



HWBP Projectgebonden Innovatie “Naar een geohydrologische aanpak voor piping”

De tussenstand: samenvatting

Waterschap Aa en Maas

Fer Kalis
Martine Brinkhuis
Jacco Hoogewoud

14-04-2020

COLOFON

Aangeboden door Projectteam Projectgebonden Innovatie Meanderende Maas
Project HWBP Projectgebonden Innovatie "Naar een geohydrologische aanpak voor piping"
Opdrachtgever Waterschap Aa en Maas, gedelegeerd opdrachtgever Fer Kalis

Document De tussenstand: samenvatting.pdf
Datum 31 maart 2020
Contact Martine.Brinkhuis@tauw.com

Auteur(s) Martine Brinkhuis, Jacco Hoogewoud

Commissie van betrokken experts (CvE)	Aandachtspunt
Ruben Jongejan	Veiligheidsbenadering en probabilistiek
Henk van Hemert	Geotechniek en dijkontwerp
Ane Wiersma	Geologie en (gebrek aan) data.
Henk Weijers	Communicatie en draagvlak

Contents

0	Visuele samenvatting.....	4
1	Aanleiding en verwachtingen.....	5
2	Aanpak.....	5
3	Opbrengst tot nu toe.....	6
3.1	De theoretische basis en de afbakening.....	6
3.2	Karakteristieke waarde van de stijghoogte	8
3.3	Sterkteberekeningen.....	9
4	Conclusies.....	12
4.1	Potentie en besparing	12
4.2	Draagvlak voor de werkwijze.....	13
4.3	Bijvangst	13
5	Aanbevelingen komende fase.....	14
5.1	Aanbeveling fase III van het Innovatieproject:	14
5.2	Aanbevelingen voor Ws Aa en Maas, projectorganisatie of beheerorganisatie:.....	15
5.3	Aanbevelingen voor HWBP en of Rijkswaterstaat (BOI):.....	16
6	Organisatie	16
6.1	Organisatie	16
6.2	Tijdsplanning	17
	Bijlagen.....	Error! Bookmark not defined.

0 Visuele samenvatting

Voor u ligt een beschrijving van de tussenstand van de projectgebonden HWBP Innovatie “Geohydrologische Aanpak Piping”. In dit rapport wordt de ontwikkelde aanpak en de tussentijdse opbrengst beschreven voor inhoudelijk geïnteresseerde collega’s in de HWBP community. Een visuele samenvatting van de methode en zijn mogelijkheden vindt u hieronder.



Figure 1: Visuele samenvatting Geohydrologische Aanpak Piping

De methode maakt de koppeling mogelijk tussen een regionaal grondwaterstromingsmodel en de sterktemodellen voor piping. Zo kan voor een volledig dijkversterkingstraject een vlak dekkende stijghoogte worden berekend met een onzekerheidsband er omheen. De methode is heel geschikt voor situaties waarbij nog weinig (stijghoogte) data beschikbaar zijn.

Het tussentijdse projectresultaat is positief: De ontwikkelde methode is theoretisch juist en werkt goed in de praktijk van beoordeling en ontwerp van waterkeringen. De methode past in de veiligheidsfilosofie en binnen het toepassingsbereik van het BOI.

In veel gevallen leidt de aanpak tot een kleinere pipingopgave. Een grove¹ vergelijking met de afgeronde verkenning voor het dijkversterkingstraject Ravenstein- Lith (Meanderende Maas) laat zien dat de innovatieve aanpak leidt tot een gemiddelde benodigde pipingberm die 35 meter korter is: gemiddeld 40 meter ten opzichte van gemiddeld 75 meter. Voor de vergelijking nemen we aan dat het hele pipingprobleem met grondbermen zou worden opgelost. Deze grove vergelijking dient puur als indicatie voor de (grote) potentie van de aanpak.

De volgende fase van het project richt zich op het verbeteren en aanscherpen van de modellen en methode en het delen van de inzichten met de collega's in de HWBP-community. Conclusies over wat de aanpak aan concrete besparingen oplevert kunnen getrokken worden aan het einde van het innovatieproject, in september 2020. Eindrapportage vindt plaats in oktober 2020.

¹ Grof, want focus ligt nu nog op methode ontwikklig. Conclusies over wat de aanpak aan concrete besparingen oplevert kunnen pas getrokken worden aan het einde van het innovatieproject, tussen juli en september 2020

1 Aanleiding en verwachtingen

De nieuwe norm voor waterveiligheid per 1 januari 2017 stelt het waterschap Aa en Maas voor de opgave om circa 100 km primaire dijk te versterken. Een deel van deze versterkingsopgave is toe te schrijven aan het faalmechanisme piping. Bij piping wordt door waterstroming onder de dijk zand meegevoerd waarbij de dijk ondermijnd wordt. De berekende pipingopgave is erg groot en voelt, op basis van ervaringen tijdens hoogwaters in het verleden, als onrealistisch groot. De bij deze opgave behorende versterkingsmaatregelen kosten veel geld en ruimte.

Eén van de lopende dijkversterkingsprojecten van waterschap Aa en Maas is de versterking van het 27 kilometer lange dijktraject 36-3 van Ravenstein tot Lith, zie afbeelding 1. Dit dijkversterkingsproject draagt de naam Meanderende Maas. Voor dit dijkversterkingsproject is een projectgebonden subsidie verleend door het Hoogwater Beschermingsprogramma (HWBP) om te onderzoeken of door het gebruik van de geohydrologische informatie de pipingopgave verkleind kan worden.



Figure 2: projectgebied Meanderende Maas

In het kader van de Innovatie Meanderende Maas wordt onderzocht hoe geohydrologische informatie en modellen gebruikt kunnen worden om stijghoogtes beter in te schatten om zo de pipingopgave nauwkeuriger vast te stellen. De geohydrologische modellen worden hierbij gekoppeld aan de reguliere sterktemodellen voor opbarsten, piping en heave. De verwachting is dat deze aanpak, met name in gebieden met veel voorland, lagere stijghoogtes oplevert.

2 Aanpak

Het innovatietraject bestaat uit verschillende fases waarbij gebouwd wordt aan het regionale grondwaterstromingsmodel en waarbij de daarmee verkregen informatie/kennis wordt gebruikt om de sterktemodellen te actualiseren. De verschillende deelproducten/fases van het innovatietraject zijn weergegeven in onderstaande figuur: Deelproducten 1 tot en met 4 zijn nu afgerond.

