

Plan van Aanpak

Innovatie Modelling Damwandtrillingen

SUBSIDIEAANVRAAG HWBP



Titel: Plan van Aanpak Innovatie Modelling Damwandtrillingen

Subtitel: Subsidieaanvraag HWBP

Versie: 1.0

Datum: 29 augustus 2024

Auteurs: Martin Groenewoud - Projectmanager HHSK
Floris Besseling – Projectengineer Witteveen+Bos
Jos de Greef - Projectengineer Witteveen+Bos

Gecontroleerd door: Marco Weijland - Technisch Manager HHSK
Gerben Hoekman - Manager Projectbeheersing HHSK
Alex Huibrechtse – Ambtelijk Opdrachtgever HHSK

Documenthistorie		
datum	versie	toelichting
1-9-2023	0.1	1e conceptversie ter review HWBP
7-7-2024	0.2	2e conceptversie
3-8-2024	0.3	3e conceptversie
20-8-2024	0.4	4 ^e conceptversie
29-8-2024	1.0	Definitief PvA

Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
1.1	Introductie	5
1.2	Onderzoeksvoorstel	5
1.3	Leeswijzer	6
2	Voldoen aan HWBP K&I criteria	7
3	Doel van het onderzoeksvoorstel	9
3.1	Doel van het voorstel	9
3.2	Toepasbaarheid in Nederland	12
3.3	Aansluiting op HWBP Programmadoelstellingen	12
3.4	Potentie van het doel	13
3.5	Kennisvraag	14
3.6	Benodigde kennis om doel te bereiken	14
4	Aanpak en resultaat	15
4.1	Plan van aanpak, werkpakketten en deel-resultaten	15
4.2	Producten	19
4.3	Afbakening	20
4.4	Succeskanen en risico's van het onderzoek	21
4.5	Projectbeheersing	22
4.5.1	Organisatie en aansturing	22
4.5.2	Kwaliteitsmanagement	23
4.5.3	Scopemanagement	24
4.5.4	Planningsmanagement	26
4.5.5	Financieel management	26
5	Kennisstrategie	27
5.1	Gebruik en verankering van kennis	27
5.2	Toepasbaarheid van kennis	27
5.3	Relaties met andere ontwikkelingen	27
5.4	Betrokkenheid belanghebbenden en implementatie	27
6	Baten en rendement van het onderzoek	28
7	Referenties	29

BIJLAGEN

- A: Risicodossier
- B: PPI planning
- C: SSK raming
- D: Kostennota

1 Inleiding

1.1 Introductie

Dit document beschrijft het plan van aanpak voor het aankomende onderzoek m.b.t. kennisontwikkeling over voortplanting van trillingen in en rondom waterkeringen bij het installeren van damwanden. Het voorstel voor deze kennisontwikkeling komt direct voort uit de praktijk van lopende HWBP projecten. Het verbeteren van de rekenmethode verkleint de onzekerheden over trillingsniveaus en schadepredicties voor belendingen en draagt hiermee bij aan een beter verloop van HWBP projecten waarin risico's door trillingen een rol spelen.

1.2 Onderzoeksvoorstel

Ons onderzoeksvoorstel gaat specifiek in op kennisontwikkeling over de 'near-field' golfvoortplanting bij het intrillen van damwanden in dijken (geometrie) en het onderbouwen van verbeterde rekenmethodieken om 'near-field' golfvoortplanting beter te kunnen meenemen in HWBP projecten. Het voorstel staat nader beschreven in hoofdstuk 3 en 4.

Het voorstel valt binnen Thema 1: 'Ontwerp en uitvoeringstechnieken' en Thema 2: 'Strategie en aanpak projecten' van het POV kennis en innovatieprogramma. De onderzoeksactiviteiten voorgesteld in dit voorstel hebben betrekking op de TRL's 1 t/m 6 uit onderstaande lemniscaat van HWBP [HWBP, 2019].

Afbeelding 1.1 K&L lemniscaat van HWBP



Een vervolg in de vorm van het updaten van de kennisbasis en eventuele verankering van kennis en methoden in normen en richtlijnen valt buiten dit voorstel en kan nader worden vormgegeven samen met bijvoorbeeld NEN en CROW.

