

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Koelewijn, André; Förster, Ulrich

Ausschluss von mit Piping verbundenen Risiken mit Hilfe wasserstandsunabhängiger Maßnahmen

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/20.500.11970/103314>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Koelewijn, André; Förster, Ulrich (2016): Ausschluss von mit Piping verbundenen Risiken mit Hilfe wasserstandsunabhängiger Maßnahmen. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Gewässerentwicklung & Hochwasserrisikomanagement - Synergien, Konflikte und Lösungen aus EU-WRRL und EU-HWRM-RL. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 57. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 89-96.

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.



Ausschluss von mit Piping verbundenen Risiken mit Hilfe wasserstandsunabhängiger Maßnahmen

André Koelewijn
Ulrich Förster

Piping ist ein geotechnischer Versagensmechanismus, für den in den Niederlanden, als Folge der angepassten Berechnungsmethoden zur Beurteilung der Standsicherheit, der höheren hydraulischen Lastannahmen und der höheren geforderten Sicherheiten, auf vielen Deichabschnitten Ertüchtigungsmaßnahmen notwendig sind. Neben den traditionellen Ertüchtigungsmaßnahmen und Drainagetechniken werden in diesem Beitrag zwei Maßnahmen beschrieben, die die Entwicklung eines durchgehenden Erosionskanals als Folge rückschreitender Erosion auch bei einer signifikanten Zunahme des Wasserstandes ausschließen. Hiermit kann in (semi)probabilistischen Stabilitätsanalysen der für die Versagenswahrscheinlichkeit bei Piping reservierte Bereich für andere Versagensmechanismen genutzt werden.

Stichworte: Piping, rückschreitende Erosion, Sickerweglänge, Deichstandsicherheit, Präventionsmaßnahmen, Grobsandbarriere

1 Einleitung

Die Hochwasserrisikoproblematik beruht zu einem großen Teil auf zu schwach dimensionierten Hochwasserschutzbauwerken. Dies ist unter anderem auf eine zu geringe Deichkronenhöhe zurückzuführen, aber auch auf geotechnische Versagensmechanismen, wie Makro-Instabilität und rückschreitende innere Erosion (Piping). Der letztgenannte Mechanismus verursacht in den Niederlanden bei etwa einem Drittel aller Deiche des sogenannten primären Hochwasserschutzsystems Probleme. Diese Probleme haben sich in jüngster Zeit als Folge strenger Bewertungs- und Bemessungsvorschriften und höherer Sicherheitsniveaus noch vergrößert.

Die gängigen Maßnahmen gegen Piping, wie zum Beispiel breite landseitige Bermen bei Deichen oder ein vertikaler Schirm, stoßen bei Anwohnern und Landschaftshistorikern auf zunehmenden Widerstand. Darüber hinaus werden diese Maßnahmen immer kostspieliger. Aus diesen Gründen wurde in den letzten Jahren in den Niederlanden verstärkt nach alternativen Maßnahmen Ausschau gehalten, deren Wirkungsweise, nämlich den Erosionsprozess zum Still-

stand zu bringen, praktisch unabhängig ist vom eintretenden Wasserstand und der vorhandenen Sickerweglänge. Damit kann auch in (semi)probabilistischen Analysen der für die Versagenswahrscheinlichkeit bei Piping reservierte Bereich (ein Viertel der Gesamtversagenswahrscheinlichkeit) für andere Versagensmechanismen genutzt werden.

2 Ursachen und Umfang des Pipingproblems

2.1 Beschreibung des Mechanismus

Piping, das ist innere rückschreitende Erosion unterhalb eines Deiches entlang der Oberkante einer Sandschicht, wurde zum ersten Mal von *Bligh* (1910) genau beschrieben. Die Erhöhung der Druckhöhendifferenz über den Deichquerschnitt hat zur Folge dass die Grundwasserströmung in der wasserführenden Sandschicht zunimmt. Bei Überschreitung der zur Erosion benötigten Strömungsgeschwindigkeit beginnt an der unterstromigen Seite des Sickerweges ein rückschreitender Erosionsprozess. Die Formel von *Sellmeijer* (1988) hat auch in das Deutsche Merkblatt für Deiche an Fließgewässern (*DWA*, 2011) und das BAW-Merkblatt Materialtransport im Boden (MMB) (*BAW*, 2013) Eingang gefunden.