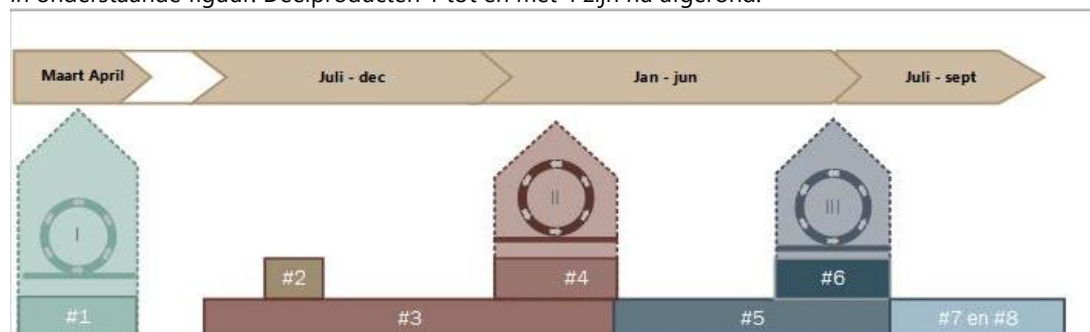


Figure 3: Fases innovatietraject. Afwisseling van onderzoek en toepassing

De onderzoeksactiviteiten borduren op elkaar voort. Gedurende het innovatietraject wordt op drie momenten de beschikbare kennis afgetapt en toegepast in een ontwerp-aanpak ('uitvoerbaarheidstoets'). Dit helpt te bewaken dat de focus blijft liggen op de onderdelen van het onderzoek die in de praktijk het meest nodig zijn. Ook helpt

het een zekere vaart in het onderzoekstraject te houden: een uitvoerbaarheidstoets werkt als een katalysator. Bij elke uitvoerbaarheidstoets staat een andere vraag centraal.

- I. Uitvoerbaarheidstoets Maart 2019: “zit er potentie in deze aanpak”
- II. Uitvoerbaarheidstoets Maart 2020: “Is de aanpak zoals we die voorstellen uitvoerbaar?”
- III. Uitvoerbaarheidstoets Juli 2020: “Wat levert de aanpak op?”

In de onderzoeksfases tussen de drie uitvoerbaarheidstoetsen in wordt een methode ontwikkeld om de karakteristieke waarde voor de stijghoogte vlakdekkend te berekenen. Daarvoor wordt ten eerste voor het gehele projectgebied van Meanderende Maas een geohydrologisch model gebouwd dat geschikt is voor het berekenen van stijghoogtes onder hoogwateromstandigheden. Ten tweede wordt een aanpak ontwikkeld voor het kwantificeren van de onzekerheden rondom de berekende stijghoogtes zodat het past binnen de veiligheidsfilosofie en voldoet aan de eisen die het wettelijk beheer en ontwerpinstrumentarium stelt (BOI). Ten derde wordt voorbereidend werk gedaan om met de vlakdekkend berekende stijghoogtes als input ook de sterkteberekeningen vlakdekkend te kunnen doen.

3 Opbrengst tot nu toe

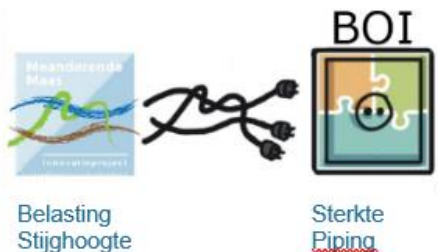
De tussentijdse opbrengst van het innovatieproject bestaat in fysieke vorm uit vier deelproducten:

- Deelproduct 1: Uitvoerbaarheidstoets I
Dit als onderdeel van het PvA bij de subsidie aanvraag aan HWBP
- Deelproduct 2: Deelproduct 2: rapport over de modelbeschrijving (grenstoestandfuncties)
- Deelproduct 3: Methode ontwikkeling kwantificering onzekerheden berekende stijghoogten
Met als zelfstandig leesbare bijlage de rapportage over het Geohydrologische model.
- Deelproduct 4: Uitvoerbaarheidstoets II
Met als zelfstandig leesbare bijlage een notitie “verkenning probabilistische piping analyse”

In deze deelproducten is zo helder mogelijk vastgelegd welke redeneerlijn we volgen, de aannames die we doen en de checks en gevoeligheidsanalyses die zijn uitgevoerd. In dit hoofdstuk beschrijven we de tussentijdse opbrengst in een samenvattend en inhoudelijk verhaal.

3.1 De theoretische basis en de afbakening

In het rivierengebied hebben veel waterkeringbeheerders een forse piping opgave en weinig tot geen stijghoogtemetingen gedurende hoog water. Centrale onderzoeksvraag is hoe je de pipingopgave nauwkeuriger kunt vaststellen door geohydrologische informatie en modellen te gebruiken om stijghoogtes onder maatgevende omstandigheden beter in te schatten. Hiertoe wordt een regionaal grondwaterstromingsmodel gekoppeld aan de reguliere WBI2017/BOI-sterktemodellen voor opbarsten, piping en heave. Of anders gezegd: We concentreren ons op het berekenen van een goede stijghoogte. De sterkte kant van de beoordelings- en ontwerpberoekeningen laten we ongemoeid.



De theoretische basis hiervoor hebben we vastgelegd in de eerste fase van het project (deelproduct 2) en wordt geschetst aan de hand van het faalpad voor piping en de grenstoestandfuncties voor de verschillende deelmechanismen. Grenstoestandfuncties zijn een modelmatige beschrijving van de fysica en vormen de basis voor probabilistische en semi-probabilistische beoordelingen. Bij probabilistische beoordelingen worden grenstoestandfuncties gevoed met de kansverdelingen van de verschillende onzekere modelparameters. Bij semi-

probabilistische beoordelingen worden grenstoestandfuncties gevoed met veilige waarden van de onzekere modelparameters, zg. rekenwaarden.

