

Projectplan Piping op Veldschaal

Versie 2.3

Datum 15-10-2024

Opstellers: WL, RWS, Deltares, HKV, Arcadis

Deze versie dient als basis voor de totstandkoming van de samenwerking tussen de betrokken partijen en als onderbouwing voor de subsidieaanvraag aan het HWBP in oktober 2024.

Ten opzichte van voorgaande versies is de doelstelling van de Verkenningsfase en het proces rond de Go-NoGo beslissing aan het einde van de Verkenning aangescherpt (m.n. Hoofdstuk 10) naar aanleiding van feedback van het HWBP, en zijn de overige onderdelen geactualiseerd.



Opgekiste zandmeevoerende wel in Hongarije. Foto: L. Nagy

Inhoud

Voorwoord.....	3
1 Aanleiding en urgentie.....	4
2 Impact en toepassingsbereik	5
3 Relatie met andere kennisontwikkelingen.....	7
4 Doelen.....	8
5 Aanpak en werkpakketten.....	9
5.1 Go/No-Go momenten.....	11
6 Organisatie & Communicatie	13
6.1 Organisatiestructuur	13
6.2 Communicatie.....	15
7 Raming en financiering	16
8 Planning	17
9 Risico's.....	18
9.1 Borging kennis.....	19
10 Plan van Aanpak Werkpakket 1, de Verkenningsfase	20
10.1 Doel.....	20
10.2 Activiteiten per onderdeel.....	20
10.3 Producten Verkenningsfase	26
10.4 Kostenraming Verkenningsfase.....	26
10.5 Planning Werkpakket 1, de verkenningsfase.....	27
10.6 Risicodossier werkpakket 1, de verkenningsfase	28

Voorwoord

Het voorliggende onderzoeksplan heeft als hoofddoel het kwantificeren van schaal- en 3D-effecten op het pipingproces bij dijken en het verwerken van deze inzichten in handvatten voor beoordelen en ontwerpen. Gestart wordt met een verkenningsfase (Werkpakket 1) dat als doel heeft om het probleem nader te verkennen, te onderzoeken welke veldsituaties het meest relevant zijn om rekening te houden met schaal- en 3D-effecten, maar ook om vast te stellen *of*, en zo ja, *hoe* nieuwe kennis leidt tot een ander handelingsperspectief in de praktijk.

Na deze fase volgt een Go/NoGo moment waarin wordt besloten of 1) nader onderzoek relevant is en 2) of kosten/inspanningen van nader onderzoek opwegen tegen de verwachte impact op de maatregelen in het HWBP-programma. Bij een beslissing om het onderzoek voort te zetten, wordt een gedetailleerder Plan van Aanpak voor navolgende werkpakketten opgesteld.

Met dit projectplan vragen wij subsidie aan bij het HWBP voor *alleen* de verkenningsfase en dus (nog) niet voor het gehele project. Mocht na het Go/No-Go moment besloten worden om de rest van het project ook uit te voeren, dan zal een aanvullende subsidieaanvraag ingediend worden voor de overige werkpakketten.

1 Aanleiding en urgentie

Schaal- en 3D-effecten in het faalmechanisme piping worden op dit moment onvoldoende meegenomen in de analyse van overstromingskansen. Afhankelijk van de lokale situatie kan dit in geheel Nederland tot een onder- of overschatting van de overstromingskansen leiden. De consequenties hiervan voor HWBP-projecten zijn onduidelijk. Dit leidt tot onzekerheid over de opgave van het HWBP, terwijl een stabiele opgave gewenst is. Een belangrijke vraag is in hoeverre deze kennisleemte leidt tot verkeerde investeringen in waterveiligheid en hoe we dit kunnen verbeteren: bieden de keringen voldoende weerstand tegen overstromingen, worden de goede maatregelen gekozen of is er sprake van onder- of overinvesteringen? Het hoofddoel van dit innovatievoorstel is om voor 3D-situaties op veldschaal te komen tot een nieuw veiligheidstoepassingsraamwerk, dat aansluit bij de behoefte van de praktijk bij het beoordelen en ontwerpen van waterkeringen.

De weerstand tegen piping neemt toe met een toenemende kwelweglengte. Dit zogenaamde schaafeffect speelt een belangrijke rol in de vertaling van de sterkte in lab-experimenten met kwelweglengtes in de orde van 0.3-1.5 m naar echte dijken van tientallen meters breed. Recente onderzoeken¹ laten zien dat verschillende modellen grote verschillen in schaafeffecten geven, en daarmee zeer grote verschillen in dijksterkte op veldschaal, ook al voorspellen ze lab-experimenten goed. Deze onzekerheden worden nog groter bij 3D-pipingmodellen die nodig zijn om te rekenen aan de veelvoorkomende 3D situatie van geconcentreerde grondwaterstroming naar een wel. De praktijk is dat er met een 2D-model wordt gewerkt, waardoor in bepaalde situaties 3D-effecten tot grote onzekerheden leiden. Voor 2D-situaties op IJkdijkschaal (kwelweglengte 15 m) en Deltagootschaal (6-12 m) zijn de schaafeffecten beschouwd en meegenomen in rekenmodellen. De beschikbare series experimenten zijn echter niet toereikend voor validatie van het schaafeffect in 3D-situaties en er is nog discussie of de rivierdijkschaal goed door de huidige modellen wordt gerepresenteerd. Met name grote schaalproeven met relevante metingen van onderliggende processen en vaste verhoudingen tussen lengte, breedte en dikte van het zandpakket ontbreken.

Effecten van schaal en 3D stroming worden vaak samen genoemd. Het effect van schaal is voor een 2D situatie (stroming naar een patroon van pipes) al eerder onderzocht alhoewel niet op rivierdijkschaal. Met name situaties waarin een enkele pipe kan ontstaan (3D situaties) leveren onzekerheden op in beoordeling en ontwerp. Voor deze situaties is geen onderbouwing op grotere schaal beschikbaar en is extrapolatie van modellen onzeker.

Naast genoemde schaal- en 3D-effecten hebben in Limburg mogelijk enkele andere aspecten, zoals grof zand en grind, zeer doorlatend, turbulentie, diffuse kwel en suffosie impact op het pipingproces. Ook deze aspecten laten zich het beste onderzoeken in een wat grotere modelopzet en daarom is het voorgestelde onderzoek naar schaal- en 3D-effecten een uitgelezen kans voor het meekoppelen van de Limburgse situatie. Het is namelijk van belang om alle onzekerheden in relatie tot elkaar te beschouwen, waardoor de toepassing en verzilvering van nieuwe kennis over piping in versterkingsprojecten in heel Nederland mogelijk wordt.

¹ O.a. artikel Gijs Hoffmans over Shields-Darcy model, ENW-advies Shields-Darcy, Deltares Kennis voor Keringen onderzoek 3D modellering, PhD thesis Joost Pol.

2 Impact en toepassingsbereik

Schaal- en 3D-effecten vormen generiek gezien een van de grootste onzekerheden bij het beoordelen van en versterken voor piping. Deze effecten zijn van toepassing op alle locaties in binnen- en buitenland met een pipingopgave (honderden kilometers dijk in Nederland). De onzekerheid speelt niet alleen bij beoordeling en ontwerp een rol, maar ook bij het kiezen van geschikte maatregelen, zoals berm- of heaveschermen.

Voor Limburg kan de afwijkende ondergrond tot andere processen leiden dan in de huidige rekenmodellen wordt aangenomen (bijvoorbeeld turbulente stroming in de pipes, veel diffuse kwel naar achterland, andere vormen van erosie zoals contacterosie / suffosie / deep piping). Hierdoor zijn de schaal- en 3D-effecten in die situaties mogelijk anders dan in de rest van Nederland. Om de voor te stellen aanpak voor het omgaan met schaal- en 3D-effecten voor heel Nederland te laten gelden, is het daarom belangrijk om de impact van mogelijke afwijkende pipingprocessen in Limburg op deze effecten te kennen. De inzichten kunnen ook toegepast worden op delen van het bovenrivierengebied en de Duitse delen van de dijkeringen 42 en 48 langs de Rijn, die van grote invloed zijn op het overstromingsrisico van de Nederlandse gebieden.

Business Case

Het onderzoek naar schaal- en 3D-effecten zal leiden tot handvatten (en mogelijk ook een verbetering van modellen en rekenregels) waarmee een meer realistische en betrouwbaardere inschatting van de sterkte tegen piping, en daarmee een stabielere scope van projecten kan worden gemaakt. Dit geldt voor pipingopgaves in heel Nederland (honderden kilometers dijk). Minder onzekerheid leidt in het algemeen tot een lagere risico-post en tot besparingen, maar het is niet uitgesloten dat in sommige situaties een meer realistische inschatting zal leiden tot een grotere overstromingskans. Dit zal met name gelden voor situaties met een sterk 3D-effect met een enkel uittredepunt en een gesloten achterland. Het gecombineerde effect van het beter meenemen van schaal- en 3D-effecten zal daarom per situatie anders zijn en is op voorhand niet te bepalen. Aangezien de kosten voor het versterken van dijken erg hoog zijn, zal een verkleining van de pipingopgave met enkele kilometers al genoeg zijn voor een positieve business case. De impact van het recent uitgevoerde HWBP-pipingproject *Piping in Getijdenzand* op het BOI heeft bijvoorbeeld al tot tientallen miljoenen euro's aan versterkingen bespaard en de besparing zal naar verwachting oplopen tot ruim boven de 150 miljoen euro.

Het onderzoek leidt daarnaast tot nadere inzichten van het pipingproces in grof en gegradeerd zand en de invloed van sterke afstroming naar het achterland. De verwachting bestaat dat het meenemen van deze aspecten leidt tot een kleinere pipingopgave. Bij het HWBP-project van Thorn is nu over de gehele lengte van ruim 4 km sprake van een pipingopgave waarvoor is voorzien dat deze met heaveschermen wordt opgelost (inzichten in 3D-effecten leidt ook voor heaveschermen tot een betrouwbaarder ontwerp). Dit alleen al resulteert in een kostenpost van 4 miljoen euro. Verkennende studies laten zien dat extra sterkte door gegradeerd zand de potentie heeft om de gehele pipingopgave weg te nemen, waarmee de kosten van onderhavig onderzoeksvoorstel al vrijwel gedekt zouden zijn. Een tweede voorbeeld is het HWBP-project Zuidelijk Maasdal (normtrajecten 90-1 t/m 95-1) waarin op grote strekkingen sprake is van een pipingopgave. De kennis uit dit innovatieproject biedt de potentie om de pipingopgave sterk te reduceren of zelfs volledig weg te nemen. De inzichten uit deze studie zullen ook bijdragen aan het (gedeeltelijk) oplossen en betrouwbaarder inschatten van de pipingopgave bij overige HWBP-projecten van Waterschap Limburg (en o.a. ook bij Waterschap Rijn en IJssel en Waterschap Rivierenland).

