



POV Piping regionale kwelstroom

Eindrapport

Waterschap Vallei en Veluwe

22 januari 2016

Project POV Piping regionale kwelstroom
Document Eindrapport
Status Concept 02
Datum 22 januari 2016
Referentie AP539-18/001.231

Opdrachtgever Waterschap Vallei en Veluwe
Projectcode AP539-18
Projectleider mw. dr.ir. M.W.J. Smit
Projectdirecteur ir. H.J.M.A. Mols

Auteur(s) ir. D.A. Brakenhoff
ir. P.T.G. van Tol
Gecontroleerd door ir. H.D.C. Meuwese

Goedgekeurd door mw. dr.ir. M.W.J. Smit

Paraaf



Adres Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. | Deventer
Willemskade 19-20
Postbus 2397
3000 CJ Rotterdam
+31 (0)10 244 28 00
www.witteveenbos.com
KvK 38020751

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

	SAMENVATTING	1
1	INLEIDING	3
1.1	Aanleiding	3
1.2	POV Piping	3
1.3	Doel van dit rapport	3
1.4	Leeswijzer	3
2	OPZET ONDERZOEK	4
2.1	Onderzoeksvragen en stappenplan	4
2.2	Hypotheses	5
3	RESULTATEN STUDIE REGIONALE KWELSTROOM	7
3.1	Taak A: theoretische beschrijving	7
3.2	Taak B: areaalstudie	8
3.3	Taak C: werkwijzer en stappenplan	10
3.4	Taak D: theoretische onderbouwing	11
4	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	15
4.1	Conclusies	15
4.2	Aanbevelingen	16
5	REFERENTIES	17
	Laatste pagina	17

SAMENVATTING

Dit overkoepelende rapport is opgesteld in het kader van de project overstijgende verkenning (POV) Piping regionale kwelstroom. De invloed van regionale kwelstroom op het faalmechanisme piping is onderzocht omdat dit fenomeen niet is opgenomen in de bestaande toetsmethodiek voor waterkeringen.

Regionale kwelstroom

Een regionale kwelstroom is gedefinieerd als een grondwaterstroming vanaf hooggelegen gronden in de richting van het buitenwater. In een schematische weergave is de hoofdstroomrichting tijdens dagelijkse omstandigheden gericht naar het buitenwater, en tegengesteld aan de richting van de kwelstroom in het geval van 'klassieke' piping. De Grebbedijk langs de Nederrijn is een praktijkvoorbeeld.

Methode

Het onderzoek is opgedeeld in verschillende onderdelen: een theoretische beschrijving; een landelijke quickscan; een werkwijzer en stappenplan; een theoretische onderbouwing en het uitvoeren van een schaalmodelonderzoek. Het beoogde veldonderzoek is niet uitgevoerd, omdat door de resultaten uit de vorige stappen de noodzaak is vervallen. Tijdens het onderzoek zijn kennisinstituten, waterschappen en experts geraadpleegd.

Conclusie

De conclusie uit dit rapport is dat de aanwezigheid van regionale kwelstroom het risico op piping niet verlaagd. Dit is beschouwd via de verschillende fases die tot het faalmechanisme piping leiden: het opbarsten van de deklaag, het ontlastende effect van een wel en het erosie patroon.

- Het opbarsten van de deklaag is sterk afhankelijk van de dikte en het gewicht van de deklaag, de locatie is bepalend voor het risico op piping. Bij een hoge regionale kwelstroom zal de druk onder de deklaag toenemen, waardoor mogelijk een groter deel van het achterland gevoelig is voor opbarsten. De toename in druk is belangrijk, maar de onzekerheid in de dikte van de deklaag heeft een grotere invloed op de bepaling van de opbarstlocatie;
- Onderzoek heeft aangetoond dat de ontlastende functie van een wel beperkt is en ondergeschikt aan de variatie in de dikte van de deklaag. Daarom zal een wel buiten de kritische lengte een opbarstlocatie binnen de kritische lengte niet met zekerheid voorkomen, omdat de verlaging van de druk onder de deklaag onvoldoende is. Indien opbarsten optreedt buiten de kritische lengte, al dan niet ten gevolge van de regionale kwelstroom, dan is de kwelweg naar de rivier voldoende lang. Zodoende is het risico ten aanzien van het ontstaan van een doorgaande pipe onder de waterkering voldoende laag. Voor de beheerder is het daarom belangrijk om te weten waar in het veld de grens ligt waarbinnen wellen mogelijk wel een gevaar vormen voor de stabiliteit van de waterkering. Specifiek voor beheerders wordt deze conclusie beschreven in een artikel dat ter publicatie wordt aangeboden aan een vakblad.
- Een zandmeevoerende wel is een gevaar voor de waterkering wanneer het kritische verhang wordt overschreden. In dat geval zal de pipe door blijven groeien tot aan de rivier. Dit wijzigt niet tijdens maatgevende omstandigheden door de regionale kwelstroom.

Aanbevelingen

Uit deze studie volgen onderstaande aanbevelingen:

- De onzekerheid in de dikte van de deklaag is van belang voor het opbarstcriterium, en daarmee het ontstaan van wellen. Dit onderschrijft het belang van de studie POV Piping Proeftuin Mastenbroek naar de onzekerheid in de deklaag;
- De weerstand in het opbarstkanaal bepaalt de ontlastende functie van een wel, hiervoor wordt de 0,3d-regel (Deltares, 2012) toegepast. Een nadere studie naar de weerstand kan daarover meer inzicht geven.

1

INLEIDING

1.1 Aanleiding

Vanuit de projectoverstijgende verkenning (POV) piping is door waterschap Vallei en Veluwe de vraag gesteld of zandmeevoerende wellen per definitie een voorbode zijn van het faalmechanisme piping of dat ze in sommige gevallen ook op kunnen treden in combinatie met andere mechanismen die niet tot een instabiliteit van de waterkering leiden. De aanleiding voor deze vraag zijn situaties zoals bijvoorbeeld die bij de Grebbedijk, onderdeel van dijkkring 45 aan de Nederrijn, waar in 2011 en 2012 zandmeevoerende wellen zijn geconstateerd bij waterstanden ruim onder maatgevend hoogwater. De verklaring hiervoor is naar verwachting de aanwezigheid van een sterke regionale kwelstroom vanuit het Veluwemassief en de Grebbeberg. Hiermee is het onderzoek naar de invloed van regionale kwelstroom op het mechanisme piping tot stand gekomen. In dit onderzoek is onderscheid gemaakt tussen verschillende fases in het faalmechanisme piping: opbarsten van de deklaag en het ontstaan van een pipe door terugschrijdende erosie en het effect van de regionale kwelstroom op deze fases.