Het faalpad voor piping ziet er als volgt uit:

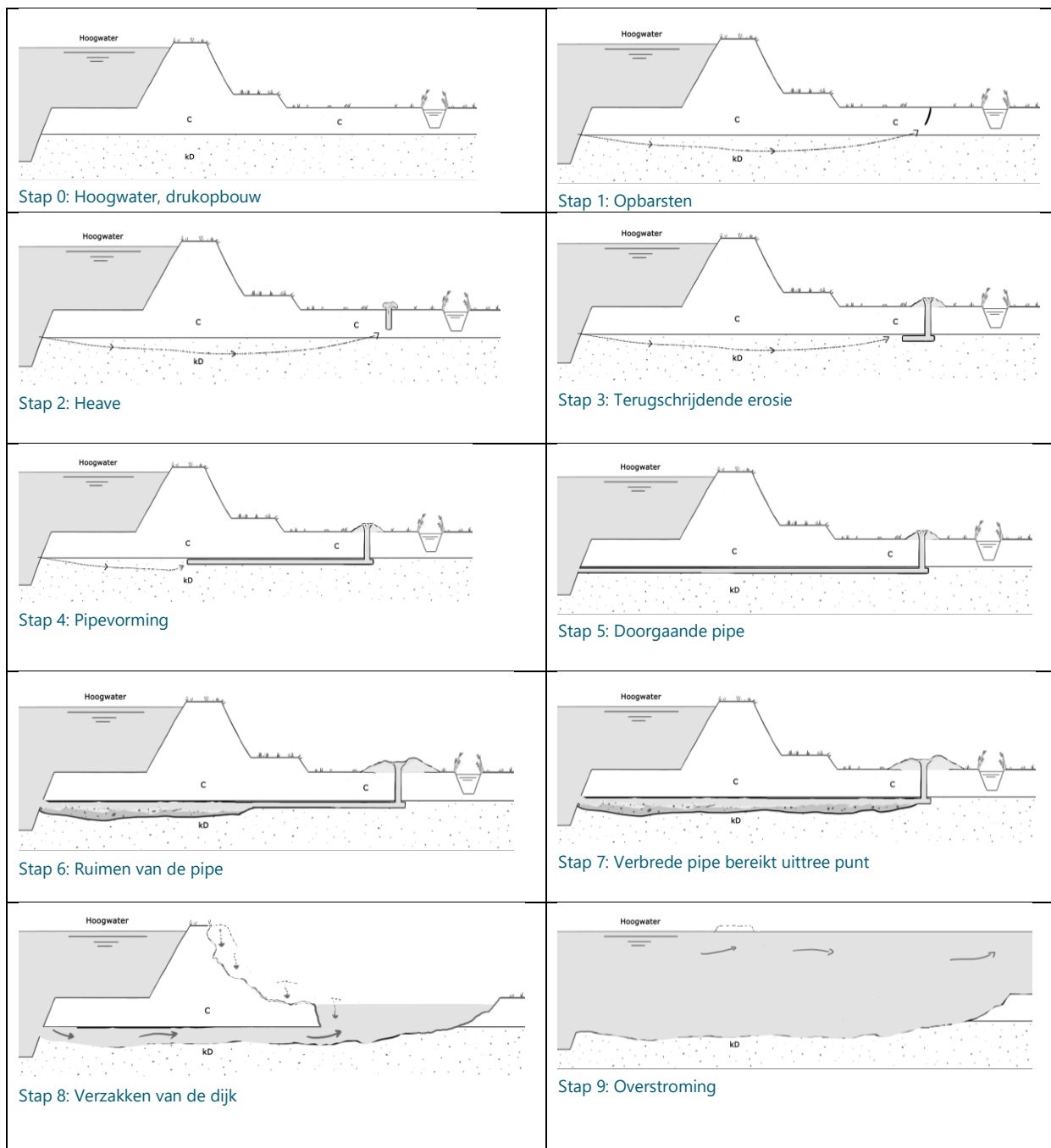


Figure 4: Faalpad voor piping in beeld

De stappen 0 tot en met 3 staan centraal bij de binnen dit innovatieproject ontwikkelde methode. De intrede van rivierwater in een watervoerend pakket en de toename van de druk onder een deklaag (stap 0) kan met een regionaal grondwaterstromingsmodel worden beschreven. Opbarsten, heave en doorgroei van een pipe/overschrijding van het kritieke verval (stappen 1, 2 en 3) kunnen worden gemodelleerd door de combinatie

van een regionaal grondwaterstromingsmodel met de WBI2017-sterktemodellen voor de gedetailleerde beoordeling.²

De koppeling met het WBI2017 wordt inhoudelijk gelegd door te werken met dezelfde grenstoestandfuncties: Bij probabilistische beoordelingen worden grenstoestandfuncties gevoed met de kansverdelingen van de verschillende onzekere modelparameters. Bij semi-probabilistische beoordelingen worden grenstoestandfuncties gevoed met veilige waarden van de onzekere modelparameters, zg. rekenwaarden of karakteristieke waarden.

Voor gedetailleerde beoordeling voor Stabiliteit Piping & Heave (STPH) wordt in het WBI2017 de volgende, samengestelde grenstoestandfunctie gebruikt:

$$Z = \max(Z_{uplift}, Z_{heave}, Z_{pip}) \quad (1)$$

Waarin:

Z_{uplift} Grenstoestandfunctie voor opbarsten; $Z_{uplift} < 0$ betekent het optreden van opbarsten

Z_{heave} Grenstoestandfunctie voor heave; $Z_{heave} < 0$ betekent het optreden van heave

Z_{pip} Grenstoestandfunctie voor piping; $Z_{pip} < 0$ betekent het overschrijden van het kritieke verhang, ofwel: het optreden van een dusdanig verhang dat de pipe kan doorgroeien.

Dit betekent dat alle mechanismen moeten optreden om tot een overstrooming door piping te leiden of, andersom, dat geen overstrooming optreedt als een van de deelmechanismen niet optreedt. De belastingparameter voor deze grenstoestandfuncties is de stijghoogte.