Tenslotte helpt inzicht in schaafeffecten om andere onzekerheden te duiden bijvoorbeeld: heterogeniteit, tijdsafhankelijkheid, en invloed van de fijne fractie. De investering in dit innovatieproject zal indirect ook bijdragen aan inzicht in die onzekerheden. Dit effect (in termen van financiële baten) is nu niet nader inzichtelijk te maken maar draagt bij aan een betrouwbaarder inschatting van de overstromingskans. De verwachting is dat het onderzoek naar deze aspecten een positief effect heeft.

Kortom, het onderzoek leidt tot een stabielere scope met minder onzekerheden, en heeft daarnaast meerwaarde voor duiding van een aantal andere onzekerheden rond piping. Naar verwachting zullen hiermee de baten de kosten sterk overstijgen.

3 Relatie met andere kennisontwikkelingen

Context Nationaal

Tot op heden is veel onderzoek gedaan naar piping, zowel aan het pipingproces, de rekenregels en de ontwerpkant (maatregelen). Ook nu nog lopen er diverse pipingonderzoeken. Een overzicht van lopende onderzoeken en kennisleemtes is bijvoorbeeld te vinden in de Rode Draden Piping (laatste update maart 2022).

Onderzoeken die een directe link hebben met dit voorstel zijn:

- 2014-2015: Deltares/UGent proeven met 3D-configuratie tonen aan dat piping zich in 3D-situaties anders gedraagt dan in 2D-situaties en dat de kritieke vervallen lager zijn; ontwikkeling eerste 3D-model DgFlow bij Deltares.
- 2019-2023: RWS/Deltares Kennis voor Keringen (KvK) onderzoek naar 3D-effecten bij piping (m.n. inventarisatie en modelstudies) laat zien dat de leklengte van het achterland grote invloed heeft op schaafeffecten, en dat er onvoldoende proeven zijn voor validatie van 3D-modellen.
- Recente PhD onderzoeken (B.A. Robbins, J.C. Pol, W.J. Dirks) laten beperkingen zien van de huidige 3D-modellen. Lopende PhD onderzoeken (Lisa van der Linde, Manuel Wewer) richten zich op verbetering van onderdelen van de 3D-modellering.
- NWO onderzoeksvoorstellen "Micro to Macro" en "PERSIMMON" (beide nog niet gehonoreerd) betreffen fundamenteel onderzoek dat bruikbaar kan zijn voor de praktische onderzoeken in dit voorstel.
- Inzet van het Decision Support Framework (DSF) voor piping via De Innovatieversneller in projecten laat zien dat 3D-aspecten een van de grootste onzekerheden is voor de opgave.
- Eind 2023 is binnen KvK een strategie geformuleerd voor onderzoek naar 3D aspecten van piping (Deltares, HKV). Dit K&I voorstel is afgestemd op die strategie.

Het voorgestelde onderzoek biedt ook kansen voor de onderzoeksprojecten zoals genoemd in bovenstaande lijst. Bijvoorbeeld door bij de proeven ruimte te bieden voor onderdelen van deze onderzoeken (zoals het 3D-onderzoek van RWS-KvK, en het TU-Delft NWO voorstel PERSIMMON, dat ondermeer beoogt proeven te doen voor akoestische detectie van het optreden van piping). Zo nodig wordt daartoe ook afgestemd met internationale onderzoeksprojecten (bijv. LifeSANDboil, zie: www.lifesandboil.eu). Let wel, eventuele inbreng van onderzoeksonderdelen door 'derden' is voor eigen rekening.

RWS heeft in 2023 een zogenaamd Decision Support Framework (DSF) opgesteld met daarin een overzicht met factsheets per kennisleemte, waarin de status van beschikbare kennis over de issues, en (dijk-) kenmerken die van invloed zijn op de potentiële impact van de kennisleemte op de berekende faalkans worden beschreven. Ontwikkelde inzichten in dit onderzoek kunnen eenvoudig worden overgenomen in dit DSF en zullen op die manier worden toegepast in de adviespraktijk (bijvoorbeeld ter ondersteuning van de werkateliers).

Context Limburg

Het onderzoek naar schaal- en 3D-effecten is relevant voor heel Nederland. Bij de uitwerking van het onderzoek houden we ook rekening met belangrijke lokale factoren, zoals:

- een watervoerend pakket met grof zand en/of grind (buiten bereik Sellmeijer) inclusief brede gradering en overgang van laminaire naar turbulente stroming;
- meerlaagsheid van het watervoerend pakket: fijn zand op grof zand / grind;
- doorlatende deklaag in het achterland leidend tot diffuse kwel (relevant voor grondwaterstroming naar de wel en daarmee het 3D effect).

Deze factoren zijn van groot belang voor de Limburgse situatie, maar ook relevant in andere delen van het bovenrivierengebied. In de Rode Draden wordt de specifieke situatie van het bovenrivierengebied / Limburg herhaaldelijk als kennisleemte en ook in de prioritering genoemd. De *meekoppeling* van de 'Limburgse situatie' aan het grootschalig onderzoek biedt de mogelijkheid om tegelijk deze kennisvragen te onderzoeken, zodat de resultaten nog kunnen worden betrokken in de lopende en aanstaande dijkversterkingsprojecten van onder andere waterschap Limburg.

4 Doelen

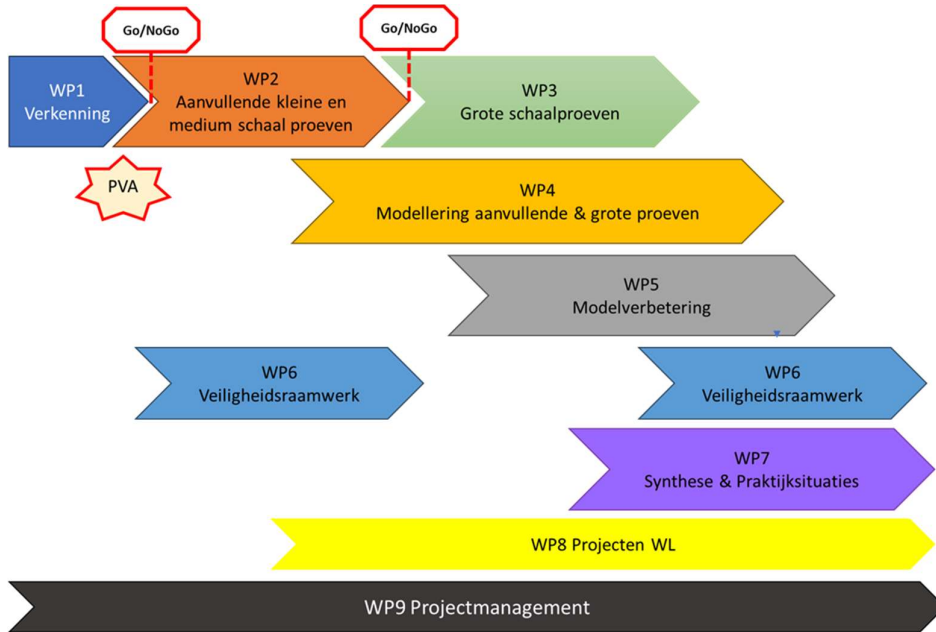
Het hoofddoel van dit innovatievoorstel is om voor 3D-situaties op veldschaal te komen tot een handvatten die aansluiten bij de behoefte van de praktijk bij het beoordelen en ontwerpen van waterkeringen.

Dit is onder te verdelen in verschillende subdoelen:

1. Het vaststellen en kwantificeren van de grootte van schaal- en 3D-effecten voor verschillende veldsituaties, waarbij gevarieerd wordt met zowel de geohydrologische eigenschappen (doorlatendheid en geometrische kenmerken van de lokale situatie) als met de korreleigenschappen.
2. Het karakteriseren en kwantificeren van het erosieproces in grof zand en grind, met specifieke aandacht voor de geohydrologische situatie in Limburg en vergelijkbare situaties elders in binnen- en buitenland.
3. Het afleiden van een aanpak en het bieden van handvatten (bestaande uit fenomenologische inzichten en rekenregels) voor zowel het omgaan met schaal- en 3D-effecten als de aanwezigheid van grof materiaal bij het bepalen van de kans op piping bij dijken.

5 Aanpak en werkpakketten

De activiteiten in het gehele project zoals we die op dit moment voorzien zijn opgedeeld in een aantal werkpakketten die nauw op elkaar aansluiten en als samenhangende deelprojecten uitgevoerd worden, zie onderstaande figuur.



Figuur 1: Werkpakketten

Om het hoofddoel van het project te behalen is het essentieel dat juiste (werk)hypothesen opgesteld kunnen worden, onderzocht en getoetst. Het definiëren van de benodigde stappen is momenteel nog niet in detail mogelijk, omdat er nog onvoldoende inzicht is in welke factoren en processen het meeste invloed hebben op de sterkte op veldschaal en daarmee aan welke technische eisen het onderzoek moet voldoen. Daarom is een knip gelegd tussen de Verkenning (WP1) en de uitwerking van de andere werkpakketten.

Relatie Verkenning en vervolgstappen

N.B. de voorgestelde invulling van onderstaande werkpakketten WP2-WP is gebaseerd op de meest recente kennis en inzichten over schaalears en 3D-effecten. Hoewel de huidige verwachting van de experts binnen het team is dat er grote schaalproeven nodig zijn om de doelstelling van het onderzoek te halen, wordt dit pas aan het eind van de Verkenning definitief vastgesteld. Na de Verkenning zijn de inzichten aangescherpt, en op basis daarvan wordt besloten over het vervolg: wat is er nodig om tot een handelingsperspectief te komen? Is er noodzaak voor extra proeven, en zo ja, wat zijn de aantallen en soort proeven die nodig zijn? Is het vervolg de kosten en inspanning waard (business case)?

