 - Deckwerke, Deiche und Dämme: 48. Internationales Wasserbau-Symposium Aachen 2018; 18. und 19. Januar 2018.
- Dreier, N.; Fröhle, P. (2018): Now- and Forecast of Waves and Wave Run-up on Coastal Dikes as Part of an Operational Early Warning System for the German North Sea Coast. Proc. of 9th Chinese-German Joint Symposium on Hydraulic and Ocean Engineering, Tainan, Taiwan R.O.C., November 11-17, 2018.
- Krebs V, Herle S, Schwab M, Quadflieg T, Gries T, Blankenbach J, Schüttrumpf H (2017) Implementation of sensor-based dike monitoring by smart geotextiles. SCACR2017, International Short Course on Applied Coastal Research in Santander, Spanien vom 03.10. – 06.10.2017
- Krebs, V.; Quadflieg, T.; Grimm, C.; Schwab, M.; Schüttrumpf, H.: Development of sensor-based dike monitoring system for coastal dikes. - In: Proceedings of the 35th Conference on Coastal Engineering, Antalya, Turkey, November 17 to November 20, 2016 / Ed. by P. Lynett; New York, N.Y.: ICCE, 2017; S./Art.: 1-14; ISBN 978-0-9896611-3-3 <https://journals.tdl.org/icce/index.php/icce/article/view/8271/pdf>

- Niehüser, S., Arns, A., Dangendorf, S., Jensen, J. (2018): A high resolution storm surge forecast for the German Bight, In: Proceedings of the 9th Chinese-German Joint Symposium on Hydraulic and Ocean Engineering (CG JOINT 2018) in Tainan, Taiwan, November 11 to November 17, 2018.
- Quadflieg, T. ; Schwab, M. ; Gries, T. ; Schüttrumpf, H. ; Jensen, J. ; Fröhle, P. ; Lehfeldt, R. ; Blankenbach, J. (2015): Intelligente Vliesstoffe für den Hochwasserschutz. – In: Melliand-Textilberichte 58(5), S./Art 303-304
- Schüttrumpf, H.; Krebs, V.; Gries, T.; Schwab, M.; Quadflieg, T.: Innovative Frühwarnsysteme zur Überwachung von Deichen. - In: Wasser und Abfall, Vol. 19 (2017), Issue 9, S./Art.: 44-46; Wiesbaden: Vieweg; ISSN 1436-9095
- Schwab, M.: Carbon fiber technology for structural health monitoring of sea dike structures. - In: AZL Aachen GmbH (Hrsg.): NewsLight #12 / ITA. - Aachen: AZL GmbH, 2018, <https://azl-aachen-gmbh.de/de/newslight-12-ita/> (Internetveröffentlichung)

Autor:

Prof. Dr.-Ing. Holger Schüttrumpf

Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft
RWTH Aachen University
Mies-van-der-Rohe-Str. 17
52074 Aachen

Tel.: +49 241 80 25262

Fax: +49 241 80 25750

E-Mail: schuettrumpf@iww.rwth-aachen.de