3.2 Karakteristieke waarde van de stijghoogte

Deze stijghoogte is een belangrijke parameter voor het berekenen van de sterkte voor alle sterktemodellen. De stijghoogte vormt dus de "linking pin" tussen de al bestaande (semi-) probabilistische aanpak voor sterkte en de vernieuwde aanpak voor bepalen van de belasting met behulp van regionale grondwatermodellen. Daarom is in de onderzoeksperiode tot en met december 2019 een verbeterd geohydrologisch model gebouwd dat geschikt is voor het berekenen van stijghoogtes tijdens een hoogwater in het projectgebied. In diezelfde periode is een methode ontwikkeld om de onzekerheden in stijghoogten, berekend met het grondwatermodel, te kwantificeren. Dit is onder andere nodig om de karakteristieke waarde (95%-waarde) voor de stijghoogte af te leiden voor gebruik in de sterktemodellen.

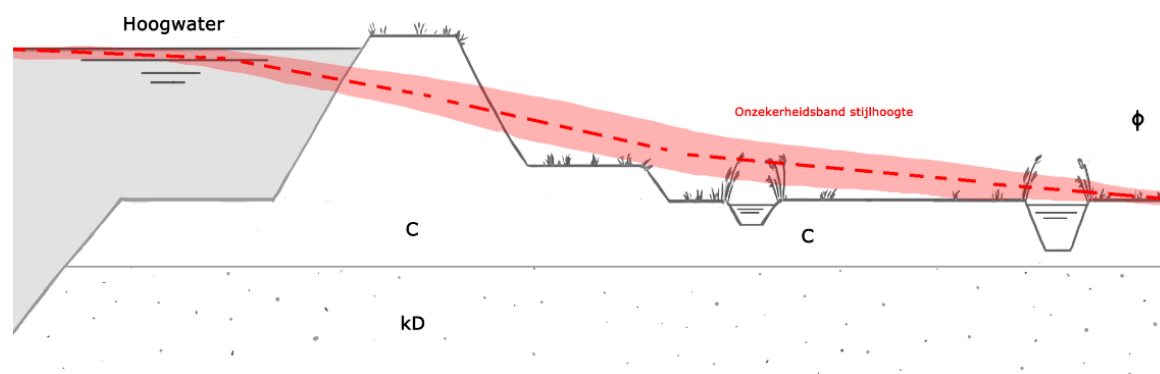


Figure 5: "De sterktemodellen willen weten hoe zeker je bent van de berekende stijghoogte"

Model- en parameteronzekerheden rondom berekening van de stijghoogte zijn met een combinatie van probabilistische analyses en expert judgement ingeschat. Hierbij is ten aanzien van zaken als (on)afhankelijkheid van parameters gewerkt met dezelfde aannamen als die ten grondslag liggen aan de sterktemodellen voor opbarsten en heave uit het WBI2017/BOI.

² Koppeling met complexere modellen (bijv. D-GeoFlow) is uiteraard ook een mogelijkheid. Voor een goed begrip en brede toepasbaarheid wordt echter zoveel mogelijk aangesloten op de relatief eenvoudige rekenregels uit het WBI2017/BOI.

De onzekerheid als gevolg van een groot deel van de parameteronzekerheid is op deze wijze gekwantificeerd. Om ook de modelonzekerheid mee te nemen is als laatste stap de berekende p95 van de stijghoogte uit de basismethode nog met 10 cm verhoogd. Dit levert de karakteristieke waarden van de stijghoogte op voor de sterkteberekeningen. Vergeleken met het BOI heeft deze stijghoogte een lagere verwachtingswaarde en een even grote onzekerheidsband.

3.3 Sterkteberekeningen

In een toepasbaarheidstoets (Toepasbaarheidstoets II, deelproduct 4) is de vlakdekkend berekende p95 van de stijghoogte gebruikt als input voor vlakdekkende sterkteberekeningen. In deze fase gaat het nog niet om de exacte uitkomsten maar om de vraag of de combinatie van geohydrologie (deelproduct 3)+ koppeling met het BOI (deelproduct 2) werkt. Zijn de berekeningen praktisch en binnen redelijke tijd uitvoerbaar en leveren ze stabiele en reproduceerbare uitkomsten op. Daarnaast is belangrijk of een eenvoudige interpretatie van de rekenresultaten mogelijk is.

De stijghoogte uit het regionale grondwaterstromingsmodel vormt de input voor de reguliere sterktemodellen van het Beoordelings- en Ontwerpinstrumentarium(BOI). Om waterveiligheidsspecialisten uit de huidige ontwerp- en beoordelingspraktijk gevoel te geven voor de bruikbaarheid en impact van deze nieuwe aanpak zijn de berekeningen zowel vlakdekkend uitgevoerd als voor individuele dijkdoorsneden (huidige ingenieurspraktijk).

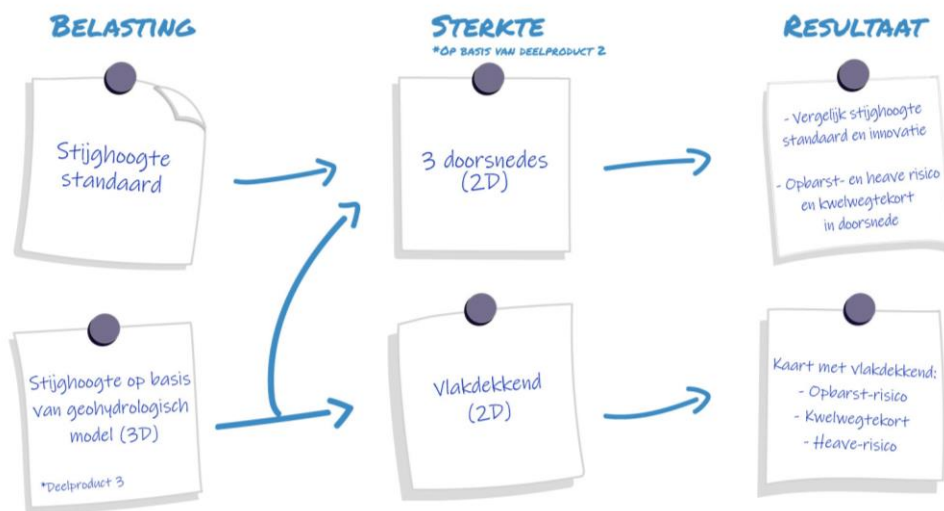


Figure 6; Visualisatie uitvoerbaarheidstoets II

Vlakdekkend is in kaart gebracht waar:

- het opbarst-risico groter is dan de norm vereist;
- het heaverisico te groot is;
- terugschrijdende erosie leidt tot een kwelweglengtetekort.