Het doel van de activiteiten binnen werkpakket 1 (WP1 Verkenning) is dan ook om het probleem te verkennen, te onderzoeken welke veldsituaties het meest relevant zijn om rekening te houden met 3D- en schaalears, maar ook om vast te stellen *of*, en zo ja, *hoe* nieuwe kennis leidt tot een ander handelingsperspectief in de praktijk. Op basis van deze informatie wordt besloten om *of* verder te gaan met WP2-WP8 en daarvoor een gedetailleerd Plan van Aanpak op te stellen *of* om het project af te ronden binnen WP1 met het implementeren van de reeds opgedane kennis. Om voldoende informatie te hebben om deze beslissing te nemen is de Verkenningsfase uitgebreid opgezet.

De Verkenningfase is nader uitgewerkt in het hoofdstuk 'Plan van Aanpak Werkpakket 1' (zie hoofdstuk 10). Hoewel werkpakketten 2 tot en met 8 alleen zullen worden uitgevoerd na een 'Go'-beslissing na de Verkenningfase, wordt de voorziene inhoud van de pakketten hieronder reeds geschetst om het HWBP een beeld te geven van mogelijke werkzaamheden.

De experimenten (WP2 en WP3) bestaan uit een reeks aanvullende proeven, ondermeer met geconcentreerde uitstroom naar een wel (3D) op kleine, medium, en grote schaal. Deze werkzaamheden zijn gesplitst in twee pakketten zodat de precieze invulling van de grote schaalproeven afgestemd kan worden op de uitkomsten van de kleine/medium schaalproeven. In de kleine/medium proeven wordt de invloed van factoren die op basis van de Verkenning belangrijk blijken te zijn, nader gekwantificeerd. De exacte specificaties en opbouw van de kleine/medium schaalproeven worden in de verkenningfase bepaald (zie bovenstaande) na een eventuele 'Go'.

De eventueel benodigde grote schaalproeven dienen ter validatie van de theorievorming die met de kleine- en mediumschaalproeven is onderbouwd. Opties voor grote schaalproeven zijn: [1] uniform fijn zand, [2] uniform grof zand (dat net buiten het formele toepassingsbereik van de huidige Sellmeijer formule ligt), [3] zandig grind, [4] of proeven met een ander type afstroming naar het achterland. Deze keuze betekent dat over de minder belangrijke aspecten die niet op grote schaal worden beproefd, ook minder sterke conclusies kunnen worden getrokken. Op dit moment gaan we uit van een grote schaalproef onder gecontroleerde condities (geen veldproef met natuurlijke ondergrond), maar dit kan op basis van de verkenning nog wijzigen, indien blijkt dat dit niet de beste manier is voor het onderzoeken van schaaffecten voor piping.

Belangrijk is dat uitgebreider dan voorheen gemeten wordt aan de stroming in de pipe (debiet, geometrie, etc.) om onderliggende processen te duiden en modellen beter te kunnen valideren. Door deze processen te meten wordt ook een basis met waardevolle informatie gelegd, zodat flankerende onderzoeken (K&I, KvK, universitair onderzoek, afgestudeerden) gebruik kunnen maken van de data uit deze studie. De omvang van die onderzoeken is vaak onvoldoende voor het uitvoeren van grootschalige proeven, hoewel die van groot belang zijn voor modelvalidatie.

De werkpakketten voor modellering en veiligheidsfilosofie (WP4, WP5, WP6) hebben een verschillende focus. We gebruiken hiervoor een numeriek (3D) pipingmodel (bijvoorbeeld DgFlow in het Kratos open source pakket of andere modellen indien nodig). WP4 richt zich op validatie van het meest actuele onderzoeksmodel met de data uit de proeven. Dit gebeurt in nauwe samenhang met WP5, waarin het onderzoeksmodel wordt verbeterd. Benodigde modelverbeteringen in WP5 volgen onder andere uit resultaten van WP4. Dit gebeurt in verschillende iteraties, waarin de overeenkomst tussen model en proeven steeds verbeterd. In WP6 wordt het veiligheidsraamwerk ontwikkeld. Hierbij wordt opgemerkt dat er gedurende het gehele project afstemmingsmomenten zijn voor inpassing in de veiligheidsfilosofie en het tussentijds beschikbaar stellen van ontwikkelde kennis voor toepassing in beoordelingen en versterkingsprojecten. In de verkenningfase richten inventarisaties en berekeningen zich op de afbakening van het onderzoek, zodat duidelijk is hoe het onderzoek kan bijdragen aan een stabielere scope.

In de synthese (WP7) worden de resultaten vertaald in een aanscherping/aanpassing van het veiligheidsraamwerk zoals opgesteld in WP1 en wordt dit raamwerk getoets door toe te passen in cases, bij voorkeur door verschillende waterschappen. In WP7 worden ook berekeningen uitgevoerd voor het kritiek verval in uiteenlopende veldcondities (geïdealiseerde schematiseringen en praktijksituaties c.q. projecten), op basis van het verbeterde onderzoeksmodel uit WP5 (indien

dit voldoende betrouwbaar is). Hierbij wordt ook de invloed van geohydrologische factoren zoals zand op grind en afstroming naar het achterland gemodelleerd. Een onderdeel van de synthese zal ook bestaan uit het schrijven van (wetenschappelijke) artikelen, om de impact zo groot mogelijk te maken.

Werkpakket 8 (WP8) omvat de werkzaamheden vanuit de projecten van Waterschap Limburg, gelieerd aan het onderzoek. De beoordeling van keringen, het doen en verzamelen van grondonderzoek als input voor de modelopzet van de specifieke situaties en het ontwerpen van dijkversterkingen.

Werkpakket 9 (WP 9) is het projectmanagement voor het onderzoeksproject als geheel.

In het eventuele plan van aanpak voor WP2-8 zullen wederom herijkingsmomenten (Go/No-Go momenten) gedefinieerd worden net zoals nu aan het einde van de verkenning (WP1). Zowel in de werkpakketten zelf als bij de overgangen daartussen.

WP	Werkzaamheden
WP 1	Verkenning. Karakteriseren veldsituaties, literatuurstudies, verkennende kleine/medium schaalproeven, modellering van experimenten, opstellen eerste hypothese voor nieuw veiligheidsraamwerk, consequentie-analyse, opstellen synthese document en advies go/no-go, bij een Go het opstellen van een PvA voor het vervolg.
WP 2	Aanvullende experimenten kleine en medium schaal. Ontwerp, uitvoering, data-analyse.
WP 3	Experimenten grote schaal. Ontwerp, bouw, uitvoering, data-analyse.
WP 4	Aanvullende modellering experimenten (postdictie). Twee fasen: na klein/medium en na grote schaalproeven.
WP 5	Modelverbeteringen. Oplossen bekende numerieke problemen van 3D pipingmodellen, geldigheidsgebied van de modellen uitbreiden door toevoegen fysica (bijvoorbeeld turbulentie) afhankelijk van observaties in proeven. Twee fasen: na klein/medium en na grote schaalproeven.
WP 6	Ontwikkelen van veiligheidsraamwerk.
WP 7	Synthese & praktijksituaties. Afleiden handvatten bijvoorbeeld een vereenvoudigde rekenregel, inpassing in veiligheidsfilosofie, opstellen synthesesrapport met handreiking voor ontwerp. Modellering praktijksituaties (inclusief invloed schaal, achterland, meerlaagsheid) + verkenning impact heterogeniteit.
WP 8	Projecten WL. Het HWBP-programma van waterschap Limburg levert input aan het onderzoek en tapt resultaten of voor direct gebruik en verificatie in de projecten.
WP 9	Projectmanagement.

5.1 Go/No-Go momenten

Er zijn twee Go/No-Go momenten voorzien binnen het project: aan het eind van de Verkenning (G1) en voor de start van de grote schaalproeven (G2). Het besluit G1 ligt bij het programmabestuur HWBP o.b.v. advies van het kaderteam, het besluit G2 om al dan niet door te gaan ligt bij het BGT HWBP o.b.v. advies van het kaderteam.

Op moment G1 na de Verkenning wordt besloten of en hoe het project wordt voortgezet. Criteria op basis waarvan besloten wordt om na de Verkenningsfase te stoppen zijn:

- C1: Vervolgonderzoek om onzekerheden voldoende te verkleinen is dermate kostbaar dat dit ongewenst is (negatieve business case, budgettaire limiet).
- C2: Er is geen vertrouwen bij de expertgroep dat voortzetting van het onderzoek projecten helpt in het aanscherpen en beter duiden van hun opgave.
- C3: De verkennende proeven en modellering tonen, tegen de verwachting in, aan dat er geen schaaffect en 3D effect is op veldschaal.

Verder zijn er criteria om *onderdelen* uit de werkpakketten niet uit te werken binnen het vervolg van het onderzoeksproject:

- C4: onderdeel suffosieproeven niet uitvoeren als uit literatuurstudie (1.2.5) en impactanalyse (1.5.1) blijkt dat het een verwaarloosbare bijdrage heeft aan overstromingskansen in Nederland.
- C5: onderdeel turbulentiemodellering in DgFlow niet uitvoeren als uit literatuurstudie (1.2.3) en impactanalyse (1.5.2) blijkt dat turbulentie bij de relevante schalen en ondergrondcondities in Nederland niet te verwachten is of geen significante impact op overstromingskans heeft.
- C6: onderdeel alternatieve numerieke methodes in DgFlow implementeren niet uitvoeren als a) uit 1.4.3 blijkt dat het weinig impact heeft op de resultaten, of b) het nodig is om gebruik te maken van een ander model dan DgFlow.