2.2 Anpassungen der Berechnungsmethoden für Piping

Auf der Basis zahlreicher maßstäblicher Experimente in den Niederlanden erfolgte eine Anpassung der Formel von *Sellmeijer* (*Förster et al.*, 2013). Für Mittelsand ergab die Originalfassung eine Überschätzung der kritischen Druckhöhendifferenz. Deshalb wirkt sich die neue Berechnungsformel von *Sellmeijer* bei vielen Deichen außerhalb des Küstengebietes ungünstiger aus. In den Niederlanden wird in Zukunft diese Formel für die Beurteilung der gegenwärtigen Deichstandsicherheit und bei der Bemessung von Deichertüchtigungsmaßnahmen angewendet.

Aufgrund von *Förster et al.* (2013) wird in den Niederlanden darüber hinaus die Formel von *Bligh* (1916) nicht mehr bei der Standsicherheitsbeurteilung verwendet, da diese bei zunehmender Größe des Deichquerschnitts und bei höheren Sicherheitsanforderungen unzuverlässige Resultate liefert.

2.3 Höhere hydraulische Belastungen und höhere Sicherheit

Neben den Änderungen in den Berechnungsmethoden spielen auch als Folge des Klimawandels erhöhte anzusetzende hydraulische Belastungen eine Rolle und gelten ab 2017 erhöhte Sicherheitsanforderungen für das niederländische primäre Hochwasserschutzsystem.

Die heutigen niederländischen Sicherheitsanforderungen stammen noch aus dem Jahre 1960. Aufgrund einer neuen, ausführlichen Analyse, wobei sowohl eine sozioökonomische Kosten-Nutzen-Analyse als auch das individuelle Mortalitätsrisiko und das Gruppenrisiko einbezogen werden, wird für die meisten Deichabschnitten eine höhere Sicherheit gefordert. Es gibt aber auch Abschnitte, für die in Zukunft eine niedrigere Sicherheit gefordert wird. In diese sozioökonomische Kosten-Nutzen-Analyse sind auch die immateriellen Schäden einbezogen mit €7 Million pro Todesopfer, €100 000 pro verletzter und €2500 pro evakuierter Person (Kind, 2013). Aufgrund eines parlamentarischen Beschlusses wurde das akzeptierte individuelle Mortalitätsrisiko von 10^{-4} pro Jahr auf 10^{-5} pro Jahr erhöht (van der Most et al., 2014). Das Gruppenrisiko kann mit berücksichtigt werden. Es ist jedoch nur für sieben Abschnitte in der Umgebung von Rotterdam maßgebend (de Bruijn, 2014).

2.4 Effekte bezüglich des Pipingproblems in den Niederlanden

Bei der letzten Deichstandsicherheitsprüfung in den Niederlanden wurden etwa 730 km Deich als unzureichend standsicher beurteilt. Ab 2017 werden dann etwa 1900 km hiervon betroffen sein. Dies betrifft fast alle Deiche mit Ausnahme der meisten Küstendeiche (Abbildung 1).