Steeds is het optredende stijghoogteverschil vergeleken met het kritieke stijghoogteverschil. Het optredende stijghoogteverschil is gelijk aan³:

$$\Delta H = h - h_{exit} - r_c \cdot D_{Deklaag}$$

³ Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2017). Handreiking ontwerpen met overstromingskansen. Veiligheidsfactoren en belastingen bij nieuwe overstromingskansnormen

In het innovatietraject is gekozen om voor de kwelweglengte het voorland niet mee te nemen en voor “h” de stijghoogte bij het intredepunt mee te nemen als bovenstroomse randvoorwaarde in de Sellmeijer-vergelijking. Deze methodiek is uitgewerkt in deelproduct 2 en afgebeeld in onderstaande afbeelding.

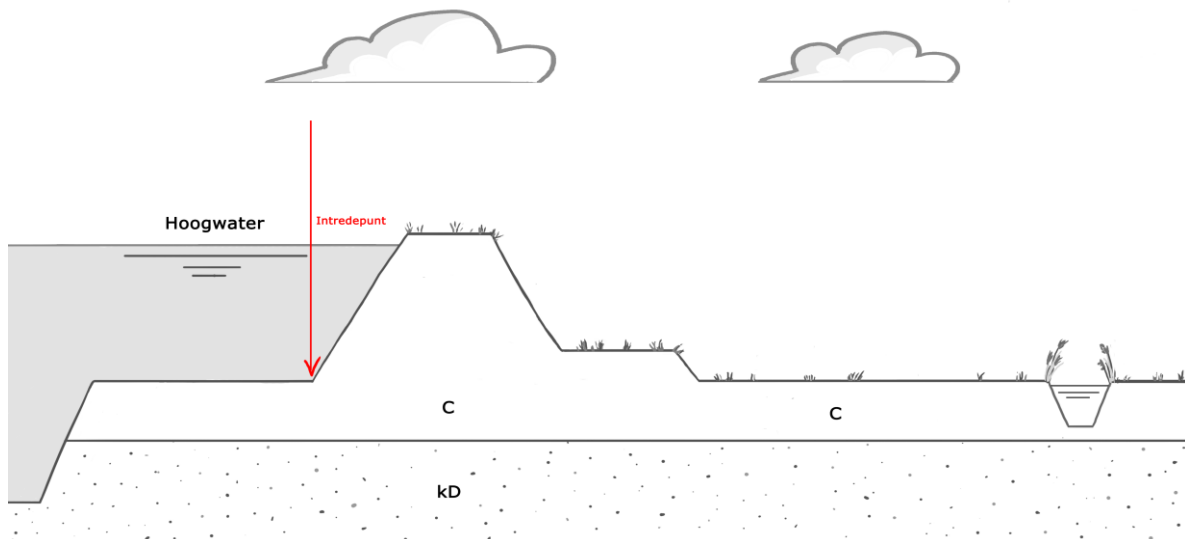


Figure 7: stijghoogte bij intredepunt teen van de dijk in Sellmeijer-vergelijking

Een impressie van de resultaten die dit oplevert:



Figure 8: Opbarstkaart uitvoerbaarheidstoets II

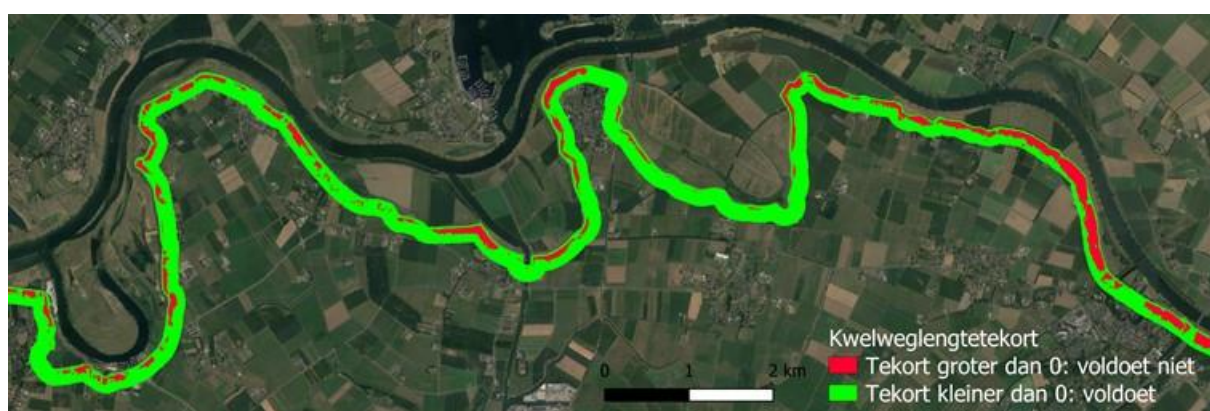


Figure 9: Kaart kwelweglengte tekort uitvoerbaarheidstoets II



Figure 10: Piping ter plekke van 3 doorsnedes

In figuur 9 is voor drie ingezoomde locaties het resultaat weergegeven van de vlakdekkende pipingberekeningen op basis van het regionale grondwaterstromingsmodel. Voor de casus Meanderende Maas blijkt met de innovatieve aanpak de meeste (potentiele) winst te behalen in het deel-faalmechanisme terugschrijdende erosie (Sellmeijer). Opbarsten en heave geeft falen over vrijwel het gehele interessegebied, terwijl ten aanzien van terugschrijdende erosie de kwelweglengtetekorten op veel plekken kleiner zijn dan bij de reguliere werkwijze volgens het Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken (TRWD).

4 Conclusies

We zijn nu halverwege het innovatietraject en de fundamentele vraag kan worden beantwoord: Ja, de aanpak is theoretisch juist en werkt goed in de praktijk:

1. De aanpak zoals we die voorstellen is uitvoerbaar.
2. De koppeling tussen het regionale grondwaterstromingsmodel en sterktemodellen is mogelijk.
3. De methode past in de veiligheidsfilosofie binnen het toepassingsbereik van het BOI.
4. De aanpak levert logische, bruikbare en begrijpelijke resultaten op.