1.2 POV Piping

Als onderdeel van het hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) wordt de project overstijgende verkenning (POV) piping uitgevoerd. Binnen de POV Piping zijn overheid, marktpartijen en kennisinstellingen samen op zoek naar relevante nieuwe kennis en innovatieve maatregelen met betrekking tot het faalmechanisme piping. De POV Piping verzamelt en combineert kennis, ervaring en experiment en faciliteert belanghebbenden met bevindingen om toekomstige dijkverbeteringen doelmatig, omgevingsbewust en goedkoper te realiseren¹. Binnen de POV Piping wordt onderzocht wat de invloed is van locatie specifieke omstandigheden op het mechanisme piping die in de bestaande toetsmethodiek buiten beschouwing blijven.

1.3 Doel van dit rapport

Het doel van dit rapport is een overzicht te geven van de uitgevoerde werkzaamheden en de belangrijkste conclusies van het onderzoek.

1.4 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 bevat de opzet van het onderzoek. Hoofdstuk 3 beschrijft de resultaten van de studie. Hoofdstuk 4 bevat de conclusie en aanbevelingen.

Het rapport is geschreven voor waterkeringspecialisten en geohydrologen.

¹ Bron: pov-piping.nl

2

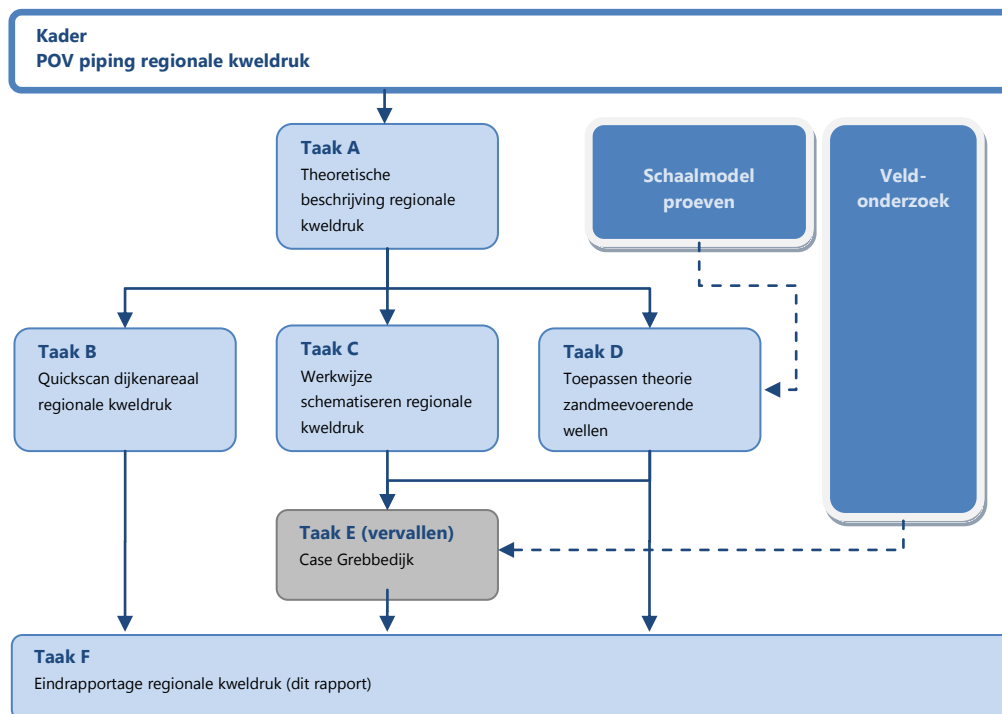
OPZET ONDERZOEK

Dit hoofdstuk geeft de opzet van het onderzoek weer.

2.1 Onderzoeksvragen en stappenplan

Afbeelding 2.1 geeft het stappenplan weer met de verschillende werkzaamheden (taken) van dit onderzoek. De vragen behorende bij taak C zijn beantwoord, maar niet uitgewerkt tot een definitief product, omdat de tussentijdse resultaten van de taken A en D hebben aangetoond dat hypothesen (paragraaf 2.2) niet aangetoond konden worden. Om dezelfde reden is taak E komen te vervallen, en is geen veldwerk gestart.

Afbeelding 2.1. Stappenplan onderzoek regionale kwelstroom



Het stappenplan is onderverdeeld in onderstaande onderzoeksvragen:

- (A) hoe beïnvloedt regionale kwelstroom mogelijk het proces van piping? Uitgangspunt hiervoor zijn de drie hypothesen in paragraaf 2.2?
- (B) welke delen van het areaal aan primaire keringen staan mogelijk onder invloed van regionale kwelstroom?

- (C1) wat is de geohydrologische werkwijze om het effect van regionale kwelstroom aantoonbaar te maken?
- (C2) welke stappen zijn nodig om de veiligheid van de waterkering te toetsen, rekeninghoudend met regionale kwelstroom?
- (D) hoe kan de theorie uit het (onderzoeks)rapport zandmeevoerende wellen (Deltares, 2012) worden vertaald naar een theorie waarin regionale kwelstroom mede in beschouwing wordt genomen?
- (E) voor de casus van de Grebbedijk: kan het positief effect van regionale kwelstroom worden aangetoond aan de hand van modellering en aanvullende veldgegevens?