1.3 Leeswijzer

De hoofdstukindeling van dit document volgt de structuur volgens Bijlage B van het document HWBP Kennis & Innovatieagenda. De paragrafen binnen deze hoofdstukindeling sluiten aan op de vraagstelling in deze bijlage, maar zijn hier en daar wat samengevoegd om herhalingen in dit voorstel te beperken.

Hoofdstuk 2 beschrijft het onderzoek in relatie tot de HWBP K&I criteria. Hoofdstuk 3 beschrijft de onderzoeksdoelstellingen, gekoppeld aan enige achtergrond. Hoofdstuk 4 beschrijft de werkpakketten, kansen en risico's en gaat in op de projectbeheersing (organisatie, kwaliteit, scope, planning). De kennisstrategie wordt beschreven in hoofdstuk **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..** Hoofdstuk 6 geeft een inschatting van de baten van het onderzoek. Hoofdstuk 7 geeft een lijst van referentiedocumenten.

2 Voldoen aan HWBP K&I criteria

Het HWBP hanteert drie criteria voor onderzoeksvorstellen binnen de K&I-agenda:

- 1 duidelijke innovatie voor HWBP;
- 2 innovatie is effectief voor uitvoering HWBP;
- 3 innovatiemanagement op orde.

Hieronder gaan we kort in op het onderzoeksvorstel in relatie tot deze drie criteria.

Duidelijke innovatie voor HWBP

- het onderzoek naar 'near field' effecten door trillingen bij de installatie van damwanden specifiek voor dijken is relevant gezien de combinatie van:
 - een complexe grondgeometrie (dijkprofiel);
 - een specifieke lokale grondopbouw (door eeuwen van dijkophogingen en verzwaringen);
 - schadegevoelige objecten in de korte nabijheid (lint bebouwing op en rond de dijk).

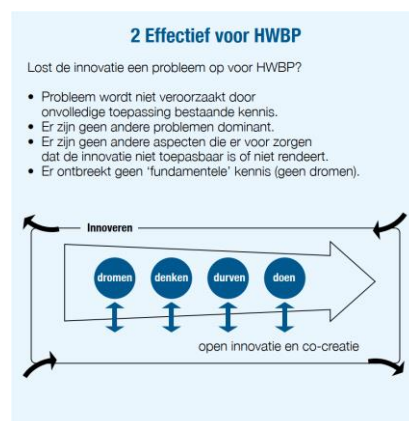
Voor deze combinatie van factoren is nog geen robuuste, fysisch juiste betrouwbare en praktisch bruikbare rekenmethode beschikbaar. We streven naar een verbeterde methode voor 'near-field' trillingen waarin fysica en empirie beter in balans zijn:

- het onderzoek leidt tot verbetering van 'near-field' trillingspredicties en daarmee betere inschattingen van mogelijk effecten (hinder/schade) op belendingen in en op de dijk;
- een betere methode voor voorspelling van trillingen resulteert in:
 - minder onzekerheid en kleinere risicocontouren;
 - meer uitvoeringsopties en efficiëntere realisatieprojecten;
 - meer ontwerpvrijheid voor de complexere dijkversterkingen;
 - een consistent beeld van de risico's en invloed van trillingen gedurende een project.



Innovatie is effectief voor uitvoering HWBP

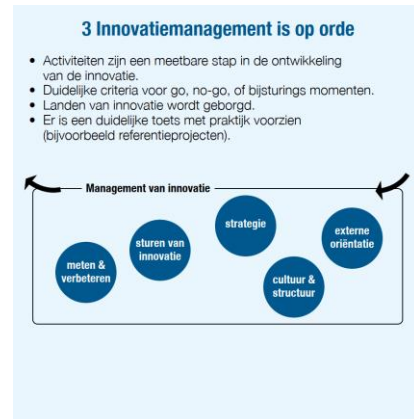
- het adequaat kunnen inschatten van trillingscontouren voor HWBP projecten is relevant omdat:
 - er geen werkbare en uniform toepasbare methode beschikbaar is voor adequate predictie van 'near-field' trillingen;
 - steeds vaker wanden/schermen als maatregel worden toegepast in dijkversterkingen;
 - bouwwijze (trillingen) en ontwerp van elkaar afhankelijk zijn;
 - projecten baat hebben bij een consistent beeld van het risicoprofiel en de invloed hiervan op het ontwerp en de uitvoering gedurende het project;
- door het onderzoek uit te voeren onder HWBP K&I agenda wordt gebruik gemaakt van data/metingen uit lopende HWBP projecten en kunnen (tussen)resultaten van het onderzoek ook direct ten dienste van deze projecten worden gebruikt;
- het onderzoek is vooral effectief als het een project- en/of waterschap-overstijgend onderzoek is, omdat dan een breder spectrum van de verschillende dijk geometrieën, karakteristiek van de ondergrond, en damwandontwerpen kunnen worden beschouwd. Hiermee ontstaan:
 - een betere wetenschappelijke basis en meer draagvlak;