Dit alles biedt goede mogelijkheden om bij het beoordelen en ontwerpen van waterkeringen de pipingopgave preciezer te bepalen. In veel gevallen leidt dit tot een kleinere pipingopgave en de verwachting is dat daardoor voor dijkversterking Meanderende Maas significante besparingen mogelijk zijn.

Ondanks de aanscherpingen die de innovatieve aanpak mogelijk maakt, bevat ze nog steeds enkele conservatieve elementen:

- De wijze van koppelen met de formule van Sellmeijer uit het WBI2017/BOI is conservatief in geval van een niet-stationaire grondwaterstroming.
- De WBI2017/BOI-sterktemodellen omvatten ook bij koppeling aan een grondwaterstromingsmodel slechts een deel van het totale proces tot overstrooming.
- Een volledig probabilistische gevoeligheidsanalyse voor een tweetal doorsnedes laat zien dat de probabilistische aanpak voor de beschouwde doorsnedes lagere (gunstigere) faalkansen oplevert voor alle drie de deelfaalmechanismen. Dit betekent dat de semi-probabilistische aanpak (met de norm-afhankelijke veiligheidsfactoren) een conservatieve aanpak is.

Deze aspecten zijn los van het Innovatietraject op te pakken en zijn bewust niet meegenomen in het Innovatieproject Meanderende Maas. Een duidelijke begrenzing van de scope van het project komt de projectbeheersing ten goede en voorkomt ook dubbelingen. In andere onderzoeken wordt immers reeds gewerkt aan verbeteringen op dit vlak. Inzichten die hieruit voortkomen zitten het idee van innovatieproject Meanderende Maas niet in de weg; ze kunnen te zijner tijd eenvoudig worden meegenomen.

4.1 Potentie en besparing

Conclusies over wat de aanpak aan concrete besparingen oplevert kunnen pas getrokken worden aan het einde van het innovatieproject, tussen juli en september 2020. Hoofddoel van deze tussenrapportage was om aan te geven of het gelukt is een methode te ontwikkelen die werkt (zie H2). Toch wagen we ons in deze paragraaf aan een inschatting door de oogcharen heen.

Als we de afgeronde verkenning voor Meanderende Maas bekijken, en we gaan ervanuit dat het hele pipingprobleem met grondbermen zou worden opgelost, dan is de gemiddelde benodigde breedte van de pipingberm van 75 a 80 meter breed. Met de innovatieve aanpak komen we -uitgaande van dezelfde aannames m.b.t. het intredepunt- op een gemiddeld benodigde pipingberm van 40 meter breed. In beide gevallen is de gemiddelde benodigde pipingberm bepaald door het totale oppervlak aan benodigde pipingberm te delen door de trajectlengte Ravenstein – Lith van 27 km. De gemiddelde bermgrootte neemt ruim 35 meter af en voor deze case is dat bijna een halvering. Dit is dus een heel grove vergelijking, maar hij geeft wel gevoel voor de potentie van de aanpak.

Wat dat betekent voor kostenbesparing hangt af van de uitwerking van de versterkingsmaatregelen. De keuze voor een grondberm of voor een verticale oplossing per dijkvak is van invloed op de omvang van de besparing die je bereikt met de innovatieve aanpak. Ook kunnen er locaties zijn waar het pipingprobleem zo klein geworden is dat de oplossing kan samenvallen met een berm die toch al nodig is vanuit macrostabiliteit, of dat heel andere

oplossingen opeens in beeld komen zoals drainage of werken met de sterkte van het voorland⁴. Aangezien de verwachting is dat er op veel plekken bij de buitenteen van de dijk 2 meter klei ligt.

4.2 Draagvlak voor de werkwijze

Volgende vraag is dan logischerwijs: wil je als waterkering beheerder met deze nieuwe aanpak werken.

Om bijvoorbeeld de aanpak toe te kunnen passen bij de lopende dijkversterking Meanderende Maas is eerst ook inzicht nodig in wat het kwantitatief oplevert, wat organisatorisch nodig is, wat de kans is dat dit een algemeen geaccepteerde aanpak wordt en hoe de aanpak geschikt is om de sterkte te monitoren gedurende de levensduur van de kering (zorgplicht en periodieke beoordeling veiligheid).

- Inhoudelijk zien we een breed vertrouwen in de goede inhoudelijke kwaliteitsborging
- De projectorganisatie van Aa en Maas wil innovatieve aanpak gebruiken in de planfase van dijkversterking Meanderende Maas Ravenstein Lith. (nog wel uitwerking van consequenties nodig, goede besluitvorming intern Aa en Maas en overleg met HWBP over vangnet bij beoordeling over 12 jr)
- HWBP: op 27 maart heeft een inhoudelijke bespreking plaatsgevonden met de begeleidingsgroep vanuit het HWBP en de innovatie coördinator. Daar proefden we een stevig draagvlak: de reacties waren positief en enthousiast.
- Collega beheerders: Bij individuele collega's van waterschappen is veel interesse voor de aanpak. Of dat een goede maat is voor het draagvlak bij hun eigen organisatie moet komende tijd blijken. In april vindt de eerste klankbordbijeenkomst plaats. Een goed moment voor peilen van de reacties en dus van het draagvlak.

4.3 Bijvangst

De aanpak die is ontwikkeld om het hoofddoel van het innovatieproject te bereiken heeft een aantal grote voordelen in zich die we in de praktijk zijn gaan benoemen als "welkome bijvangst". In deze paragraaf beschrijven we de drie belangrijkste voorbeelden hiervan

Met deze nieuwe aanpak is het eenvoudig om vlakdekkende beelden te maken. Deze kaarten helpen om snel en in groepsverband zicht te krijgen in het systeem. Denk aan praktijk en rekentafel, of geohydrologen en geotechnici. Het roept ook allerlei vervolgvragen op en inspireert tot nieuwe gebruiksmogelijkheden, zoals het maken van kaarten voor een historisch hoogwater en het vergelijken daarvan met waarnemingen.

De aanpak biedt een goede basis voor het ontwerpen en het beoordelen van dijken op het faalmechanisme piping: je kunt er -als je het geohydrologische model eenmaal hebt- eenvoudig de effecten op de dijkveiligheid mee bepalen van bijvoorbeeld rivieringrepen en kleiwinning in het uiterwaardengebied.