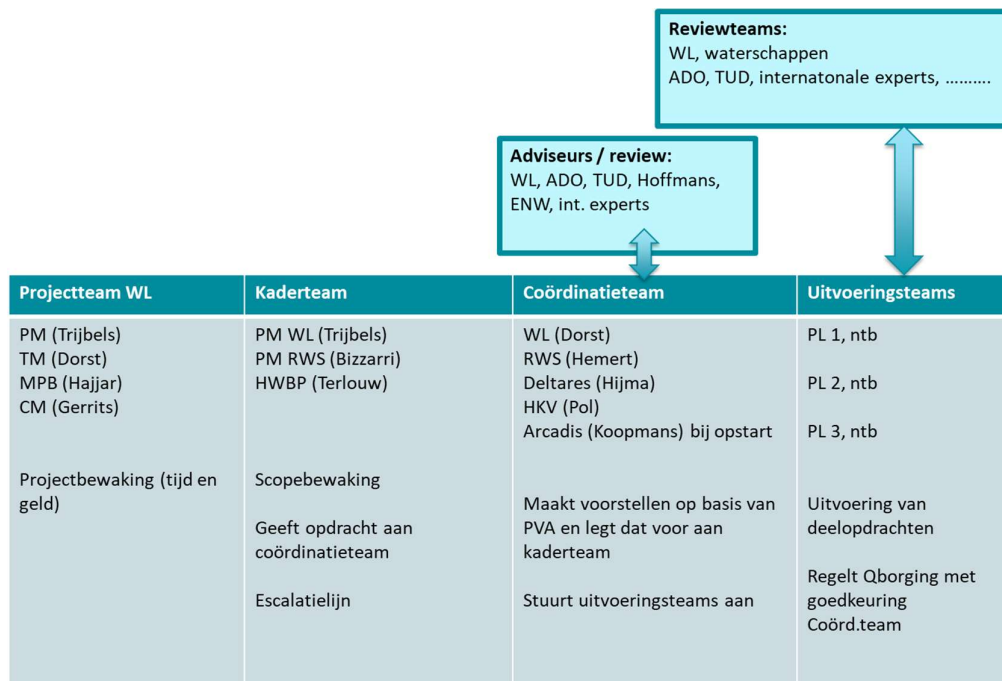
Voor Go/No-Go moment G2 gelden ook de criteria C1-C3, maar op dat moment zijn er al resultaten beschikbaar van de aanvullende kleine- en mediumschaalproeven die aanleiding kunnen zijn voor een heroverweging van de Go/No-Go beslissing.

6 Organisatie & Communicatie

6.1 Organisatiestructuur

De organisatie van het project is weergegeven in onderstaande figuur. De organisatie kent drie lagen:

- Kaderstellende laag die vanuit de hogere doelen de kaders vaststelt of bijstelt op basis van voortgang en belangenafweging. Naast het bepalen van kaders geeft deze laag advies over de go / no go momenten G1 en G2. Het **kaderteam** bewaakt niet door kennis te nemen van de voortgang, maar door expliciet de resultaten te accorderen na elke stap. De resultaten zijn gereviewed door experts vanuit DIV en Adviesteam waarbij het projectteam aangeeft hoe met de reviewresultaten is om gegaan. De personen in het kaderteam hebben ook een ambassadeursfunctie voor implementatie van resultaten in het systeem dat in Nederland bestaat voor het borgen van de waterveiligheid. In het kaderteam zitten vertegenwoordigers vanuit programma directie HWBP, WL Limburg en RWS/WVL. De vertegenwoordigers beslissen uiteindelijk zelf over besteding van eigen middelen: HWBP over activiteiten K&I agenda, RWS/WVL over activiteiten BOI/KvK en WL over activiteiten versterkingsprojecten. Het kaderteam komt eens per kwartaal bij elkaar. Het overleg wordt voorbereid door het coördinatieteam.
- In de coördinerende laag wordt het inhoudelijke doel binnen de gegeven kaders bewaakt. Het **coördinatieteam** definieert vanuit dat doel de activiteiten en zorgt voor afstemming tussen activiteiten. Het coördinatieteam monitort de voortgang van de activiteiten (inhoudelijk en financieel) en de ontwikkelingen in de omgeving. Op basis van deze ontwikkelingen worden activiteiten bijgesteld en worden indien nodig voorstellen voorbereid voor scope wijziging. Het coördinatieteam komt in de verkenningsfase eens per twee weken bij elkaar en rapporteert aan het kaderteam. Afhankelijk van de fase en voortgang van het project kunnen trekkers van activiteiten (tijdelijk) aansluiten bij de overleggen van het coördinatieteam of kan de vergaderfrequentie tijdelijk verlaagd worden. Het coördinatieteam is verantwoordelijk voor de inhoudelijke kwaliteit en toepasbaarheid van de eindproducten.
 - Het coördinatieteam is compact en bestaat uit personen die op basis van kennis, competenties en samenwerkingsvaardigheden worden gekozen. Een van de teamleden is als trekker aanspreekpunt. De leden vertegenwoordigen ook een achterban (beheerders, kennisinstituten, markt). Het team is zo samengesteld dat de teamleden elkaar uitdagen en aanvullen om het doel van het project te behalen.
 - Het coördinatieteam wordt ondersteund door het projectteam WL dat zorgt voor de projectbewaking, en door adviseurs/reviewers.
 - Adviseurs. Voor advies en reflectie wordt gebruik gemaakt van specialisten bij WL en andere waterschappen, internationale experts en bestaande groepen (Regieteam piping, Adviesteam, ENW, DIV, KKP). Betrokken andere waterschappen zijn: Aa & Maas (W. Wong), Rivierenland (S. Kapinga / L. Taal), Rijn & IJssel (C. Veenstra), WDOOD (M. Van Dijk) en HDSR (S. Bersan).
- Uitvoerende laag (**uitvoeringsteams**). Activiteiten vinden in verschillende (deel)projecten plaats. Financiering van de projecten vindt plaats vanuit K&I agenda, KvK/BOI en versterkingsprojecten WL. De doelen, uitgangspunten en randvoorwaarden van activiteiten worden door het coördinatieteam vastgesteld. Uitvoeringsteams rapporteren aan het coördinatieteam. Indien nodig kan het coördinatieteam activiteiten tussentijds bijstellen. Uitvoeringsteams regelen zelf kwaliteitsborging en kunnen indien nodig gebruik maken van externe reviews.



Figuur 2: Projectteam

HWBP

De programmadirectie van het HWBP (PD HWBP) is subsidieverstrekker voor het project die de subsidie verstrekt aan waterschap Limburg. Om te bewaken dat de resultaten bijdragen aan de doelen van het HWBP (en dat de doelen van het project ook daadwerkelijk worden gerealiseerd) heeft een begeleidingsteam (BGT) namens het HWBP zitting in het kaderteam. Dit laatste zorgt voor de mogelijkheid om, indien nodig in overleg bijsturing van het project te verzorgen. Het BGT wordt periodiek geïnformeerd over de voortgang door het projectteam. Bij verwachte afwijkingen op de afgegeven subsidie treedt het projectteam in overleg met het BGT. Daarnaast heeft het BGT een rol bij escalatie. Het BGT wordt gevormd door:

- Auke Terlouw
- Ben de Jong
- Linda Kamphuis

Betrokken partijen

In onderstaande tabel zijn de direct betrokken partijen weergegeven.

Actor	Kaderstellend/belang	Coördinerend/verantwoordelijk	Uitvoerend/rol
PD HWBP	Versterkingsprogramma (K&I agenda)		
RWS/WVL (overheidsbeleid)	Kennis en instrumentontwikkeling (BOI/KvK)	Toepasbaar - beleid	

WL (overheid uitvoering)	Versterkingsprojecten (projecten)	Toepasbaar – werkprocessen beheerder algemeen en Limburg in het bijzonder	
Deltares (kennisinstituut)		Inhoud - implementatie in systeem (veiligheidsraamwerk)	X
HKV (markt)		Inhoud - relevantie voor de praktijk	X
Arcadis (markt)		Inhoud - relevantie voor de praktijk	X

X: precieze rolverdeling en verantwoordelijkheden worden in een later stadium ingevuld.

6.2 Communicatie

Communicatie over het project vindt plaats op verschillende manieren, bijvoorbeeld: binnen de betrokken groep van adviseurs/reviewers, met een bredere groep dijkwerkers via webinars, LinkedIn en het HWBP-projectenboek/HWBP-website, en via artikelen in Nederlandse en Internationale vakbladen. In het aangescherpte PvA aan het eind van de Verkenning wordt dit nader gespecificeerd in een beknopt communicatieplan.

7 Raming en financiering

Onderstaande tabel toont de raming voor het gehele innovatieproject. De raming voor WP1 Verkenning is gedetailleerd uitgewerkt in het hoofdstuk 'Plan van Aanpak WP1'. De ramingen voor de overige werkpakketten zijn op hoofdlijnen omdat de invulling van die werkpakketten nog afhangt van de uitkomsten van de Verkenning.

Getallen exclusief btw.

WP		Raming	Co-Financiering
WP 1	Verkenning	750 k	HWBP
WP 2	Experimenten – aanvullende kleine en medium schaalproeven	400 k	HWBP
WP 3	Experimenten – grote schaal (grote inschatting)	2,5 M\$ (2-4 M)	HWBP
WP 4	Modellering aanvullende proeven en grote schaalproeven	75 k	HWBP
WP 5	Modelverbetering	350 k	RWS *
WP 6	Veiligheidsraamwerk	100k	RWS *
WP 7	Synthese en vertaling naar praktijksituatie, artikelen en communicatie	250 k	HWBP en Waterschappen (beoogd*)
WP 8	Projecten van WL	200 k	WL
WP 9	Project Management	360 k	HWBP
		4,985 M	
	Risico's en onvoorzien 20%	0,997 M	
	totaal	5,982 M	
	Bijdrage RWS/BOI	0,600 M	*
	Bijdrage WL	0,242 M	&
	Bijdrage waterschappen	0,240 M	(beoogd#)
	Verwachte subsidie HWBP	4,900 M	

\$: De kosten voor de grote schaalproef zijn sterk afhankelijk van het type proef. Opties zijn proeven in de Deltagoot, in het veld met gecontroleerde opbouw (denk aan IJkdijk) of toch in het veld met natuurlijke condities (denk aan Hedwigepolder). De uiteindelijke kosten zijn daarom slechts zeer grof in te schatten en kunnen pas aan het einde van WP2 in detail begroot worden, uiteraard in overleg met het HWBP.