- een robuustere methode;
 - verhoogde toepasbaarheid van deze innovatie in projecten, omdat zij breder wordt geaccepteerd (dit kan onder andere effect hebben op de verzekeraarbaarheid);
- de innovatie die binnen het voorgestelde onderzoek wordt voorzien kan aansluiten op reeds bestaande fundamentele kennis van voorplanting van golven door de ondergrond. Er zal een verbinding worden gelegd tussen vereenvoudigde modellen die veelal worden toegepast in de praktijk van projecten en een meer fundamentele theoretische benadering van golfvoortplanting en trillingen in de ondergrond. De combinatie van beiden vormt de basis voor een verbeterde werkbare uniforme rekenmethode voor 'near-field' trillingen.

Innovatiemanagement op orde

- de aanpak zoals voorgesteld in dit voorstel (beschreven in hoofdstuk 3) is opgedeeld in verschillende fases met duidelijke tussenproducten. Behalve de tussenproducten zijn er een periodieke contactmomenten voorzien. Hiermee zullen het HWBP en andere relevante kennispartners (klankbordgroep) worden meegenomen in de ontwikkeling van de innovatie, en kan er bijgestuurd worden;
- om de kwaliteit van de kennisontwikkeling en het latere gebruik van de innovatie in projecten te borgen zijn er drie maatregelen voorzien:
 - 1 echte gelijkwaardige samenwerking van de praktijk (Witteveen+Bos, HHSK, Kigo partners) en ondersteunend wetenschappelijk onderzoek (Witteveen+Bos en TU Delft);
 - 2 periodieke overleggen met een klankbordgroep met experts uit het vakgebied;
 - 3 ingeplande go/no-go momenten bij afronding van werkpakketten WP1, WP2 en WP3. Op deze momenten wordt de voortgang geëvalueerd en de aanpak waar nodig bijgesteld;
- de ontwikkeling van kennis wordt getoetst met de praktijk aan de hand van:
 - data-analyse van reeds uitgevoerde proeven en metingen op dit gebied;
 - het uitvoeren van aanvullende meetcampagnes bij installatiewerkzaamheden van lopende HWBP projecten.



3 Doel van het onderzoeksvoorstel

3.1 Doel van het voorstel

Het doel van het onderzoeksvoorstel is het verbeteren van de rekenmethode en het verkleinen van de onzekerheden bij trillings- en schadevoorspellingen bij objecten door in te zetten op kennisontwikkeling over de voortplanting van 'near-field' trillingen in en rondom waterkeringen bij het installeren van damwanden.

Achtergrond

Invloedscontouren van trillingen tijdens uitvoering worden in de praktijk nu bepaald aan de hand van de methodiek uit CUR166. Deze methodiek omvat in hoofdzaak twee elementen, zijnde een inschatting van de brontrilling en een afstandsrelatie die de afname van trillingsniveaus als functie van afstand tot de bron beschrijft. Het voorliggende onderzoeksvoorstel heeft betrekking op kennisontwikkeling over en het verbeteren een verbeterde methode om de trillingen rondom de bron beter te beschrijven. Momenteel wordt, als onderdeel van de CUR166 herziening ook gewerkt aan de inschattingen voor amplitude van brontrillingen. Beide ontwikkelingen zijn complementair en kunnen later samengevoegd worden.