Tot slot biedt de aanpak een basis voor je meetstrategie (om onzekerheden te verkleinen), je kunt kwantificeren wat een specifieke meetinvestering kan opleveren in verkleining van je onzekerheden en daarmee in aangescherpt beoordelingsresultaat of dijkontwerp.

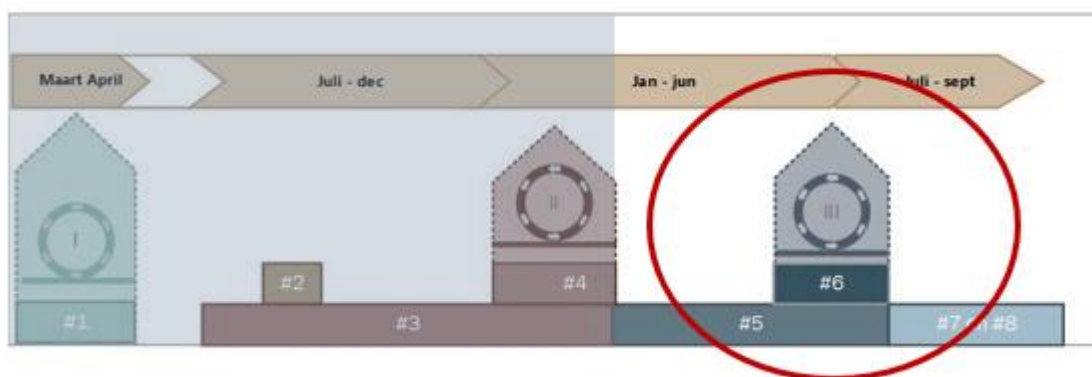
⁴ Met voorlandverbetering wordt hier bedoeld het verlengen van de horizontale kwelweglengte met extra kleilaag voor buitenteen dijk.

5 Aanbevelingen komende fase

Er zijn aanbevelingen gedaan aan drie doelgroepen:

1. Ten eerste voor het projectteam van het innovatieproject gericht op de volgende fase. Dit zijn aanbevelingen die helpen om te komen tot een goede nieuwe methode.
2. Ten tweede voor waterschap Aa en Maas gericht op de projectorganisatie Meanderende Maas of op de beheerorganisatie. Dit zijn aanbevelingen om een betere grip te krijgen op de eigen veiligheidsopgave.
3. Ten derde voor het HWBP en/of voor Rijkswaterstaat (BOI). Dit zijn aanbevelingen over inhoudelijke zaken waar we tegenaan lopen en een mening over hebben maar die niet binnen de scope van het innovatieproject passen.

De aanbevelingen van de eerstgenoemde categorie worden meegenomen bij de uitwerking van de volgende drie deelproducten die zijn voorzien voor de methode ontwikkeling.



- Deelproduct 5: Bijstellen onzekerheden o.b.v. metingen en waarnemingen
Bijstellen onzekerheden opbarsten, piping en heave op basis van ervaringen en metingen op systeemniveau uit het veld. "reliability updating". Uitvoeren aanbevelingen n.a.v. vorige fase. Verwerken nieuwe inzichten in verbeterd grondwatermodel
- Deelproduct 6: rapport uitvoerbaarheidstoets III
Definitief beeld van de toepasbaarheid van de aanpak in de praktijk. Analyses van de concrete besparingen die mogelijk zijn in de vorm van een case study met businesscase voor Meanderende Maas en doorkijk naar programmaniveau HWBP.
- Deelproduct 7: Value of information analyse
Aangeven welke typen gegevensverzameling relatief veel impact hebben op het resultaat van een beoordeling of ontwerp. Praktische tips voor gegevensverzameling

In de komende paragrafen wordt een korte beschrijving gegeven van de aanbevelingen. Uitgebreidere beschrijving is opgenomen in de volledige tussenrapportage.

5.1 Aanbeveling fase III van het Innovatieproject:

Onzekerheden:

- Kwantificeer het effect van geologische fenomenen op de onzekerheid, bepaal het effect van de aangenomen ruimtelijke uniformiteit op de parameteronzekerheid en maak inzichtelijk wat het effect is van opbarsten op de stijghoogte.
- Neem het effect mee van meer onzekere parameters dan de huidige twee. Adviseer over de standaard mee te nemen parameters.
- Kwantificeer modelonzekerheid n.a.v. de opgedane inzichten in de volgende fase.

Geohydrologisch model

- Schematisatie verder actualiseren, daarbij aandacht voor de waterlopen en plassen en voor de deklaagweerstand.

- Kalibratie en validatie: Valideer en kalibreer het model met de beperkte beschikbare metingen (wellenkaart 1995 en grondwatermeetnet sinds 2018) en evalueer of de onzekerheid in parameterverdeling hiermee verder te verkleinen is.
- Kwaliteitsborging: Investeer in extra (collegiale) kwaliteitsborging deels door binnen het team meer te werken met goede collegiale toets en vastlegging, deels door voor de nieuwe onderdelen een review-slag te doen met geohydrologen van TU of Deltares.

Toepassing in de casus Meanderende Maas

- Focus op het deelfaalmechanisme terugschrijdende erosie
- Parametriseer intredelijk nauwkeuriger.
- Kijk of intredelijk verder buitendijks kan liggen (veel winst te behalen).
- Kijk naar stroming onder een hoek (soms veel winst te behalen).
- Hydraulische randvoorwaarden: Neem voor het verloop van de rivierwaterstand dezelfde WBN-golf die vanuit de planstudie gebruikt gaat worden. (Als die op tijd beschikbaar is)
- Maak het praktisch:
 - Checklist maken voor toepassing op andere dijktrajecten: Als iemand al een regionaal grondwatermodel heeft, wat komt er dan bij kijken om het geschikt te maken voor deze aanpak bij de dijkbeoordeling. Met de nadruk op hoe bruikbaar is het grondwatermodel en waar moet je op letten bij het opstellen van een grondwatermodel.
 - Wat leveren metingen op. Hoe dragen metingen bij aan beperken onzekerheden, wat levert onzekerheidsreductie met metingen op. Welke onzekerheden blijven, welke onzekerheden verkleinen bij incidentele gebeurtenis, welke kun je sowieso verkleinen.