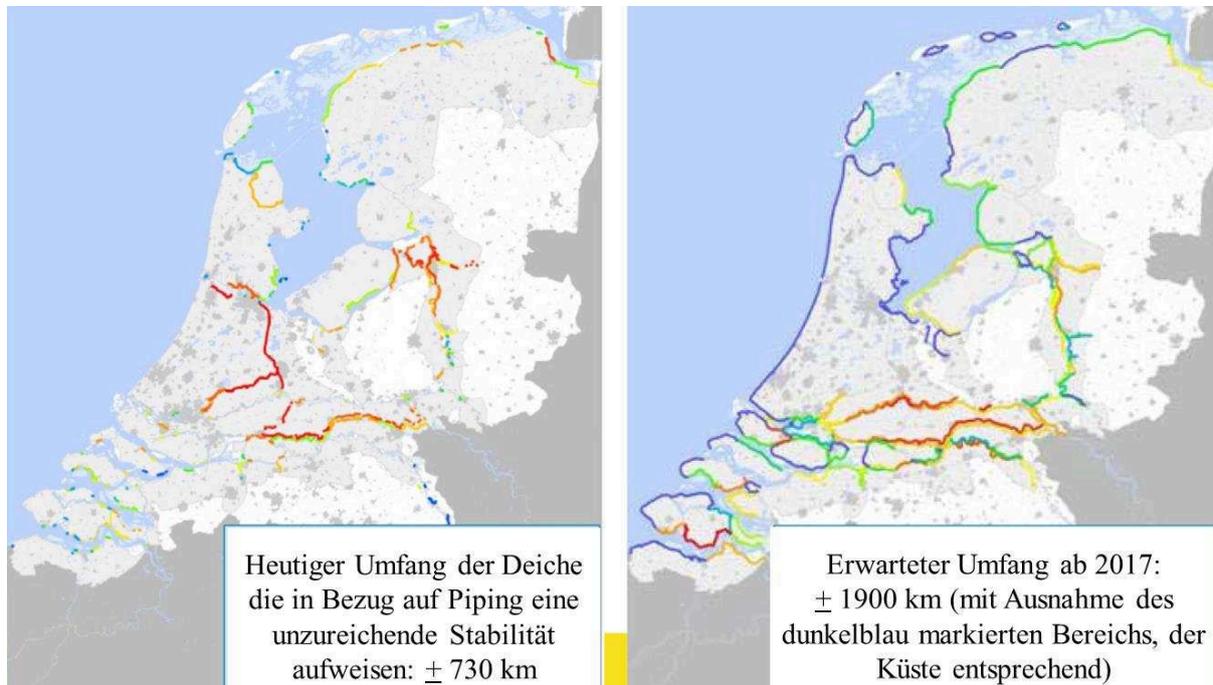


Abbildung 1: Heutiger und erwarteter Umfang des Pipingproblems in den Niederlanden (Heerema, 2015)

2.5 Möglichkeiten zur Reduzierung des Problem

Es gibt verschiedene Möglichkeiten das Pipingproblem zu reduzieren. Zu allererst wäre es möglich, bei der Sicherheitsprüfung lokal mehr ins Detail zu gehen: Durch eine günstigere Einbeziehung des Deichvorlands, der Grundwasserspeicherung im Deichkörper, der Sickerströmung durch die Deckschicht, einer günstigeren Durchlässigkeit des Grundwasserleiters und durch Berücksichtigung der positiven Einflüsse von Heterogenität und Zeitabhängigkeit (Koelewijn & Förster, 2015) kann das Problem deutlich verringert werden. Diese Elemente sind auch Grund dafür, dass in der Praxis meist weniger Probleme gefunden werden als rechnerisch erwartet wird. Darüber hinaus sollten natürlich auch konstruktive Maßnahmen genommen werden.

3 Maßnahmen

3.1 Traditionelle Maßnahmen

Traditionelle Ertüchtigungsmaßnahmen gegen Piping umfassen die horizontale Verlängerung des Sickerwegs mit einer landseitigen oder wasserseitigen Berme und die vertikale Verlängerung mit einem Schirm, zum Beispiel eine Spundwand aus Stahl oder eine Schlitzwand aus Zement-Bentonit. Wenn es aber um größere zu erwartende Druckhöhendifferenzen geht (rund ein Meter oder mehr – was ab 2017 häufig der Fall sein wird), werden solche Ertüchtigungsmaßnahmen kostspielig und sollten alternative Maßnahmen berücksichtigt werden. Auch würde der Einsatz von mehr als fünfzig Meter breiten Bermen die Landschaft weitgehend verändern.

3.2 Drainage

Eine Drainage ist eine Maßnahme zur Grundwasserdruckentlastung, die auf mehrere Punkte im Querschnitt angewendet werden kann. Wenn es keine Bebauung gibt, kann man diese Maßnahme einfach an der unterstromigen Seite des Sickerwegs einbauen, wie in Abbildung 2 dargestellt.