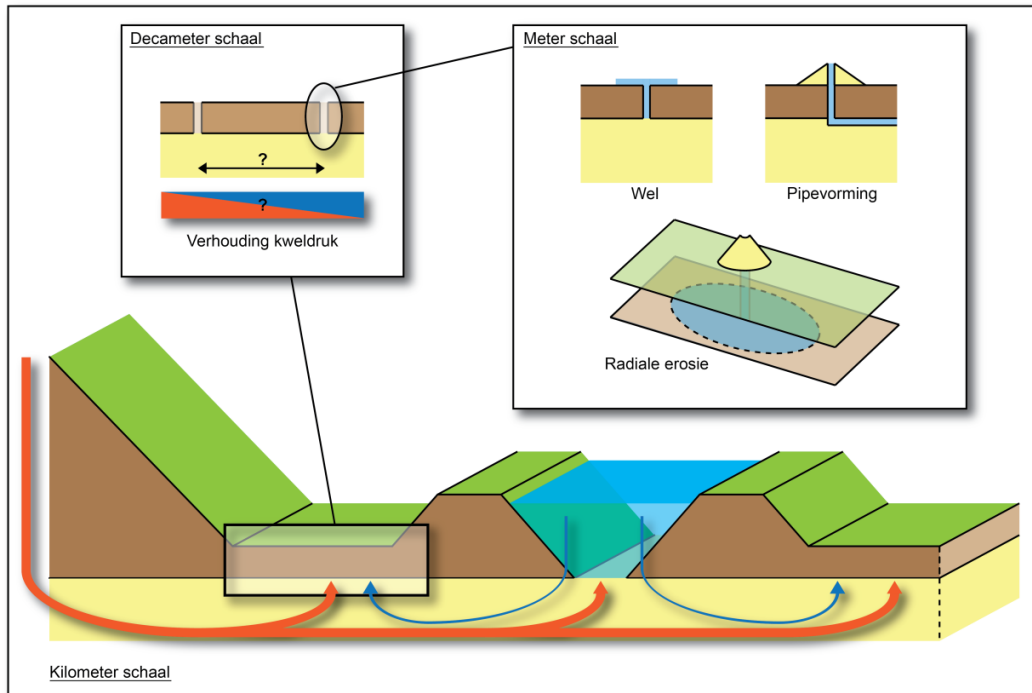
2.2 Hypotheses

Waterschap Vallei en Veluwe heeft drie hypothesen opgesteld over de mogelijke invloed van de regionale kwelstroom op het mechanisme piping op basis van de situatie bij de Grebbedijk. Bij de Grebbedijk lopen naar verwachting de kwelstromen niet enkel vanuit de rivier naar het achterland. De hoge gronden van de Veluwe en de Utrechtse Heuvelrug leiden mogelijk tot een regionale kwelstroom in de polder die de stroming vanuit de rivier kan beïnvloeden. Een globale kwalitatieve beschrijving van de invloed van deze aanvullende kwelstroom vanuit het achterland is gegeven op verschillende schalen, zie ook afbeelding 2.2:

- 1 **hypothese 1 (op kilometerniveau):** piping kan volgens de 'klassieke' schematisatie plaatsvinden in lagen waar één kwelstroom aanwezig is (eenrichtingsverkeer), maar niet in combinatie met een regionale tegenstroom. Dit is het geval bij hogere grondwaterstanden die draineren richting rivier;
- 2 **hypothese 2 (op 10-meterniveau):** de verhouding tussen de regionale kwelstroom van de hoge grond en de kwelstroom vanuit de rivier, bepaalt de mogelijke opbarstlocatie, stroomrichting en stroomsnelheid richting de zandmeevoerende wel. Alleen bij een scheve verhouding (kleine regionale kwelstroom) kan 'klassieke' piping optreden;
- 3 **hypothese 3 (op meterniveau):** het zand onder de deklaag wordt door de kwelwaterstroom slechts plaatselijk rondom het opbarstkanaal meegevoerd, waarna de stroomsnelheid vervolgens in 3D snel afneemt. Onder het diepste punt van het opbarstkanaal neemt het zandtransport aan de buitenranden van de met watergevulde holle ruimte snel af vanwege de vergroting van het geërodeerd oppervlak.

Deze hypothesen zijn in detail beschouwd in het rapport 'POV Piping theoretische onderbouwing zandmeevoerende wellen' (Witteveen+Bos, 2015a).

Afbeelding 2.2 Schematisatie regionale kwelstroom



3

RESULTATEN STUDIE REGIONALE KWELSTROOM

Dit hoofdstuk bevat de resultaten van uitgevoerde taken A, B, C en D. Taak E is komen te vervallen op basis van de resultaten van de vorige stappen. Taak F is het voorliggende eindrapport.

3.1 Taak A: theoretische beschrijving

Doel

Taak A heeft als doel het beantwoorden van de volgende onderzoeksvraag: hoe beïnvloedt regionale kwelstroom het proces van piping? Uitgangspunt hiervoor zijn de hypothesen uit paragraaf 2.2.

Welke stappen zijn doorlopen

De volgende werkzaamheden zijn uitgevoerd om de doelstelling van deze taak te verwezenlijken:

- literatuurstudie naar bestaande theorieën over regionale kwelstroom;
- consultatie van experts binnen Waterschap Vallei en Veluwe en Witteveen+Bos;
- opstellen theoretisch kader;
- een externe review door em. prof. drs. ir. J.K. Vrijling en ir. W.G. Epema;
- bespreken van de hypothesen, de aanpak en de theoretische beschrijving met specialisten van STOWA, waterschappen en Deltares in een expertsessie (7 november 2014).

Productenoverzicht taak A

In tabel 3.1 staat het product van deze taak.

Tabel 3.1 Productenoverzicht taak A

Titel	Versie	Datum
rapport theoretische beschrijving	definitief	17 april 2015
beoordeling concept rapportage 'POV Piping Regionale kwelstroom theoretische beschrijving' (em. prof. drs. ir. J.K. Vrijling, ir. W.G. Epema)		5 december 2014

Wat heeft het opgeleverd?