5.2 Aanbevelingen voor Ws Aa en Maas, projectorganisatie of beheerorganisatie:

Metingen

Metingen in het algemeen zijn belangrijk om onzekerheden te verkleinen in de geohydrologische opbouw van het gebied (middels o.a. boringen) en de grondwaterrespons op een verandering in de rivierwaterstand (peilbuizen). Als de stijghoogte respons gemeten is kunnen veel onzekerheden verkleind worden, daarvoor is reeds een uitgebreid meetnet ingericht. Op korte termijn kunnen we het meten van deze respons niet afdwingen. Voor methode ontwikkeling zijn deze metingen geen must: we kunnen immers het gebrek aan metingen uitdrukken in een onzekerheidsband. Maar voor een scherper dijkontwerp in de planfase van Meanderende Maas wellicht wel. Daarom zijn aanbeveling gedaan waarmee onzekerheden op korte termijn verkleind kunnen worden. Uitgebreidere beschrijving in de volledige tussenrapportage.

Uitbreiden naar Macrostabieliteit

Er ligt bij Meanderende Maas ook een forse opgave voor macrostabieliteit. Het is zinvol om te onderzoeken hoe de geohydrologische input uit de innovatieve aanpak ook kan worden gebruikt bij de beoordeling en ontwerp op macrostabieliteit. Algemene indruk is dat het niet heel ingewikkeld is dit te verkennen. Maar het valt niet binnen de scope van het innovatieproject dus moet worden meegenomen in het dijkversterkingsproject. Maar als het gelijktijdig loopt kunnen we vanuit innovatieproject en met de CvE wel meedenken. (Check bij HWBP)

Modelinstrumentarium inbedden in beheerorganisatie:

Elke 12 jaar moet er ook weer mee kunnen worden beoordeeld. Houd daarom ook na oplevering het geohydrologisch model levend en houd de juiste expertise in huis. Door de stijghoogte te monitoren kunnen de onzekerheden in het model verkleind worden en kan men signaleren wanneer de huidige situatie veranderd is ten opzichte van daarvoor (door bijvoorbeeld baggeren). Blijf dus meten en neem metingen in de toekomst mee als er een hoogwater is geweest. Instrumentarium leent zich ook goed voor dagelijks gebruik bij vergunningverlening of bij de zorg⁵plicht. Dat zou de zekerste manier zijn om het model levend te houden.

⁵ Er zijn bijvoorbeeld ook kaarten te maken die interessant zijn voor beheer en dijkwachters, met waar zitten waarschijnlijk de zwakste plekken etc.

5.3 Aanbevelingen voor HWBP en of Rijkswaterstaat (BOI):

Er is ook een vergelijking gemaakt met BOI aannames met betrekking tot de te verwachten onzekerheid in het bepalen van een stijghoogte. Daar uit komen aanbevelingen voort gericht op de in het BOI gebruikte VC voor stijghoogte, de impuls responsrelatie die gebruikt wordt voor het bepalen van dempingsfactoren en recent ontwikkelde vuistregels ten aanzien van sterkte van het voorland irt Sellmeijer formule. Uitgebreidere beschrijving in volledige tussenrapportage.

6 Organisatie

6.1 Organisatie

Het project is qua organisatie uitgevoerd conform het plan van aanpak dat de basis vormt voor de subsidieverlening. Toen waren nog niet alle sleutelpersonen bekend, onderstaand dus de namen van de personen en hun rol in de uitvoering van het innovatieproject.

Opdrachtgever	Naam
Namens HWBP	Diederik Bijvoet
Namens Aa en Maas	Fer Kalis

Uitvoerend projectteam:

Rol	Naam
Algemeen PL en omgevingsmanager	Martine Brinkhuis
Inhoudelijk PL en technisch manager	Jacco Hoogewoud
Contract- en projectbeheersing	Start Alexander Pieters, nu Marco Loos
Aa en Maas projectbeheersing	Eline van Vuurden
Aa en Maas beheerder en kennis	Kees Jan Leuvenink
Kernteam	
Data	Heleen Niele
Geotechniek en dijkontwerp	Guido van Rinsum Lisa de Gee
Geohydrologie	Marc Steenvoorden Hendrik Kok Margrietha Bor
Veiligheidsbenadering en probabilistiek	Guido van Rinsum Heleen Niele

Commissie van betrokken experts (CvE):
Ruben Jongejan
Henk van Hemert
Ane Wiersma
Henk Weijers

Schil: collegiale toets en specialisten	
Piping en geohydrologie	Vera van Beek Hendrik Meuwese
Piping en probabilistiek	Wim Kanning
GIS	Johnny Boers
Geologie en onzekerheden	Martin Knotters
Geotechniek en dijkontwerp	Suan Pwa
Relatie met HWBP	Huub de Bruijn
Geohydrologie Aa en Maas	Frank van der Bolt

Externe review (focus op draagvlak)
Goaitske de Vries
Alex Roos
Laura Taal

6.2 Tijdsplanning

De inhoudelijke deelproducten #1 tot en met #8 zullen zijn afgerond eind september 2020. In de maanden daarna wordt de ENW om advies gevraagd en vindt de eindrapportage plaats. We gaan nu onderzoeksfase III in die valt tussen uitvoerbaarheidstoets II en III.



Producten planning

Deelproducten	Concept gereed	Status/planning vrijgave
Deelproduct 1: Kansrijkheid geohydrologische benadering (uitvoerbaarheidstoets I)		Vrijgegeven
Deelproduct 2: rapport over de modelbeschrijving (grenstoestandfuncties)		Vrijgegeven
Deelproduct 3: rapport over de beschrijving en kwantificering onzekerheden		Vrijgegeven
Deelproduct 4: rapport met beschrijving uitvoerbaarheidstoets II		Vrijgegeven
Tussenrapport	31-03-20	Afgerond
Deelproduct 5: Bijstellen onzekerheden o.b.v. metingen en waarnemingen	18-05-20	9-07-20
Deelproduct 6: rapport uitvoerbaarheidstoets III	18-06-20	9-07-20
Deelproduct 7: Value of information analyse	2-09-20	23-09-20
Deelproduct 8: Eindsynthese methode beschrijving	2-09-20	23-09-20
Eindrapportage	13-10-20	30-11-20