*: RWS heeft de intentie om vanuit het programma KvK en het BOI het gehele werkpakket 'modelverbetering' tenminste te co-financieren. Voor de fase "Plan van Aanpak WP1" is hiervoor een budget beschikbaar van € 35.000,-, met aanvullend nog budget voor meer generieke ondersteuning. De omvang van de totale werkzaamheden binnen het werkpakket modelverbetering zal pas duidelijk worden op basis van de bevindingen van de proeven. RWS kan op voorhand niet toezeggen het werkpakket volledig te honoreren, maar stelt daarvoor dus voor deze fase bovengenoemd budget voor beschikbaar. Dit is als risico benoemd.

#: deze financiering is nog niet toegezegd. Financiering vanuit HWBP is nodig als het niet van de waterschappen komt.

&: deze financiering is nog niet toegezegd. Deze financiering kan eventueel later "in natura" worden ingevuld vanuit de projecten met reguliere projectactiviteiten (dus geen extra budget voor nodig). Het gaat om aanleveren van data en informatie en vooral ook om te checken of de resultaten van invloed zijn op het project (regulier werk).

8 Planning

De beoogde planning en voortgang van werkpakketten is in onderstaande tabel weergegeven. Uit de verkenning kunnen nog aanvullende werkpakketten voortkomen. Bij het maken van de planning is uitgegaan van beschikbaarheid van faciliteiten en voldoende capaciteit. De planning is afhankelijk van resultaten uit afgeronde werkpakketten en zal daarom bij elk herijkingsmoment worden geactualiseerd. In de planning is voor de grote schaalproeven uitgegaan van Deltagootproeven.

Ten opzichte van het oorspronkelijke voorstel nemen we meer tijd voor de Verkenningsfase; dit omvat in het huidige voorstel een uitgebreidere inventarisatie van veldsituaties en literatuur, en ook een deel van de experimenten en modellering.

De Go/No-Go momenten zijn:

- (1) Na de Verkenningsfase
- (2) Voor de start van de grote schaalproeven.

	2024				2025				2026				2027				2028			
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
WP1 Verkenning																				
WP2 Experimenten – klein en medium																				
WP3 Experimenten – grote schaal																				
WP4 Modellering proeven																				
WP5 Modelverbetering																				
WP6 Veiligheidsraamwerk																				
WP7 Synthese																				
WP8 Projecten WL																				
WP9 Projectmanagement																				
Beschikkingaanvraag WP2-WP9								X												
Go/NoGo momenten								1: eind WP1				2: eind WP2								

Figuur 4: Planning

9 Risico's

De belangrijkste risico's voor het gehele project (fase 1 en 2 samen) zijn de volgende:

Risico	Maatregelen
Wegvallen coördinator of deelprojectleiders.	Ruimte voor inkopen externe coördinator of projectleider achter de hand hebben.
Onvoldoende interne capaciteit WL t.b.v. regie en aansturing.	Externe inhuur, het trekkerschap beleggen bij een andere waterkeringbeheerder, scope herzien.
Kostenoverschrijding onderzoek.	Opknippen onderzoek in deelwerkpakketten, review experts op onderzoeksaanpak en volledigheid. Herijkingsmomenten.
Uitloop werkzaamheden.	Bijsturen op herijkingsmomenten
Het onderzoek komt niet tot een duidelijke conclusie of antwoord, doordat er sprake is van onbegrepen grondgedrag, waardoor dijkverbeteringen niet uitgekinder kunnen worden uitgevoerd.	- Risico reservering maken voor onvoorziene en nu nog niet bekende beproevingen. - Data verzameling t.b.v. vervolgonderzoeken.
Onvoldoende samenhang/afstemming werkpakketten.	Rol begeleidingsteam, werkpakketten zoveel mogelijk sequentieel plannen met beslismomenten ertussen.
Onvoldoende capaciteit specialisten / bureaus.	- Capaciteit reserveren (tijdig). - Inzet studentassistenten en afstuderen.
Testfaciliteiten niet beschikbaar volgens planning.	Tijdig reserveren.
Inconsistente proefresultaten.	Ruimte voor extra proeven.
Model blijft sterk afwijken van proeven, ook na modelverbeteringen.	Empirische schaalrelatie direct op basis van proefresultaten.
Modellen voorspellen de labproeven goed maar doorvertaling leidt tot onrealistisch lage sterkte in het veld. (Proef is niet representatief voor veldsituatie).	In WP2-WP3 ruimte voor verkennende experimenten naar verschil tussen een veldsituatie en een geïdealiseerde labsetting. Tijdens WP4+5+6 expliciet stilstaan bij de impact van tussentijdse keuzes / modeleringskeuzes (=je niet laten verassen in WP7). Go/no-go momenten inbouwen (herijking).
De onderzoeksresultaten geven te weinig vertrouwen voor toepassing.	Klankbordgroep instellen, die sturing kan geven aan het onderzoek o.b.v. tussenresultaten.
Co-financiering RWS/BOI lukt niet.	Onderzoekdelen schrappen, versoberen of aanvullend budget zoeken.
Toegezegde bijdrage van RWS/BOI voor de modelverbetering is ontoereikend.	Onderdelen schrappen, versoberen of aanvullend budget zoeken.
Stilvallen onderzoek door vertraging in toekenning van de financiering.	Wijzigingen in de vastgestelde planning tijdig afgestemd met het Kaderteam.

9.1 Borging kennis

Door samen kennis te ontwikkelen borgen we deze ook. Doel is dus zoveel mogelijk relevante spelers bij de kennisontwikkeling te betrekken.

De opgedane kennis zal een plek krijgen in het BOI en zal worden opgenomen in de handreikingen van het HWBP en als achtergronddocument voor beoordeling geplaatst worden bij de documenten beschikbaar vanuit RWS. RWS-WVL is onderdeel van zowel Kaderteam als Coördinatieteam om de samenhang met de landelijke ontwikkelingen binnen Kennis voor Keringen en (later) BOI te borgen.

Twee personen uit het Coördinatieteam zitten ook in het Regieteam Piping, waardoor raakvlakken met andere activiteiten op gebied van piping tijdig worden geïdentificeerd.

Door niet te wachten tot het einde van het project, maar op meerdere momenten kennis af te tappen wordt de synthese vergroot, de valorisatie verbeterd en daarmee de kennisborging versterkt.

10 Plan van Aanpak Werkpakket 1, de Verkenningfase

10.1 Doelstelling

Deze fase (WP1) is bedoeld om het probleem te verkennen, te onderzoeken welke veldsituaties het meest relevant zijn om rekening te houden met 3D- en schaafeffecten, maar ook om vast te stellen of, en zo ja, hoe nieuwe kennis leidt tot een ander handelingsperspectief in de praktijk.

Deze doelen behalen we door het beantwoorden van een aantal vragen:

- I. Wat is exact het probleem?
- II. Hoe groot is de huidige onzekerheid voor een 3D pipinganalyse?
- III. Hoe kun je hier in de praktijk mee omgaan?
- IV. Wat is de impact van dit handelingsperspectief voor projecten? Hoe groot zijn de onzekerheden daarin?
- V. Welke investering is nodig om onzekerheden in dit nieuwe raamwerk voldoende te verkleinen, en wat levert dat op?

Na het beantwoorden van deze vragen ligt er informatie op basis waarvan kan worden besloten of 1) nader onderzoek (WP2-WP) relevant is en 2) of kosten/inspanning van nader onderzoek opwegen tegen de verwachte impact op de maatregelen in het HWBP-programma. Bij een beslissing om het onderzoek voort te zetten, wordt een gedetailleerder Plan van Aanpak voor navolgende werkpakketten opgesteld.

10.2 Activiteiten per onderdeel

De activiteiten in de Verkenning zijn opgedeeld in acht hoofdonderdelen die aansluiten bij bovengenoemde onderzoeksvragen:

- WP1.0 Opstellen PvA Verkenning & activiteiten coördinatieteam;
- WP1.1 Inventarisatie veldsituaties (Vraag I);
- WP1.2 Literatuuronderzoek (Vraag I/II);
- WP1.3 Proeven (Vraag II);
- WP1.4 Modelleren (Vraag II/III);
- WP1.5 Impactanalyse en voorbereiding Go-NoGo (Vragen III-V);
- WP1.6 Beslismoment en uitwerking vervolg
- WP1.7 projectmanagement.

WP1.0 Opstellen PvA verkenningfase & activiteiten coördinatieteam

Dit onderdeel betreft het opstellen van voorliggende plan van aanpak voor de Verkenningfase en de andere PM activiteiten van het coördinatieteam gedurende de Verkenning.

WP1.1 Inventarisatie veldsituaties

De resultaten van het onderzoek moeten relevant zijn voor heel Nederland, maar ook voor Limburg. Er is de laatste decennia veel onderzoek gedaan naar piping voor veldsituaties die overeenkomen met het centrale rivierengebied. Voor dat gebied is voldoende inzicht voor welke veldsituaties schaal- en 3D-effecten relevant zijn. De veldsituatie in Limburg is echter anders door de aanwezigheid van grover materiaal en duidelijke rivierterrassen. De vraag is of voor deze situatie aangesloten kan worden op de te ontwikkelen handvatten voor het rivierengebied, of dat hiervoor aanvullend onderzoek nodig is. Binnen WP1 wordt daarom een inventarisatie uitgevoerd van de Limburgse situatie. De inventarisatie geeft input aan de vervolgstappen in het onderzoek en zorgt voor een duidelijke relatie tussen onderzoek en toepassing. Tevens dient het voor een vergelijk met bodemtypen in andere delen van Nederland, denk hierbij aan de gebieden langs de IJssel en ten oosten van Nijmegen.

De inventarisatie is opgedeeld in de volgende vijf stappen.