De relatie die conform de CUR166 gebruikt moet worden om de trillingsniveaus A_1 op een zekere afstand r van de bron te vinden is:

$$A_1 = C_{of} A_0 = 0,7 \sqrt{5/r} e^{-\alpha(r-5)} \cdot A_0$$

Hierbij is A_0 trillingsniveau op 5 meter van de bron en de factor 0,7 geeft de overdracht van trillingen van maaiveld naar fundering weer. Deze afstandsrelatie is afgeleid van de relatie die geldt voor een puntbron op diepte [Massarch, 1993] op grote afstand van de bron. Het trillend installeren van damwanden en palen kan hiermee vergeleken worden wanneer de afstand tot de bron groot is, in het zogenaamde 'far-field'. Bij een puntbron op diepte ontstaan trillingen met verschillende golfvormen, zie afbeelding 3.1. De golven dempen uit met de afstand, waarbij onderscheid gemaakt kan worden tussen geometrische demping en materiaal demping volgens de onderstaande relatie:

$$A_1 = A_0 \left(\frac{r_0}{r_1} \right)^n e^{-\alpha(r_1-r_0)}$$

Waarbij geometrische demping beschreven wordt door: $\left(\frac{r_0}{r_1} \right)^n$ en de materiaaldemping door: $e^{-\alpha(r_1-r_0)}$, met A_0 is de amplitude op referentieafstand r_0 van de bron en A_1 de amplitude van de trilling op afstand r_1 van de bron. De factor n hangt af van het type golf en het type bron, de factor α hangt af van de demping van de ondergrond en de frequentie van de trilling. Door $n = 0,5$ en $r_0 = 5$ te nemen, krijg je voor de trillingsamplitude op maaiveld dezelfde relatie als beschreven in de CUR166. Deze factor $n = 0,5$ hoort bij een oppervlakte golf ontstaan door een puntbron op diepte. Andere golfvormen worden strikt genomen dus niet meegenomen in de afstandsrelatie gegeven in de CUR166.

Afbeelding 3.1 Overzicht van de verschillende trillingen die ontstaan bij installatie damwand (Man-Made Vibrations and Solutions [Massarch, 1992])