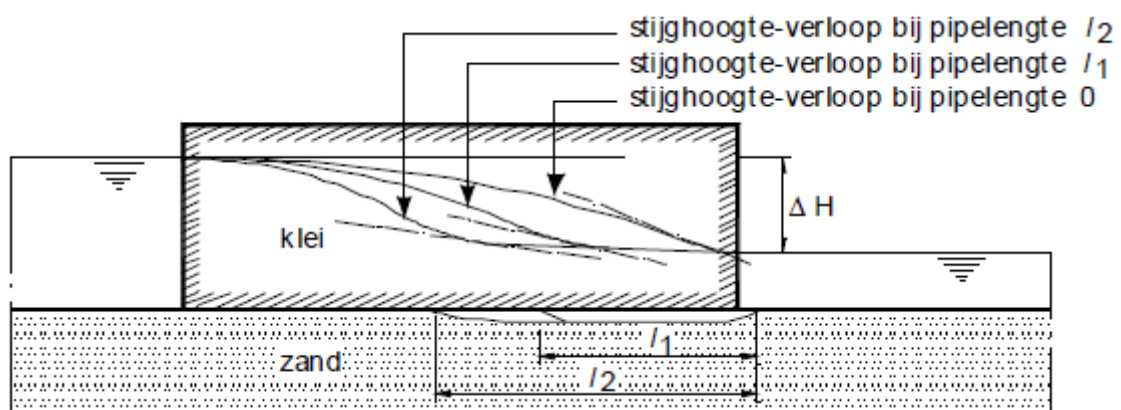
- inzicht in de laatste stand van zaken/kennis op het gebied van piping, zie onderstaand kader;
- overzicht van beschikbare modellen, namelijk Modflow en iMod voor de berekening van grondwaterstroming; MSeep en Mpiping voor piping en heave berekeningen; Watex voor opbarsten, piping en heave;
- inzicht in de raakvlakken tussen geohydrologie, geotechniek en waterkeringen;
- breder informeren werkveld door betrokkenheid van specialisten vanuit de expertsessie.

Stromingsgradiënt bij ontstaan van een pipe

In het geval van 'klassieke' piping zal bij een verval over de 'constructie' dat kleiner is dan het kritieke verval, door erosie een pipe ontstaan, die net zolang doorgroeit tot de met dit verval corresponderende pipelengte is bereikt. De stromingsgradiënten zijn dan zodanig afgezwakt dat de zandkorrels op de rand van de pipe weerstand kunnen bieden aan de aanstroomkrachten. Dit is weergegeven in onderstaand afbeelding. De helling van de stippellijn geeft de stromingsgradiënt weer. Deze neemt af als de pipe groter wordt en is in de afbeelding het laagst bij lengte l_2 .

Wordt het verval opgevoerd, dan zal de spleet weer gaan groeien, tot een nieuw evenwicht wordt bereikt. Het erosieproces stopt, zolang het verval niet groter is dan het kritieke verval. Wordt het verval wel groter dan zal de spleet door blijven groeien, omdat het verval waarbij evenwicht mogelijk is, kleiner is dan het aanwezige verval. De spleet groeit dan uit tot een open kanaaltje tussen boven- en benedenstroomse kant van de constructie; piping is daarmee een feit.

Afbeelding 3.1 Afzakken stromingsgradiënten bij ontstaan van een 'pipe' (Deltares 2012)



Wat zijn de conclusies?

Uit de theoretische beschrijving kunnen we het volgende concluderen:

- het model van Sellmeijer is het uitgangspunt voor het onderzoeken van piping;
- het kritieke verval in de regel van Sellmeijer is direct gerelateerd aan een kritische stromingsgradiënt ter plaatse van de uiteinde van de pipe die leidt tot zandtransport in een pipe. Deze gradiënt is modellerbaar in geohydrologische modellen;
- voor het onderzoeken van de interactie tussen regionale kwelstroom en piping is nauwe samenwerking nodig tussen geotechnische waterkeringsspecialisten en geohydrologen;
- geohydrologische modellen lenen zich het best voor het onderzoeken van de drie hypothesen omdat de verschillende schaalniveaus en de ruimtelijke variatie kunnen worden onderzocht.

3.2 Taak B: areaalstudie

Doel

Taak B heeft als doel het beantwoorden van de volgende onderzoeksvraag: welke delen van het areaal aan primaire keringen langs de bovenrivieren staan mogelijk onder invloed van regionale kwelstroom?

Welke stappen zijn doorlopen

De volgende werkzaamheden zijn uitgevoerd om de doelstelling van deze taak te verwezenlijken:

- GIS-analyse van geohydrologische kaarten NHI, kaarten van het Algemeen Hoogtebestand Nederland, rivierwaterstanden en dijkkringkaarten;
- toetsen voor welke dijkkringgebieden in het rivierengebied een interactie tussen grondwaterstroming en piping mogelijk is op basis van een vergelijking tussen grondwaterstanden, rivierwaterstanden en de hoogteligging van het dijkkringgebied;

- bespreken van de hypothesen en de resultaten van de areaalstudie met beheerders op 2 beheerdersbijeenkomsten (in totaal 6 waterschappen). Individuele afstemming resultaten met Waterschap Groot Salland.

Productenoverzicht taak B

In tabel 3.2 staat het product van deze taak.