- Korrelverdelingen kaart (1.1.1)
Verzamelen van informatie van korrelverdeling van het zand of grind onder de deklaag uit Riskeerbestanden van LBO1, ontwerprapporten van HWBP-projecten, relevante stageverslagen en de proevenverzameling van WL. Hieruit volgt welke sortering van zanden met grind beproefd moeten worden in de kleine en medium schaalproeven, die in het najaar van 2024 gepland zijn (WP1.3) en in de aanvullende proeven (WP2, WP3). Product: kaart / GIS-bestand.
- Leklengtekaart (1.1.2)
De invloed van gelijkmatige kwel naar het achterland is in Limburg belangrijk vanwege de geometrie en geologie. Om in beeld te brengen wat de variatie in lek lengte is, worden beschikbare gegevens uit LBO1 en Regis verwerkt in GIS tot een kaart met de lek lengte. De lek lengte is ook van belang in de rest van Nederland en is naar verwachting een sterk bepalende parameter voor het 3D effect. De verschillen tussen en overeenkomsten in gegevensbronnen worden tezamen met een eventuele trend beschreven en geduid in een rapportage. Hierin wordt ook een vergelijking gemaakt met andere delen in Oost-Nederland. De resultaten van deze activiteit bepalen mede de keuze welke mate van afstroming naar het achterland wordt gekozen in de medium en grote schaal proeven (WP2 en WP3) en geven duiding bij de vertaling van resultaten naar de praktijk (WP7). Product: memo met kaart / GIS-bestand.
- Terrassenanalyse (1.1.3)
Het Maasdal kent een andere geometrie dan de Rijnvlakte en heeft daardoor (vermoedelijk) een andere grondwaterstroming tijdens hoogwater. Derhalve wordt de locatie van drie kenmerkende dwarsdoorsneden met Limburgse Maasterrassen bepaald waar ook een dijk aanwezig is. Hiermee wordt visueel gemaakt wat er anders is in Limburg. Product: kaart / GIS-bestand. En kan met expert judgement ingeschat worden of de kleine schaalproeven in WP1 met andere randvoorwaarden (opgelegde stijghoogtes) uitgevoerd dienen te worden. Op basis van de terrassenanalyse wordt vastgesteld of er in WP7 aanvullende aandacht nodig is voor terrassen in het vervolg van het onderzoek of dat dit aspect reeds met bestaande kennis al meegenomen kan worden in de beoordeling en ontwerp.
- Kenmerkende cases selecteren (1.1.4)
De onderscheidende bodemtypes in Limburg worden gecategoriseerd en vervolgens worden dijkringen geïdentificeerd met elk één van de kenmerkende bodemtypes. De dijkringen hoeven niet persé in Limburg te liggen. Er wordt geput uit een workshop die door DIV is georganiseerd voor het HWBP-project Thorn-Wessem. Dit draagt bij aan de beeldvorming en waarborgt een gelijk vertrekpunt. Vervolgens wordt voor elke kenmerkende doorsnede geanalyseerd in hoeverre nieuwe kennisontwikkeling in dit project het verschil kan maken in de nog uit te voeren beoordeling (LBO2); is dat factor 1,5 of 2,0 of kan het niet gekwantificeerd worden? Dit draagt bij aan de discussie tijdens de herijkingsmomenten. Product: memo met tabellen.
- Relatie veiligheidsopgave en ondergrond bepalen (1.1.5)
Uit 1.1.1 blijkt waar grof of gegradeerd materiaal aanwezig is in de ondergrond. Om te kiezen welk materiaal beproefd moet worden (in WP1.3, WP2 en WP3), kijken we ook naar de huidige inschatting van de faalkansen in Limburg. Onderzoek met grof of gegradeerd zand of grind draagt alleen bij aan een stabielere opgave als de locaties waar dit aanwezig is, een veiligheidsopgave hebben of op termijn krijgen, die anders kan worden met de uitkomsten van aanvullend onderzoek. Het is namelijk al bekend dat hierbij extra sterkte te verwachten is, maar de mate waarin is nog niet bekend. Deze informatie over faalkansen / veiligheidsopgave voor piping halen we uit de LBO1 resultaten (Riskeerbestanden). Deze analyse geeft op kwantitatieve wijze richting aan het onderzoek: het bepaalt mede de materiaalkeuze in de proeven, en de mate waarin verder onderzoek moet worden gedaan naar andere interne erosiemechanismen (suffosie) en het modelleren van turbulentie. Product: kaart / GIS-bestand en memo met tabellen met kenmerken.

WP1.2 Literatuuronderzoek

Doel van het literatuuronderzoek is om vast te stellen in hoeverre enkele specifieke kennisvragen bijdragen aan de onzekerheid in de bepaling van overstromingskansen, en daarmee of het noodzakelijk of zinvol is om dit mee te nemen in de scope van eventueel vervolgonderzoek. Deze activiteit bestaat uit vier bureaustudies waarin een aantal specifieke onderzoeksvragen verkend worden. Het product is een hoofdstuk in het syntheserapport, plus achtergrondrapportages.

- Review numerieke methodes (1.2.2).
Numerieke 3D piping modellen zijn nodig om te rekenen aan 3D effecten op labschaal en veldschaal. Recente studies laten zien dat de resultaten van 3D FEM piping modellen gevoelig zijn voor bepaalde keuzes in numerieke methode, met name voor de discontinuïteit rond de kop van de pipe. Daarom verkennen we of alternatieve numerieke methodes beschikbaar zijn, en hoe gemakkelijk deze toegepast kunnen worden in bestaande FEM-modellen zoals DgFlow/Kratos. Hiervoor raadplegen we wetenschappelijke literatuur en voeren we interviews uit met (internationale) experts. Dit geeft antwoord op de vraag welke numerieke methode het meest geschikt is om binnen dit project te gaan gebruiken en of hiervoor in WP5 (modelverbetering) acties nodig zijn. Ook geeft het antwoord op de vraag in hoeverre bepaalde wegen naar een handelingsperspectief kansrijk zijn (denk aan het baseren van handvatten op numerieke modellen).
- Review turbulentie (1.2.3).
Stroming in de pipe wordt mogelijk turbulent bij grotere schaal en bij grover zand, wat invloed kan hebben op het kritiek verval én op het schaaffect. Dit onderdeel beschouwt de invloed van turbulentie op verschillende schalen. Welke Reynolds getallen zijn te verwachten bij verschillende schalen en korrelgroottes? Wat zijn de grenzen tussen laminair/turbulent/overgangsgebied? Wat is de geschatte impact van het meenemen van turbulentie op het kritiek verval in verschillende situaties? Op basis van dit onderdeel moet duidelijk worden of er in de experimenten en/of modellering rekening gehouden moet worden met turbulentie en zo ja, hoe groot de huidige onzekerheden zijn t.a.v. turbulentie en hoe we de invloed van turbulentie mee kunnen nemen in handvatten.
- Review 3D modelparameters (1.2.4).
Een belangrijke parameter in numerieke 3D modellen is de lokale kritieke gradiënt voor primaire erosie aan de kop van de pipe (ic). We verzamelen gemeten waarden voor ic uit de literatuur, en kijken ook naar lopende internationale onderzoeken. Dit zal leiden tot het vaststellen van de ic-waarde (met bandbreedte) die gebruikt zal worden in de modellering (WP1.4, WP4) en levert daarmee een bijdrage aan de inschatting van huidige onzekerheden rondom schaal- en 3D effecten.
- Review erosiemechanismen (1.2.5).
Sommige Limburgse grondsoorten zijn potentieel gevoelig voor andere vormen van interne erosie zoals suffosie en contacterosie, maar het is onduidelijk of dit tot bezwijken kan leiden. In dit onderdeel inventariseren we welk verhang nodig is in de literatuur voor het optreden van deze mechanismen. N.B. in 1.5.1 wordt hieraan gerekend. Op basis van activiteiten 1.2.5 en 1.5.1 stellen we vast of suffosie en/of contacterosie potentieel kan optreden in Limburg, en daarmee of de ontwikkeling voor een handelingsperspectief voor dit aspect nodig is.

WP1.3 Verkennende Proeven

Binnen dit onderdeel worden verschillende verkennende proeven uitgevoerd, in zowel de kleine als medium schaalopstelling. Deze proeven zijn nodig in de verkenningsfase om de kennisleemte goed te kunnen inschatten en de model- en schematisatieonzekerheden vast te stellen. Indien tot een GO wordt besloten, geven de verkennende proeven veel inzicht bij het opstellen van de

aanvullende proevenserie, met name op gebied van de benodigde schaal, doorlatendheid en benodigde korrelgrootte-verdeling. WP1.3 bestaat uit de volgende onderdelen.

- Mobilisatie van de kleine schaalproef, aangevuld met predicties (1.3.1a). Voor een proef start moet deze gemobiliseerd worden. In feite omvat dit alle handelingen voorafgaand aan de daadwerkelijke proefuitvoering. De kleine schaalproefopstelling moet flink gereviseerd worden om de gewenste proeven te kunnen uitvoeren. Voor de meerlaagsheidproeven is het bijvoorbeeld wenselijk dat de opstelling van onderaf gevuld wordt met zand en niet vanaf de zijkant zoals thans gebeurt. Andere benodigde aanpassingen zijn het vervangen van de bovenplaat en het aanbrengen van meetpunten voor stijghoogtemetingen op die plaat. Dit onderdeel bevat ook enkele predicties voor de proeven, zodat duidelijk wordt met welk kritiek verval rekening gehouden moet worden tijdens de proeven.
- Selectie zand (1.3.1b).
Voor zowel de kleine als medium schaalproeven is het gewenst om Limburgs zand in de proefopstelling te onderzoeken. Op basis van de werkzaamheden in WP1.1 worden geschikte locaties gezocht en worden in het veld 2 big bags gevuld welke naar Deltares worden vervoerd. Bij Deltares zullen nog eventueel zevingen uitgevoerd worden om bijvoorbeeld aanwezige stenen uit het materiaal te verwijderen.
- Twee kleine schaalproeven meerlaagsheid + uitwerking (1.3.1c).
Een regelmatig voorkomende ondergrondopbouw in het bovenrivierengebied is een laag relatief fijn zand van 1-2 meter dik op veel grover zand of grind. Het erosieproces voor deze opbouw voltrekt zich mogelijk anders en dit willen we onderzoeken in een kleine schaalproef met gezeefd zand met de gewenste korreleigenschappen. Als dit afwijkende proces inderdaad optreedt, moet de afweging gemaakt worden of hier een handelingsperspectief voor ontwikkeld moet worden.
- Twee kleine schaalproeven grof zand + uitwerking (1.3.3).
Verkennde proeven met grof zand uit Limburg. I.c.m. de medium schaalproef (1.3.5.) geeft dit een eerste indruk van schaaffecten bij grof zand, of dit afwijkt van schaaffecten bij fijn zand. Dit geeft een betere inschatting van de huidige onzekerheden en draagt bij aan de afweging of hier een handelingsperspectief voor moet worden ontwikkeld en hoe dit gedaan kan worden.
- Mobilisatie van de medium schaalproef, aangevuld met predicties (1.3.4).
De medium-schaalopstelling is geschikt om pipingproeven uit te voeren, maar is nog niet gereed voor de benodigde aanvullende metingen. Hiervoor wordt de opstelling aangepast. Predicties worden gemaakt om vooraf een idee te krijgen van het kritiek verval bij bezwijken.
- Een medium schaalproef grof zand + uitwerking (1.3.5).
Proef met zelfde materiaal als in de kleine opstelling (1.3.3) maar dan op grotere schaal om de schaaffecten te bestuderen. Effect van uitkomsten op vervolg in WP3: zie 1.3.3. Daarnaast levert deze proef inzicht op in welke mate turbulente stroming optreedt in grof zand, of dat dit op grotere schalen te verwachten is, zodat deze aspecten meegenomen kunnen worden in de afweging voor een handelingsperspectief.
- Een medium schaalproef met open achterland (1.3.6).
Proef met Baskarp B15 zand om het effect van een doorlatend achterland te beschouwen. Dit type (fijn) zand is eerder gebruikt in de medium schaalproefopstelling, maar met een gesloten achterland, en in kleine schaalproeven met open achterland, waardoor inzicht verkregen wordt in de invloed van een doorlatend achterland op schaaffecten en 3D-effecten. Dit levert een bijdrage aan de huidige inschatting van onzekerheden en de afweging van het vervolg. Wordt het 3D-effect kleiner bij een grotere schaalproef of bij een doorlatend achterland? Dan moet hier in de grote schaalproef (WP3) ook mee gevarieerd worden. Als de modellen deze kleine en medium schaal proeven niet kunnen reproduceren met dezelfde parameterinstellingen, is in WP5 verder onderzoek nodig naar modelverbetering en modelparameters.