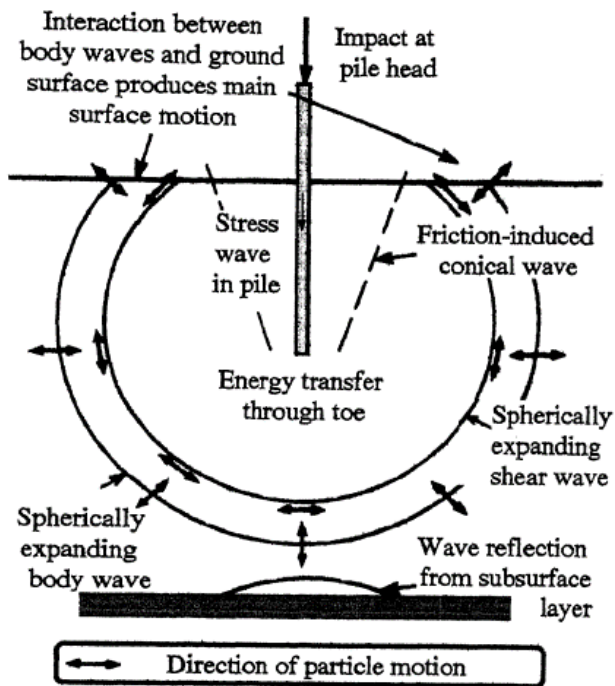


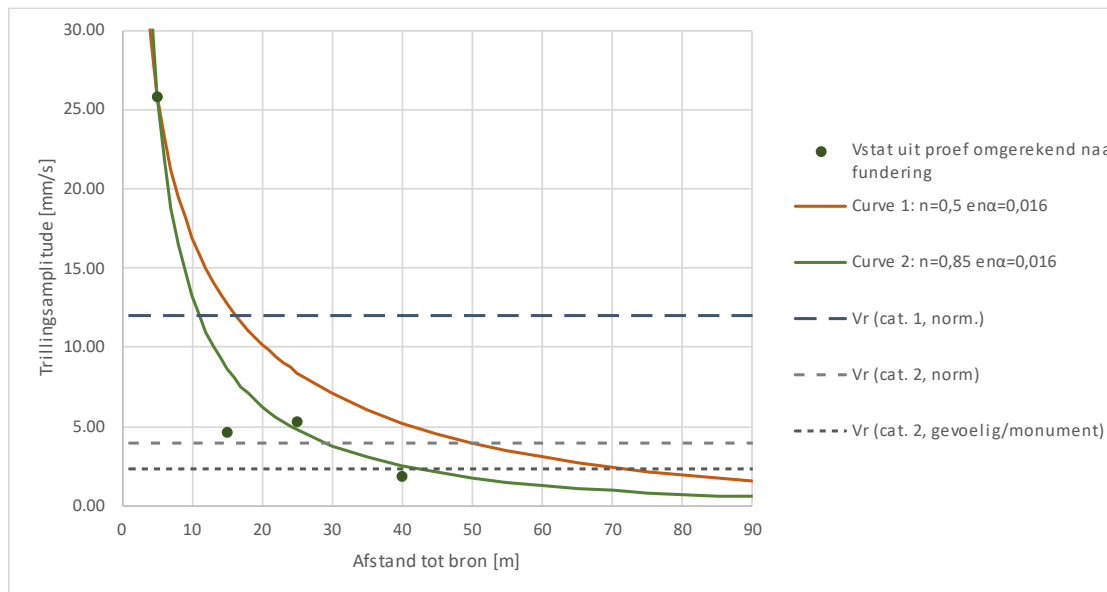
Fig. 5. Schematic representation of wave field in the ground, generated by vertical impact on a pile, after Martin (1980)

Praktijkvoorbeeld

In de huidige praktijk worden binnen projecten soms installatieproeven uitgevoerd om de predicties volgens de CUR166 methodiek te valideren of aan te scherpen. Tijdens een recente damwandproef voor project IJsselwerken Zwolle-Olst was duidelijk te zien dat de gemeten trillingsniveaus op verschillende afstanden van de bron lager waren dan voorspellingen volgens CUR166. Direct naast de bron bleken de meetresultaten in lijn met de predicties, maar in het bereik van 5 tot 30 m van de bron bleek duidelijk een sterkere afname van trillingen met afstand tot de bron. Dit is te zien in afbeelding 3.2. In deze afbeelding geven de stippen de gemeten en statistisch gecorrigeerde trillingsniveaus¹ op maaiveld op verschillende afstanden van de bron weer. Curve 1 laat de gebruikelijke afstandsrelatie zien conform de methodiek die uit de CUR166 [CUR, 2012]. Curve 2 laat de uit de proef afgeleide afstandsrelatie zien, voor parameters $n = 0,85$ en $\alpha = 0,016$ welke zijn bepaald aan de hand van de gemeten trillingsniveaus. Verder staan in deze figuur ter indicatie drie horizontale lijnen die de grenswaarden voor schade volgens de SBR-A [SBRCURnet, 2017] voor drie situaties weergeven. In dit voorbeeld ontstaat hierdoor, voor gevoelige of monumentale panden uit categorie 2, een schadecontour afstand optimalisatie van 70 naar 40 m. Dit duidt de relevantie van een betere methodiek voor predictie van trillingen op beperkte afstand van de bron.

¹ Berekend volgens de statistische methode uit SBR A [SBRCURnet, 2017].

Afbeelding 3.2 Voorbeeld van afstandsrelatie en proefresultaten van damwandproef IJsselwerken Zwolle-Olst



Kennisontwikkeling

Trillingen ten gevolge van uitvoeringswerkzaamheden resulteren in hinder en risico op schade aan belendingen. Vereenvoudigde rekenregels om trillingsintensiteit als functie van afstand tot de bron uit te rekenen zijn betrouwbaar op grotere afstand van de bron, maar schieten dus aantoonbaar tekort voor het gebied direct rondom de bron (de zogenaamde ‘near-field’-effecten). In dit beïnvloedingsgebied doen de beschikbare rekenregels geen recht aan:

- de mate waarin verschillende golfmoden worden aangeslagen;
- de complexe geometrieën (het dijkprofiel is anders dan een open veld);
- de verlopende maaiveldhoogte in het achterland;
- de gelaagdheid van de grond (denk aan asfaltlagen en antropogene kleilagen);
- de verschillende type trillingen (golfvormen) die invloed hebben op de trillingsniveaus in het nabije veld.