Tabel 3.2 Productenoverzicht Taak B

Titel	Versie	Datum
rapport quickscan areaal	definitief	27 augustus 2015

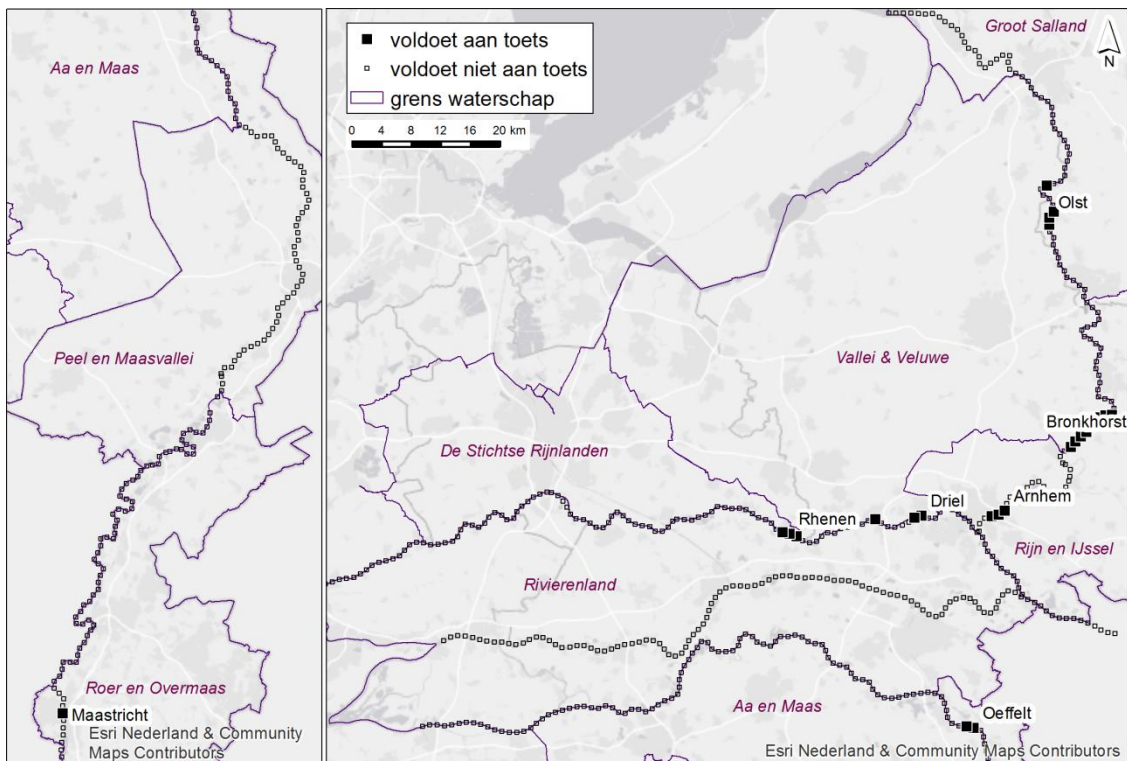
Wat heeft het opgeleverd?

- inzicht in de mogelijke locaties van regionale kwelstroom en toetsing hiervan bij de betrokken waterschappen;
- betrokkenheid van beheerders vanuit de twee beheerdersbijeenkomsten, wat de bekendheid van regionale kwelstroom in relatie tot piping heeft vergroot.

Wat zijn de conclusies

Op basis van de areaalstudie en een validatie door de waterschappen zijn regio's geïdentificeerd waar een interactie tussen regionale kwelstroom en piping wordt verwacht. Deze regio's zijn in afbeelding 3.2 weergegeven en samengevat in tabel 3.3.

Afbeelding 3.2 Locaties die voldoen aan toetsing waar interactie tussen regionale kwelstroom en piping mogelijk is



Tabel 3.3 Regio's met mogelijke interactie tussen regionale kwel en piping

Rivier	Lengte over rivier as die aan toets voldoet (km)	Waterschappen
IJssel	14	Rijn en IJssel, Vallei en Veluwe
Maas	3	Peel en Maasvallei, Roer en Overmaas
Nederrijn	6	Vallei en Veluwe, Rivierenland, De Stichtse Rijnlanden

3.3 Taak C: werkwijzer en stappenplan

Doel

Vanuit taak C zijn de te beantwoorden onderzoeksvragen:

- (C1) wat is de werkwijze voor de numerieke geohydrologische modellering om het effect van regionale kwelstroom aantoonbaar te maken?
- (C2) welke stappen zijn nodig om de veiligheid van de waterkering te toetsen, rekeninghoudend met regionale kwelstroom?

Welke stappen zijn doorlopen

De volgende werkzaamheden zijn uitgevoerd om de doelstelling van deze taak te verwezenlijken:

- opstellen van een werkwijzer op basis van de systematiek uit de werkwijzer piping (ministerie I&M, 2014);
- uitwerken van een stappenplan om een case met regionale kwelstroom te toetsen aan de hypothesen (paragraaf 2.2);
- bespreken werkwijzer en stappenplan met experts van waterschappen, Deltares en TU Delft (24 april 2015).

Productenoverzicht taak C

In tabel 3.4 staan de producten van deze taak.

Tabel 3.4 Productenoverzicht Taak C

Titel	Versie	Datum
werkwijzer schematisering regionale kwelstroom	concept	17 april 2015
stappenplan beheerdersoordeel piping bij regionale kwelstroom	concept	17 april 2015
verslag expertbijeenkomst 24 april 2015		11 mei 2015

De resultaten van het onderzoek uitgevoerd in taak D in het laboratorium en in numerieke modellen zijn in tegenspraak met de hypothesen, waardoor de werkwijzer en het stappenplan niet tot een definitief product uitgewerkt worden.

Wat heeft het opgeleverd?

- inzicht in interactie tussen piping en regionale kwelstroom;
- betrokkenheid van specialisten vanuit de expertsessie;
- meer inzicht in de schematisatie van opbarsten en wellen in geohydrologische modellen;
- een handreiking om modellen op te stellen;
- een stappenplan 'beheerdersoordeel piping bij regionale kwelstroom'.

Wat zijn de conclusies

Doordat de resultaten vanuit de theoretische onderbouwing de hypothesen hebben ontkracht is het stappenplan niet van toepassing. Wel zijn er uit taak C de volgende stappen voor de theoretische onderbouwing geïdentificeerd:

- het consistent beoordelen van de invloed van regionale kwelstroom is mogelijk via een vast universeel stappenplan. Dit vormt daarom ook de basis voor een toekomstige publicatie;
- bij het berekenen van het effect op de opbarstlocatie is de spreiding van de dikte van de deklaag in het achterland van groot belang. Uit andere POV Piping onderzoeken weten we dat deze spreiding zeer groot is en lastig gebiedsdekkend in beeld te brengen;
- om onzekerheden in de laagopbouw en doorlatendheid van de ondergrond mee te nemen, dienen voor iedere case meerdere schematisaties te worden opgesteld aan de hand waarvan de onzekerheden in de inputparameters van het geohydrologisch model worden beschouwd.