Abbildung 2: Kiesdrainage am Rhein bei Spijk (NL)

In anderen Fällen ist es notwendig, den Druck schon unterhalb des Deiches abzusenken. Hier können horizontale oder vertikale Drainagerohre mit oder ohne Pumpen eingesetzt werden. Abbildung 3 zeigt ein Beispiel aus den Niederlanden, bei dem eine vertikale Drainage angewendet ist. Eine vertikale Drainage ist einfacher anzubringen als eine horizontale, aber letztere ist effektiver.

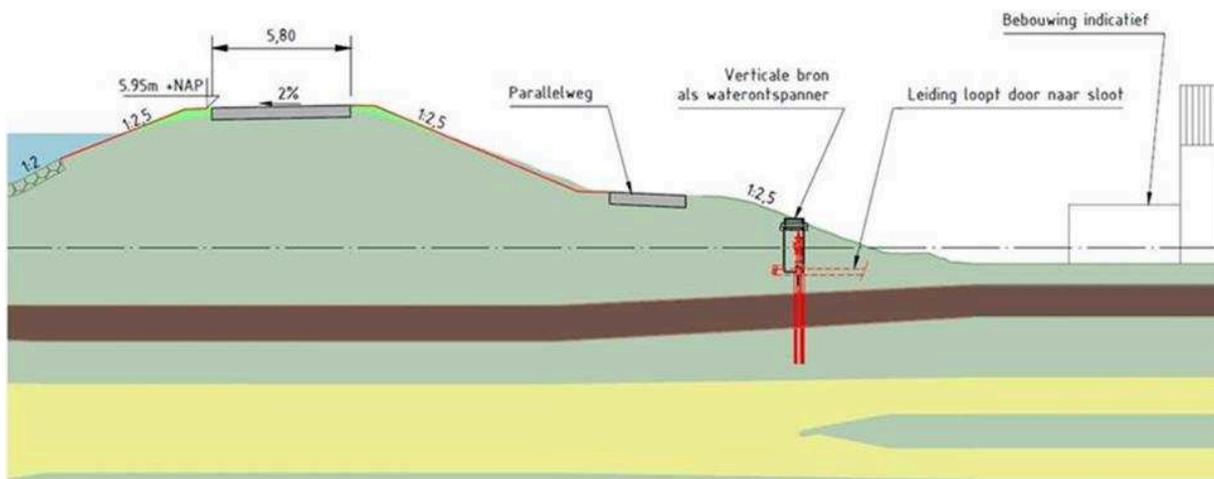


Abbildung 3: Drainage in der Nähe von Bebauung bei Nieuwkoop (NL)

3.3 Versperren des Korntransportes

Zwei effizientere Maßnahmen gegen Piping wurden im Anschluss an die Pipingversuche am Versuchsdeich IJkdijk aus dem Jahre 2009 (Koelewijn et al., 2010) entwickelt: Das vertikal eingebrachte Geotextil (Förster & Bezuijen, 2015) und die Grobsandbarriere (van Beek et al., 2015).

Die Ausbildung eines durchgängigen Erosionskanals entlang der Grenze zwischen Deckschicht und Grundwasserleiter kann unter anderem durch den Einsatz eines vertikal in den oberen Bereich des Grundwasserleiters eingebrachten und in der Deckschicht verankerten Geotextils verhindert werden. Das Wirkungsprinzip (Abbildung 4) beruht auf der einen durchgehenden Sandtransport hinderten Funktion des Geotextils in Kombination mit der großen Wasserdurchlässigkeit des Geotextils, wodurch die Grundwasserströmung im Grundwasserleiter kaum beeinträchtigt wird.