- Product: rapport met opzet, resultaten en uitwerking van de uitgevoerde proeven; experimentele dataset voor modelvalidatie.

WP1.4 Modelleren

Modellen spelen een belangrijke rol bij het opstellen van hypothesen, het verklaren van resultaten en extrapoleren naar andere situaties dan in het lab. Hieronder verstaan we zowel numerieke modellen (DgFlow 3D, D-GeoFlow 2D) als (semi)empirische modellen (Sellmeijer, Shields-Darcy, Schmertmann, Bligh). De modelstudie bestaat uit vier onderdelen die informatie geven voor het nemen van een Go/No-Go beslissing.

- Modelstudie schaaleffecten (1.4.0.).

Dit onderdeel is een parametrische studie die beschrijft welke schaaleffecten aanwezig zijn in de huidige modellen: hoe neemt het kritiek verval toe bij een grotere kwelweglengte en dikte van het watervoerend pakket? Wat is het effect van leklengte in het achterland, breedte van het zandpakket en korrelgrootte op het schaaleffect in de verschillende modellen? Onder welke condities lopen de modelresultaten uiteen? Hiervoor voeren we met ieder van bovengenoemde modellen een serie berekeningen uit voor een grote range aan dijkarakteristieken, en analyseren we trends in resultaten. Doel: inzicht onder welke condities modelvoorspellingen uiteen lopen, om te bepalen hoe groot onzekerheden in de huidige modellen zijn en welke vervolgstappen nodig zijn voor het opstellen van een handelingsperspectief. Product: paragraaf in synthesesrapport, achtergrondrapportage.

- Narekenen schaaleffect 3D proeven (1.4.1.).

Waar 1.4.0. gaat over hypothetische situaties, richt dit onderdeel zich op het narekenen van het schaaleffect in een aantal 3D proeven op kleine en medium schaal met bovengenoemde bestaande modellen. In hoeverre komen experimentele trends overeen met de huidige modellen? In welke situaties ontstaan verschillen? Welke aanvullende proeven/metingen/analyses zijn nodig om de oorzaak hiervoor te achterhalen en modellen aan te scherpen? Het betreft zowel bestaande proeven als de geplande proeven in deze fase (onderdeel 1.3). Doel: vaststellen van de onzekerheden in de beschikbare modellen en vaststellen kansrijkheid van verschillende paden naar een handelingsperspectief. Ook geeft het onderzoek inzicht in eisen aan een eventueel experimenteel vervolgonderzoek. Denk hierbij aan vaststellen van de benodigde afmetingen van aanvullende proeven na de Verkenning (WP2 en WP3) en benodigde meetmethodes om de overeenkomst tussen modellen en proeven te verbeteren. Product: paragraaf in synthesesrapport, achtergrondrapportage.

- Narekenen korrelgrootte/gradering (1.4.2.).

Waar 1.4.1. gaat over het schaaleffect, richt dit onderdeel zich op het effect van korrelgrootte en gradering (d_{60}/d_{10}) in een aantal 3D proeven. Kunnen we deze trends reproduceren met bovengenoemde bestaande modellen en de laatste inzichten over 3D modelparameters (1.2.4)? In welke situaties ontstaan verschillen? Wat is nodig om de oorzaak hiervoor te achterhalen en modellen aan te scherpen? Voor welke zandkarakteristieken is aanvullend onderzoek nodig om onzekerheden te verkleinen in de opgave? Doel: vaststellen voor welke type gegradeerd zand gekozen moet worden bij de verkennende proeven (WP1.3) en welke vervolgstappen nodig zijn, zoals welke korrelgrootte in de aanvullende proeven met grof zand (WP2 en WP3). Product: paragraaf in synthesesrapport, achtergrondrapportage.

- Gevoeligheidsberekeningen numerieke methode (1.4.3.).

In eerdere modelstudies is gebleken dat 3D modellen gevoelig zijn voor numerieke modelkeuzes zoals roostergrootte. Aanvullend op de inventarisatie van numerieke methodes (1.2.2) voeren we hiervoor ook een aantal gevoeligheidsberekeningen uit met het 3D DgFlow model. We beschouwen variaties in type rekenrooster en de gridsize rond de pipe. Dit doen we voor modellen op verschillende schalen. Dit geeft inzicht in hoeverre de problemen met numerieke methodes kleiner worden op grote schaal (vaststellen onzekerheden rondom

schaaleffecten), en of de fouten te minimaliseren zijn met bepaalde rekeninstellingen (vaststellen kansrijkheid handelingsperspectief). Doel: vaststellen of in WP5 (modelverbetering) acties nodig zijn om te voorkomen dat numerieke modelkeuzes invloed hebben op de conclusies. Product: paragraaf in syntheserapport, achtergrondrapportage.

WP1.5 Impactanalyse & voorbereiding Go/No-Go

In dit werkpakket maken we de balans op van de inzichten uit WP1.1-1.4, en zorgen we voor de beslisinformatie die nodig is voor de Go/No-Go beslissing:

- Tussenrapport 1 (1.5.1).
De eerste stap is het opstellen van Tussenrapport 1 over de resultaten van WP1.1-1.4. Dit rapport beschrijft het probleem, in welke situaties is dit relevant, van welke parameters is dit afhankelijk, de resterende kennisleemtes, een eerste kwantitatieve inschatting van de onzekerheden rond het 3D effect, een eerste beeld van mogelijke invullingen van handvatten/rekenregels. Dit rapport wordt gereviewd door DIV en Adviesteam Dijkontwerp. Daarna wordt het voor akkoord voorgelegd aan het kaderteam, waarbij het projectteam aangeeft hoe met de reviews is omgegaan.
- Doorvertaling naar de praktijk – impactanalyse (1.5.2).
De tweede stap is in beeld brengen wat dit betekent voor de praktijk. Van alle kennisvragen en onzekerheden in parameters die resteren na de Verkenning schatten we een bandbreedte in van het huidige kennisniveau en het niveau wat we verwachten te kunnen bereiken met nader onderzoek. Vervolgens vertalen we dit door naar een bandbreedte in kritiek verval voor een aantal gestileerde cases die representatief zijn voor de variatie in Nederlandse dijken. Zowel het vaststellen van de bandbreedtes als de doorvertaling gebeurt met expert judgement, maar kan afhankelijk van de kennisvraag ondersteund worden door modelberekeningen of andere analyses. Tenslotte geven we een globale duiding van het areaal van de Nederlandse dijken waarvoor de kennisvraag relevant is. Deze analyse levert de baten-kant van de businesscase.
- Doorvertaling naar de praktijk – veiligheidsraamwerk (1.5.3).
De derde stap is in beeld brengen hoe je hiermee om kunt gaan in de praktijk. We beschrijven een werkhypothese van de handvatten die we verwachten te kunnen ontwikkelen in een nader onderzoek na de Verkenning. Bijvoorbeeld beslisregels over wanneer 3D effecten relevant zijn, een aangepaste rekenregel, extra parameters, modellen voor maatwerkanalyses. Dit leggen we in een expertsessie voor aan pipingspecialisten van waterschappen en bureaus om te toetsen of dergelijke handvatten toepasbaar zijn en om te inventariseren of dit voldoet aan behoeften van latere gebruikers.
- Benodigde inspanning voor handvatten (1.5.4).
In deze stap specificeren we wat er nog nodig is om te komen tot een praktisch handvat dat in de praktijk kan worden toegepast (activiteiten, tijd, budget). Dat heeft een detailniveau wat nodig is voor de Go-NoGo beslissing, vergelijkbaar met het detailniveau van hoofdstuk 5-8 in dit Plan van Aanpak. In geval van een Go-beslissing wordt dit verder uitgewerkt (zie 1.6). Deze raming levert de kostenkant van de businesscase.
- Tussenrapport 2 (1.5.5).
Het tweede tussenrapport is een aanvulling van Tussenrapport 1 met de resultaten van 1.5.2-1.5.4. Het bevat alle benodigde beslisinformatie. Dit rapport wordt gereviewd door DIV en het Adviesteam Dijkontwerp. Daarna wordt het voor akkoord voorgelegd aan het kaderteam, waarbij het projectteam aangeeft hoe met de reviews is omgegaan.
- Vorbereiding Go-NoGo (1.5.6).
In deze stap stelt het coördinatieteam een onderbouwd voorstel op voor de GoNo-Go beslissing. Weten we genoeg? Is er een handelingsperspectief? Kunnen we dat al toepassen? Is er meer onderzoek nodig? Zo ja, wat kost dat en is er zicht op dat we deze kosten gaan terugverdienen? Welke geïdentificeerde kennisvragen hebben de hoogste prioriteit? De Go/No-

Go beslissing wordt genomen uiteindelijk programmabestuur HWBP o.b.v. het advies kaderteam.