3.4 Taak D: theoretische onderbouwing

Doel

Taak D heeft als doel het beantwoorden van de volgende onderzoeksvraag: hoe kan de theorie uit het (onderzoeks-)rapport zandmeevoerende wellen worden vertaald naar een theorie waarin regionale kwelstroom mede in beschouwing wordt genomen?

Welke stappen zijn doorlopen

In taak D is de kennis over piping en wellen uit de taken A en C toegepast op een situatie die gebaseerd is op de Grebbedijk. Vervolgens is de invloed van regionale kwelstroom op piping onderzocht. Daarbij is gebruik gemaakt van geohydrologische modellen. Hierbij is de invloed van regionale kwelstroom beschouwd op twee verschillende fases in het faalmechanisme piping: het opbarsten van de deklaag en het ontstaan van een pipe. Daarnaast zijn in het waterloopkundig laboratorium van de Hogeschool Arnhem Nijmegen schaalmodelproeven uitgevoerd om het proces van tweezijdige toestroming kwalitatief te onderzoeken.

In het numeriek model en de laboratoriumproeven kwam naar voren dat de hypothesen niet onverkort van toepassing zijn. Daarna is de volgende aangepaste onderzoeksvraag geformuleerd: zijn de hypothesen verifieerbaar in numerieke en geschaalde modellen van situaties met regionale kwelstroom?

Productenoverzicht taak D

In tabel 3.5 staan de producten van deze taak.

Tabel 3.5 Productenoverzicht Taak D

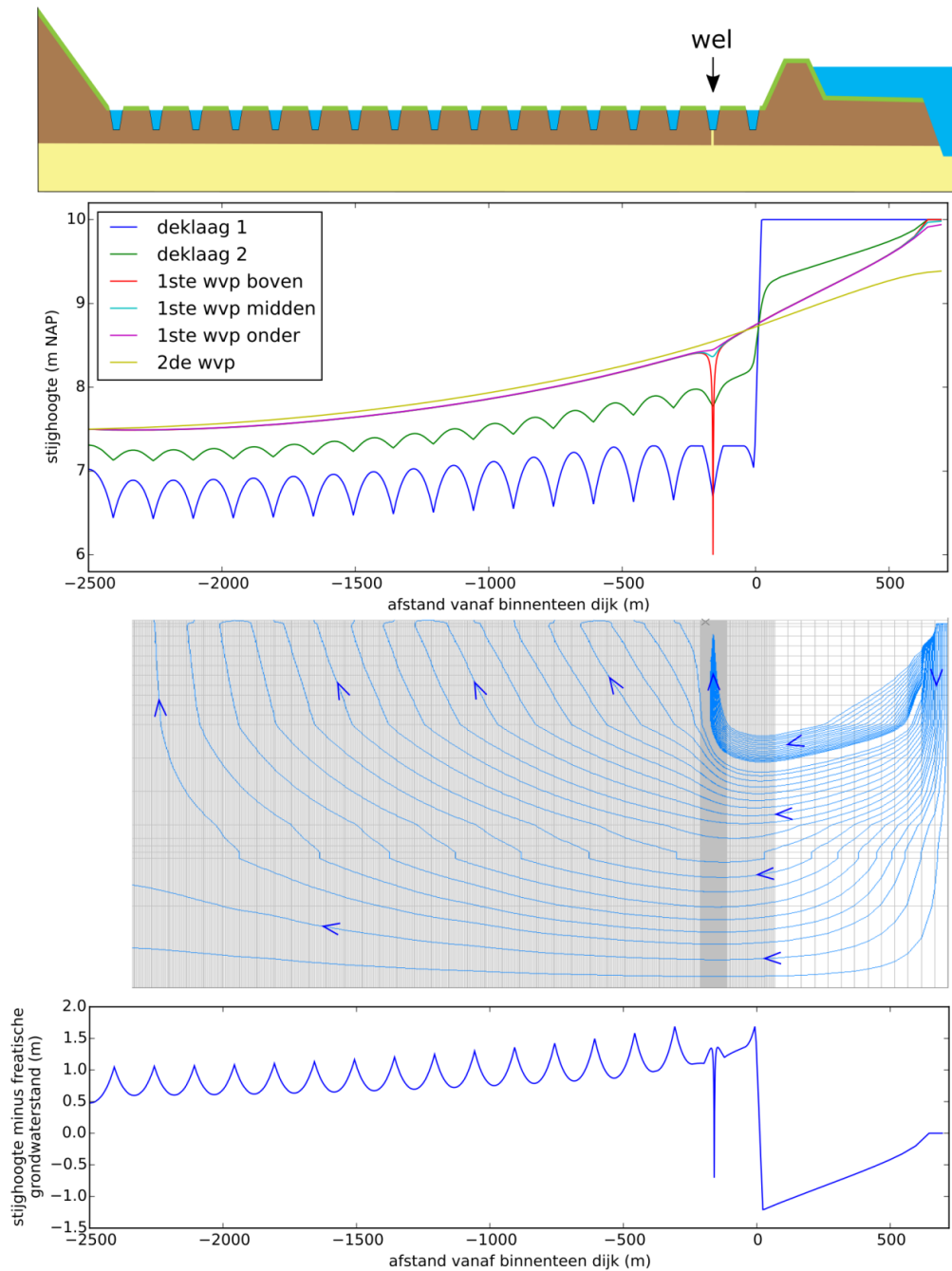
Titel	Versie	Datum
rapport theoretische onderbouwing	definitief	4 december 2015
afstudeerverslag Positieve Kwel? Stan van den Broek en Otto Kuypers	definitief	mei 2015
beoordeling concept rapportage 'POV Piping Regionale kwelstroom theoretische onderbouwing zandmeevoerende wellen' (em. prof. drs. ir. J.K. Vrijling, ir. W.G. Epema)		20 oktober 2015

Wat heeft het opgeleverd?