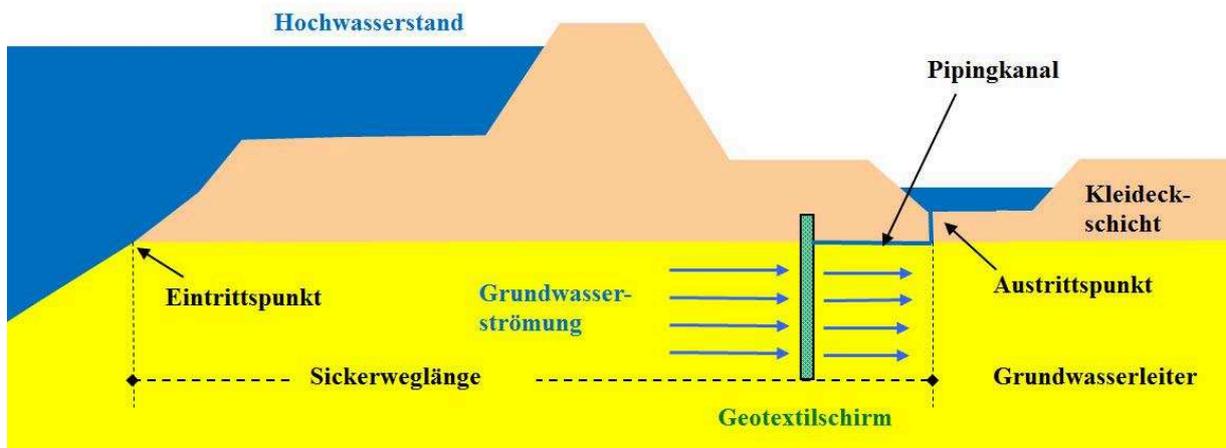


Abbildung 4: Wirkungsprinzip des vertikal eingebrachten Geotextils

Die Grobsandbarriere hat ein ähnliches Wirkungsprinzip: Eine unterhalb der Deckschicht angebrachte Wand aus größeren Körnern wird erst dann erodieren, wenn die Grundwasserströmung infolge der Druckhöhendifferenz über den Deichquerschnitt stark zugenommen hat (Abbildung 5).

Bei Laborversuchen im kleinen Maßstab versagte der Deich mit dieser Maßnahme erst bei einer drei- bis fünfmal höheren Druckhöhendifferenz. Beim großmaßstäblichen Versuch auf dem IJkdijk-Testgelände konnte nur eine etwa 1,5 mal höhere Druckhöhendifferenz realisiert werden und trat kein Versagen ein.

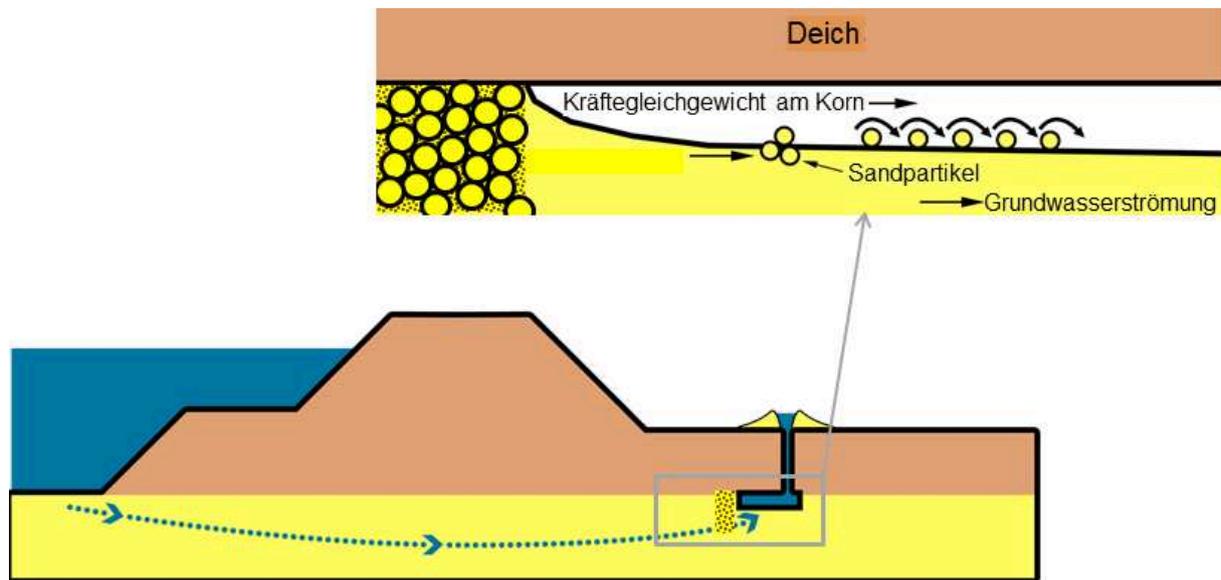


Abbildung 5: Wirkungsprinzip der Grobsandbarriere: die größeren Körner erodieren erst wenn die Grundwasserströmung viel stärker wird