WP1.6 Beslismoment en uitwerking vervolg

Op basis van de resultaten uit eerdere werkpakketen is voldoende informatie beschikbaar voor een Go/No-Go beslissing door het kaderteam. Het vervolg van de activiteit is afhankelijk van de beslissing. In geval van een Go: opstellen van het Plan van Aanpak voor het vervolg. In geval van een No-Go: implementeren van resultaten (factsheet, beslisregel, of ander handvat). In beide gevallen delen we de resultaten van de Verkenning in een workshop/webinar (disseminatie).

WP1.7 projectmanagement

Dit werkpakket is voor het projectmanagement vanuit Waterschap Limburg gedurende de uitvoering van WP1 Verkenning (2024 en eerste helft 2025).

10.3 Producten Verkenningsfase

De Verkenning (WP1) levert de volgende producten op:

- Een Syntheserapport van de resultaten van de Verkenningsfase, op basis van de twee tussenrapporten;
 - Probleembeschrijving 3D- en schaafeffecten o.b.v. literatuurstudie, inventarisatie veldsituaties, modelberekeningen en verkennende proeven.
 - Werkhypothese van een handvat om deze inzichten in de praktijk toe te passen.
 - Onzekerheid in dit handvat met de beschikbare kennis aan het eind van de Verkenningsfase, en de impact daarvan op de praktijk (opgaves, werkwijze, benodigde parameters).
 - Mogelijke invulling van vervolgonderzoek om deze onzekerheid te verkleinen.
 - Businesscase voor vervolgonderzoek.
- Achtergrondrapporten, GIS kaarten, expertimentele datasets;
- Bij een Go: Plan van Aanpak voor de rest van het project;
- Bij een No-Go: Implementatie van de resultaten;
- Webinar/workshop

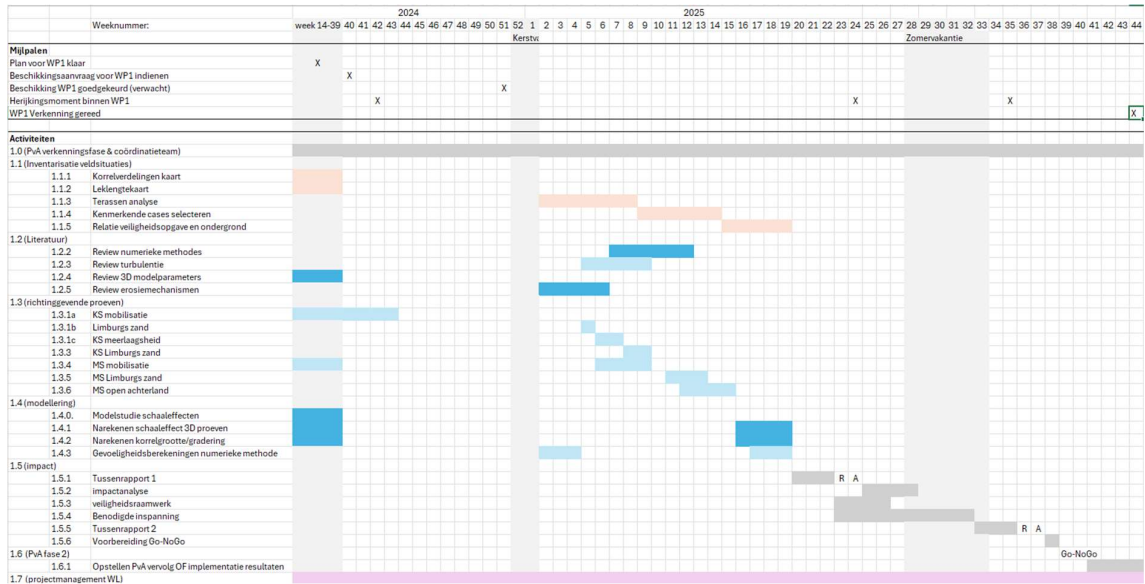
10.4 Kostenraming Verkenningsfase

Hoofdonderdeel	Subonderdeel	Totale kosten (€ ex. BTW)	Waarvan materiaal (€ ex. BTW)
1.0 (PvA verkenning & coördinatieteam)	Opstellen PvA verkenningsfase & activiteiten coördinatieteam WP1	€ 89.309	
1.1 (Inventarisatie veldsituaties)	Inventarisatie veldsituaties - Overkoepelend	€ 20.556	
	1.1.1 korrelverdelingen kaart	€ 18.409	
	1.1.2 Leklengte kaart	€ 17.855	
	1.1.3 terrassen analyse	€ 6.205	
	1.1.4 kenmerkende cases selecteren	€ 7.566	
	1.1.5 Relatie veiligheidsopgave en ondergrond	€ 11.892	
1.2 (Literatuur)			
	1.2.1 Review numerieke methodes	€ 20.527	
	1.2.2 Review turbulentie	€ 35.127	
	1.2.3 Review 3D modelparameters	€ 7.075	
	1.2.4 Review erosiemechanismen	€ 12.672	
1.3 (richtinggevende proeven)			
	1.3.1a KS mobilisatie	€ 41.831	€ 10.000

	1.3.1b Limburgs zand	€ 11.519	€ 900
	1.3.1c KS meerlaagsheid	€ 24.015	€ 300
	1.3.3 KS Limburgs zand	€ 24.418	€ 300
	1.3.4 MS mobilisatie	€ 61.939	€ 30.000
	1.3.5 MS Limburgs zand	€ 38.361	€ 150
	1.3.6 MS open achterland	€ 38.764	€ 150
1.4 (modellering)			
	1.4.0. Modelstudie schaaffecten	€ 47.530	
	1.4.1. Narekenen schaaffect 3D proeven	€ 28.809	
	1.4.2. Narekenen korrelgrootte/gradering	€ 8.419	
	1.4.3 Gevoeligheidsberekeningen numerieke methode	€ 13.157	
1.5 (impact)			
	1.5.1 Tussenrapport 1	€ 10.000	
	1.5.2 Impactanalyse	€ 32.000	
	1.5.3 Veiligheidsraamwerk	€ 12.000	
	1.5.4 Inschatting activiteiten en kosten aanscherpen handelingsperspectief	€ 12.000	
	1.5.5 Tussenrapport 2	€ 8.000	
	1.5.6 Voorbereiding Go/No-Go	€ 6.000	
1.6 (Beslismoment + vervolg)	1.6 Beslismoment. Bij Go: PvA Fase 2; bij No-Go: implementatie resultaten	€ 28.000	
1.7 (PM)	Projectmanagement WL	€ 40.843	
	Reviewteams extern en intern	€ 14.464	
Totaal excl. BTW:		€ 749.262	€ 41.800
Totaal incl. BTW:		€ 899.864	€ 50.578

10.5 Planning Werkpakket 1, de verkenningsfase

Onderstaande planning geeft de activiteiten en mijlpalen van de Verkenning in detail weer. Een deel van de activiteiten is reeds uitgevoerd in week 14-39 (ca. 25%). De resterende activiteiten worden pas opgestart na toekenning van de subsidie (naar verwachting eind 2024). WP1.5 bevat twee keer een ronde van Review en Acceptatie (R+A) van de twee tussenrapportages. We werken toe naar een Go-NoGo beslissing in week 39/40 van 2025.



10.6 Risicodossier werkpakket 1, de verkenningsfase

De belangrijkste risico's voor de Verkenningfase zijn weergegeven in onderstaande tabel.

Risico	Gevolg	Maatregelen
Bepaalde activiteiten nemen meer tijd in beslag, geven onverwachte resultaten of verlopen niet vlekkeloos, waardoor iets opnieuw moet.	Kans op substantiële kostenoverschrijding, mijlpaal wordt niet gehaald.	Opknippen in sub activiteiten. Herijkingsmomenten (na inventarisatie/literatuur, na KS proeven en na MS proeven).
Er is onvoldoende samenhang/afstemming tussen werkpakketten.	Onderzoekskwaliteit neemt af, kostenoverschrijdingen.	Rol coördinatieteam en kaderteam. Werkpakketten zoveel mogelijk sequentieel plannen met beslismomenten ertussen. Teamlid vanuit ander onderdeel kijkt altijd mee. Afstemmomenten plannen en opnemen in projectbudget.
Er is onvoldoende capaciteit bij specialisten en/of bureaus.	Mijlpaal wordt niet gehaald.	Capaciteit reserveren (tijdig). Beschikkingsaanvraag later indienen (begin 2025) of in minder detail gespecificeerd.
Testfaciliteiten niet beschikbaar volgens planning.	Mijlpaal wordt niet gehaald.	Tijdig reserveren (capaciteit lab-medewerkers).
Contractvorming is niet op tijd afgerond om te starten met de ingeplande werkzaamheden, waardoor de planning voor de testfaciliteiten niet gehaald kan worden.	Mijlpaal wordt niet gehaald, kans op substantiële kostenoverschrijding.	Zeer goed afstemmen over proces om te komen tot een snelle contractvorming en scenario's bespreken waarbij een waarborg afgegeven kan worden om alvast te starten met de werkzaamheden.
Inconsistente resultaten tussen twee identieke proeven. Extra (3e) proef nodig.	Kostenoverschrijding, mijlpaal wordt niet gehaald. Gevolgen groter naarmate de schaal groter is.	In WP2 extra proef opnemen, begroten en uitvoeren.
Langdurige uitval teamleden.	Kosten, planning.	Vervanging zoeken intern of extern. Realistisch plannen.

Risico	Gevolg	Maatregelen
Limburgse materiaal te grof voor kleine schaal opstelling.	Kostenoverschrijding, mijlpaal wordt niet gehaald.	In WP2 extra proeven opnemen, begroten en uitvoeren.