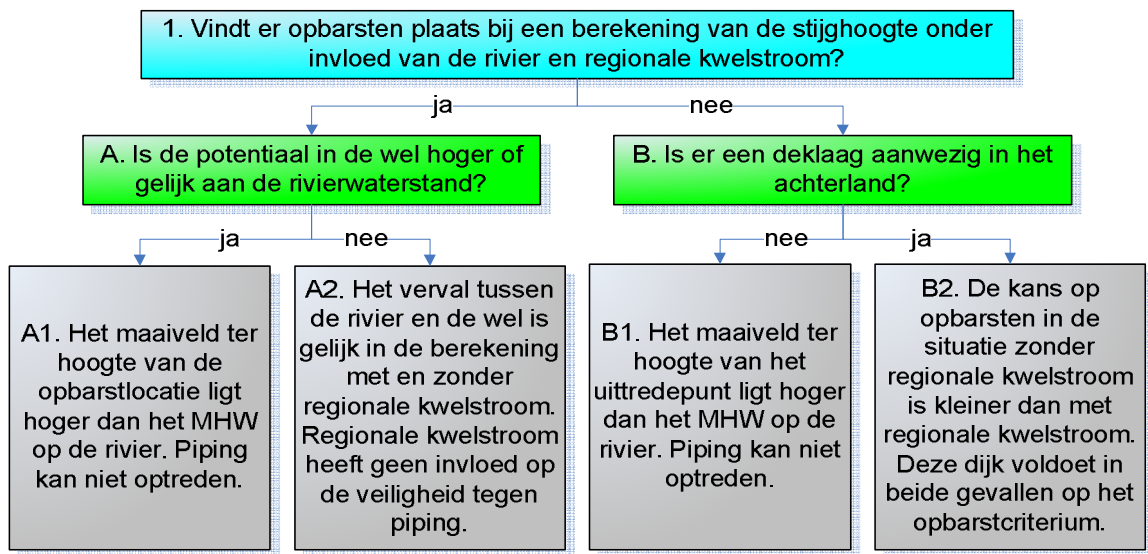
- inzicht in het ontlastend effect van wellen, zie het modelresultaat in afbeelding 3.3;
- inzicht in de geohydrologische invloed van regionale kwelstroom op het opbarsten van de deklaag, zie het stroomschema in Afbeelding 3.4;

- inzicht in de geohydrologische invloed van regionale kwelstroom op de grondwaterstroming rond wel- len. Daarbij is de weerstand in het opbarstkanaal een van de onbekenden, waarvoor nu de 0,3d-regel (Deltares, 2012) gangbaar is;
- inzicht in pipinggedrag bij tweezijdige toestroming, via meerdere laboratoriumproeven zie afbeelding 3.5 voor de proefopstelling en afbeelding 3.6 voor een voorbeeld van een erosiepatroon;
- antwoord op de houdbaarheid van de hypothesen.

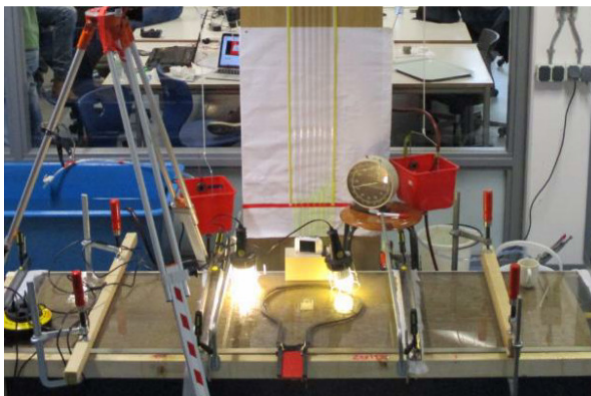
Afbeelding 3.3 Doorsnede, stijghoogtes en stroomlijnen voor situatie met hoogwater op de Nederrijn



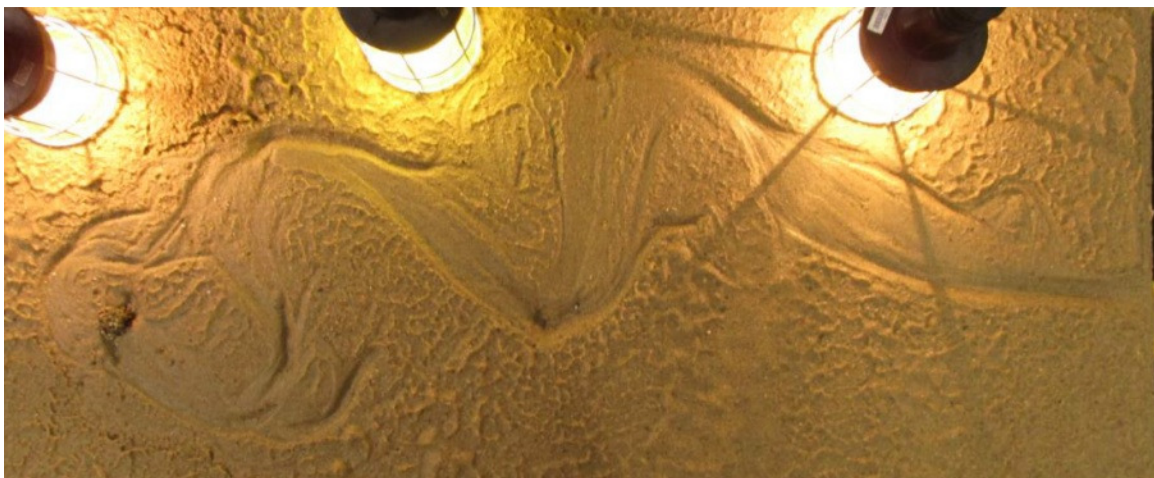
Afbeelding 3.4 Stroomschema opbarsten en piping



Afbeelding 3.5 Aanzicht proefopstelling



Afbeelding 3.6 Bovenaanzicht erosiepatroon bij regionale kweldruk en hoogwater op rivier, pipe ontstaat richting rivier (proef 4.2)



Wat zijn de conclusies

Uit taak D kunnen we het volgende concluderen:

- de aanwezigheid van regionale kwelstroom verhoogt de druk in het achterland en vergroot daarmee het risico op opbarsten. De toename in druk heeft tot gevolg dat een groter deel van het achterland gevoelig wordt voor opbarsten;
- een wel verlaagd de stijghoogte in een beperkt gebied: met de uitgangspunten van deze studie is een effect van minder dan 5 cm verlaging op een afstand van 100 m en maximaal 50 cm op circa 30 m afstand ingeschat. Een van de onzekerheden daarbij is de weerstand van het opbarstkanaal;
- het verticale evenwicht van de deklaag wordt bepaald door het gewicht van de deklaag (neerwaarts gericht) en de druk ten gevolge van de stijghoogte (opwaarts gericht). Het effect van de onzekerheid in dikte van de deklaag op opbarsten is groter dan de verlaging van de stijghoogte door een bestaande wel die ontlast. Bijvoorbeeld een variatie van 10 % in deklaagdikte, is het verschil in de grenspotentiaal (de druk waarbij de deklaag opbarst) 0,5 en 2,4 m bij een deklaag van respectievelijk 1 en 5 m dikte;
- in schaalproeven wijzigen erosiepatronen niet bij tweezijdige toestroming;
- bolvormige erosie met sterke vergroting van het uittredeoppervlak uit de hypothese treedt niet op;
- in schaalproeven treedt een doorgaande pipe bij een lager verval op bij tweezijdige toestroming dan bij eenzijdige toestroming. Mogelijk verlaagt de tweezijdige toestroming het kritieke verval over de waterkering door afname van de weerstand in het opbarstkanaal.

4

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

4.1 Conclusies

De conclusie uit dit rapport is dat de aanwezigheid van regionale kwelstroom het risico op piping niet verlaagd. Dit is beschouwd via de verschillende fases die tot het faalmechanisme piping leiden: het opbarsten van de deklaag, het ontlastende effect van een wel en het erosiepatroon.

Opbarstlocatie

Het opbarsten van de deklaag is sterk afhankelijk van de dikte en het gewicht van de deklaag. Bij gelijke stijghoogte zal opbarsten plaatsvinden daar waar het gewicht van de deklaag het laagste is. De locatie van opbarsten is bepalend voor het risico op piping. Bij een hoge regionale kwelstroom zal de druk onder de deklaag toenemen, waardoor mogelijk een groter deel van het achterland gevoelig is voor opbarsten. De toename in druk is belangrijk, maar de onzekerheid in de dikte van de deklaag heeft een grotere invloed op de bepaling van de opbarstlocatie.

Ontlastende effect van een wel

Onderzocht is of opbarsten buiten de kritische lengte de druk onder de deklaag dusdanig kan verlagen dat het risico op opbarsten binnen de kritische lengte significant verlaagd zou worden. Onderzoek naar de ontlastende functie van een wel heeft aangetoond dat deze ontlastende functie beperkt is en ongeschikt aan de variatie in de dikte van de deklaag. Daarom zal een wel buiten de kritische lengte een opbarstlocatie binnen de kritische lengte niet met zekerheid voorkomen, omdat de verlaging van de druk onder de deklaag onvoldoende is.

Indien opbarsten optreedt buiten de kritische lengte, al dan niet ten gevolge van de regionale kwelstroom, dan is de kwelweg naar de rivier voldoende lang. Zodoende is het risico ten aanzien van het ontstaan van een doorgaande pipe onder de waterkering voldoende laag. Voor de beheerder is het daarom belangrijk om te weten waar in het veld de grens ligt waarbinnen wellen mogelijk wel een gevaar vormen voor de stabiliteit van de waterkering. Specifiek voor beheerders wordt deze conclusie beschreven in een artikel dat ter publicatie wordt aangeboden aan een vakblad.

Erosiepatroon

Een zandmeevoerende wel is een gevaar voor de waterkering wanneer het kritische verhang wordt overschreden. In dat geval zal de pipe door blijven groeien tot aan de rivier. Tijdens maatgevende omstandigheden wijzigt door de regionale kwelstroom de stroomrichting onder de waterkering, en daarmee de richting van de erosie niet ten opzichte van de 'klassieke piping' situatie. Regionale kwelstroom heeft daarom geen effect op het erosiepatroon binnen de kritieke lengte van de waterkering. Hieruit wordt geconcludeerd dat, indien een wel optreedt binnen de kritieke lengte van de waterkering, deze nog steeds een gevaar vormt voor de waterkering.

4.2 Aanbevelingen

Uit deze studie volgen onderstaande aanbevelingen:

- de onzekerheid in de dikte van de deklaag is van belang voor het opbarstcriterium, en daarmee het ontstaan van wellen. Dit onderschrijft het belang van de studie POV Piping Proeftuin Mastenbroek naar de onzekerheid in de deklaag;
- de weerstand in het opbarstkanaal bepaalt de ontlastende functie van een wel, hiervoor wordt de 0,3d-regel (Deltares, 2012) toegepast. Een nadere studie naar de weerstand kan daarover meer inzicht geven.

5

REFERENTIES

- Deltares (2012). Onderzoeksrapport Zandmeevoerende wellen. Kenmerk: 1202123-003-GEO-0002.
- Ministerie I&M (2014). Werkwijzer Piping bij Dijken. Versienummer 1.2, 18 november 2014.
- Van den Broek, S., Kuypers, O., 2015, Positieve kwel? Hogeschool van Arnhem en Nijmegen.
- Witteveen+Bos (2015a). POV Piping regionale kwelstroom - theoretische onderbouwing zandmeevoerende wellen, definitief, kenmerk AP539-18/15-020.229.
- Witteveen+Bos (2015b), POV Piping regionale kwelstroom - theoretische beschrijving, definitief, 17 april 2015, kenmerk AP539-7/15-006.500.
- Witteveen+Bos (2015c). POV Piping regionale kwelstroom - quickscan areaal, definitief, 27 augustus 2015, kenmerk AP539-7/15-013.866.
- Witteveen+Bos (2015d). POV Piping regionale kwelstroom - werkwijzer schematisering regionale kwelstroom, concept, 17 april 2015, kenmerk AP539-7/15-006.501.
- Witteveen+Bos (2015e). POV Piping regionale kwelstroom - stappenplan beheerdersoordeel piping bij regionale kwelstroom, concept, kenmerk AP539-7/15-006.502.
- Witteveen+Bos (2015f). POV Piping regionale kwelstroom - verslag expertbijeenkomst (2), kenmerk AP539-7/15-007.925.