Obwohl der Faktor, mit dem die kritische Druckhöhendifferenz im größeren Maßstab vergrößert werden kann, wahrscheinlich kleiner ist als drei, wird es sowohl mit Hilfe dieser Maßnahme als auch mit dem vertikal eingebrachten Geotextil möglich sein, viel höhere Wasserstände zu halten, ohne dass Probleme mit Piping auftreten werden. In (semi)probabilistischen Analysen kann damit auch der für die Versagenswahrscheinlichkeit bei Piping reservierte Bereich für andere Versagensmechanismen genutzt werden. Damit verringern sich auch die Kosten der Maßnahmen für andere Versagensmechanismen.

4 Literatur

- BAW (2013): Merkblatt Materialtransport im Boden (MMB), Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Karlsruhe.
- Beek, V.M. van, Koelewijn, A.R., Negrinelli, G. & Förster, U. (2015): A coarse sand barrier as an effective piping measure, *Geotechniek* 19 (special issue September):4-7.
- Bligh, W.G. (1910): Dams, barrages and weirs on porous foundations, *Engineering News* 64(26):708-710.
- Bligh, W.G. (1916): *Dams and weirs*, American Technical Society, Chicago.
- Bruijn, K. de, Klerk, W.J. & Diermanse, F. (2014): *Het groepsrisico van overstromingen in Nederland*, rapportage 1209190-000-VEB-0005, Deltares, Delft.
- DWA (2011): Merkblatt DWA-M 507-1, *Deiche an Fließgewässern*, Teil 1: Planung, Bau und Betrieb, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall, Hennef, ISBN 978-3-941897-76-2.

- Förster, U. & Bezuijen, A. (2015): Vertikal eingebrachtes Geotextil als probate Deichertüchtigungsmaßnahme gegen innere Erosion, 5. Symposium Sicherung von Dämmen, Deichen und Stauanlagen, Siegen, Februar, 10 S.
- Förster, U., Ham, G. van den, Calle, E. & Kruse, G. (2013): Onderzoeksrapport zandmeevoerende wellen, rapportage 1202123-003-GEO-0002v3, Deltares, Delft.
- Heerema, J.J. (2015): Backward Erosion Piping in the Netherlands, Symposium How to control piping, Delft, Netherlands, 26 November, 18 S.
- Kind, J.M. (2014): Economically efficient flood protection standarts for the Netherlands, Journal of Flood Risk Management, 7:103-117.
- Koelewijn, A. & Förster, U. (2015): Zeitabhängigkeit bei rückschreitender Erosion unterhalb von Deichen, 38. Dresdner Wasserbaukolloquium, Dresden, März, 309-318.
- Koelewijn, A.R., Pals, N., Sas, M.J. & Zomer, W.S. (2010): IJkdijk pipingexperiment, Validatie van sensor- en meettechnologie voor detectie van optreden van piping in waterkeringen, Resultaten Pipingexperiment 2009, rapportnummer 2010-26 PIW, Groningen, Stichting IJkdijk, ISBN 978-90-5773-485-4.
- Most, H. van der, Táncoz, I, Bruijn, K.M. de & Wagenaar, D. (2014): New, risk-based standards for flood protection in the Netherlands, 6th International Conference on Flood Management, São Paulo, Brazil, September, 9 S.
- Sellmeijer, J.B. (1988): On the mechanism of piping under impervious structures, Ph.D. thesis, Technischer Universität Delft.

Autoren:

Dr.ir. André Koelewijn
Dipl.-Ing. Ulrich Förster

Deltares
Boussinesqweg 1
NL-2629 HV Delft

Tel.: +31 88 335 8273
Fax: +31 88 335 8582
E-Mail: andre.koelewijn@deltares.nl
ulrich.forster@deltares.nl