Specifiek voor dijkversterkingsprojecten ontstaan hiermee grote onzekerheden met betrekking tot de omgevingseffecten door trillingen. De onzekerheid in deze ‘near-field’-effecten wordt in de praktijk met conservatieve inschattingen opgevangen. Geavanceerde modellen kunnen tot betere predicties leiden, maar zijn kostbaar, bronmodellering binnen dergelijke modellen is complex en uniformiteit over verschillende HWBP projecten is een aandachtspunt. Het doel van het onderzoek is om te komen tot een verbeterde werkbare en uniforme methode voor “near-field” trillingen waarin fysica en empirie beter in balans zijn.

Potentieel

Het hanteren van vereenvoudigde conservatieve ontwerpbenaderingen is in de dagelijkse praktijk vaak logisch en verdedigbaar, maar in sommige dijkversterkingen leidt dit ook tot mogelijk te conservatieve ontwerpkeuzes. Onnodig niet toestaan van trillend installeren van damwanden, en dus overgaan op drukkend installeren, is hier een voorbeeld van. Drukkend installeren is kostbaarder (langzamer), resulteert regelmatig in een toename van materiaalgebruik, maar is daarnaast niet altijd technisch

haalbaar. Er bestaat hiermee de behoefte om beter te kunnen inschatten in welke situaties trillend installeren van damwanden met acceptabele risico's kan plaatsvinden. Beter rekenregels hiervoor kunnen worden overgenomen in addenda bij richtlijnen zoals CUR 166 [CUR, 2012] en CUR 2175 [SBRCURnet, 2017] en resulteren mits goed onderbouwd dan ook tot acceptabele schaderisico's en daarmee verzekerbare werken.

Het verbeteren van de rekenmethode en het verkleinen van de onzekerheden verbetert hiermee de beheersbaarheid van HWBP projecten. Deze beheersbaarheid heeft betrekking op:

- nauwkeurigere voorspelling van effecten op de omgeving (MER);
- beter inzicht in de meerwaarde van alternatieve installatietechnieken;
- voorkomen van vertraging in de uitvoering;
- besparen van onnodig meerkosten en CO2 belasting door inefficiënter materiaalgebruik;
- efficiëntere bepaling van het schaderisico ook in relatie tot verzekerbaarheid;
- optimalisatie van installatiemethoden op basis van nieuwe inzichten.

Het doel van het onderzoeksvoorstel is het verbeteren van de rekenmethode en het verkleinen van de onzekerheden bij trillings- en schadevoorspellingen bij objecten door in te zetten op kennisontwikkeling over de voortplanting van trillingen in en rondom waterkeringen bij het installeren van damwanden. Met dit doel wordt specifiek ingezet op het verbeteren van de afstandsrelatie nabij de bron (tussen de bron en ongeveer 25 m vanaf de bron) voor een gegeven amplitude op de referentie afstand van de trillingsbron. Deze beide parameters kunnen berekend worden met de aanpak zoals in de CUR166 beschreven staat, kunnen of uit trillingsmetingen van vergelijkbare projecten of damwandproeven afgeleid worden.

3.2 Toepasbaarheid in Nederland

Het toepassingsgebied van deze kennisontwikkeling zijn voornamelijk dijkversterkingsprojecten in Nederland waarbij damwanden worden geïnstalleerd als onderdeel van het versterkingsontwerp. Het grootste positieve effect van betere methoden voor voorspelling van trillingen in en rond dijken voorzien wij bij grotere maar vooral complexere dijkversterkingen waar sprake is van nabijheid van bebouwing. Projecten waarbij wij momenteel betrokken zijn en waarvoor een duidelijke meerwaarde van dit onderzoek zou ontstaan zijn Markermeerdijken, KIJK en IJsselwerken Zwolle-Olst.

3.3 Aansluiting op HWBP Programmadoelstellingen

De programmadoelstelling van HWBP legt nadruk op het tijdig maar sober en doelmatig versterken van alle primaire keringen die niet aan de norm blijken te voldoen. Ons voorstel draagt op alle drie bovengenoemde aspecten bij aan uitvoering van het programma, namelijk:

- **tijdig:** In de huidige praktijk ontstaan vertragingen in projecten door onzekerheden over de effecten van trillingen. Daarbij is specifiek de onderlinge afhankelijkheid van uitvoeringsmethode, ontwerp en omgevingsbeïnvloeding een complicerende factor. Het beter inschatten van effecten van trillingen draagt hiermee bij aan planningsoptimalisatie;
- **sober:** Indien trilling ontoelaatbaar wordt geacht dan wordt drukkend installeren van damwanden veelal als alternatief gezien. Drukkend installeren kent een tragere uitvoering en daarnaast zijn om deze uitvoeringsmethoden mogelijk te maken soms langere en zwaardere damwanden vereist. Zowel een tragere uitvoering als meer materiaalgebruik gaan ten koste van een sobere oplossing. Het

reduceren van onzekerheden van trillingspredicties draagt bij aan het voorkomen van onnodig dure oplossingen;

- **doelmatig:** Trillend installeren van damwanden is minder kostbaar dan drukken (minder staal, snellere doorlooptijd, minder problemen tijdens uitvoering), dus als met aanscherping van trillingspredicties predictie vooraf de keuze gemaakt kan worden voor trillen komt dit ten goede aan tijdige keuze voor een doelmatige oplossing. Tevens ontstaat hiermee een betere basis voor ontwerpafwegingen waarmee ontwerpers meer vrijheid krijgen voor betere integrale oplossingen.

De dijkversterkingen in Nederland worden gefinancierd met publieke gelden, en dus is een innovatie die uitvoeringsmogelijkheden vergroot, uitvoeringstrajecten versnelt, en uitvoeringskosten bespaart, van maatschappelijk belang.

3.4 Potentie van het doel

De potentie van het onderzoek is dat, door minder onzekerheden in de predictie, de risicocontouren op schade van de omliggende belendingen scherper en waarschijnlijk kleiner geformuleerd kunnen worden. Verbeterde rekenmethoden dragen bij aan een meer consistent beeld bij het risico door trillingen ten gevolge van uitvoeringswerkzaamheden gedurende de achtereenvolgende fases van een project (vergunningen > ontwerp > uitvoering). Dit komt de voortgang van een project in alle fases ten goede. Maatschappelijke impact en kosten zijn groot bij onzekerheid over schaderisico's. Dit onderzoek beoogt de onzekerheid te verkleinen

Kleinere risicocontouren leiden daarnaast tot meer vrijheid in keuze voor installatiemethodes, waarmee intrillen van damwanden vaker/sneller een optie zal zijn en daarmee resulteert in besparing van materialen (staal) en tijd (bouwtijd en snellere ontwerploops), het verkleinen van onzekerheden, en in sommige gevallen een reductie van bouwkosten. Hierbij dient herkend te worden dat trillingscontouren, ontwerp en uitvoeringsmethoden van elkaar afhankelijk zijn. De reden hiervoor is dat drukkend installeren van damwanden kan resulteren in langere en zwaardere planken. Geoptimaliseerde ontwerpen en uitvoeringsmethoden zijn daardoor indirect mogelijk door de verbetering van de afstandsrelatie voor 'near-field' golfvoortplanting.

Samengevat omvat de potentie op de thema's 'Maatschappelijke impact', 'Maakbaarheid', 'Duurzaamheid' en 'Kosten' onder andere:

Maatschappelijke impact

- minder onzekerheid vergroot draagvlak voor projectorganisatie en bestuurders;
- trillen is sneller, waardoor de doorlooptijd van uitvoering korter is en uitvoering daarmee minder lang tot overlast voor omwonende leidt;
- trillen vermindert de onzekerheden m.b.t. voortgang van het werk.

Maakbaarheid

- capaciteit van machines is bij drukkend installeren soms kritiek. Een voorbeeld hiervan deed zich voor bij project Meanderende Maas met de piping schermen in zand;
- kortere damwandschermen kunnen soms niet vanwege haalbaarheid drukken. Een voorbeeld hiervan is project KIIJK;
- conservatief plankontwerp levert soms aanvullende complexiteit voor de uitvoering, zoals bijvoorbeeld bij een project als KIIJK waar veel lintbebouwing aanwezig is en weinig deeltrajecten overblijven waar damwanden trillend geïnstalleerd kunnen worden.

Duurzaamheid

- bij drukkend installeren wordt de stelling op reeds geïnstalleerde planken geplaatst wat kan resulteren in zwaardere planken vanwege uitvoeringsmethode drukken. Dit betekent meer materiaalgebruik en dus een grotere project footprint;
- trillend installeren laat de mogelijkheid open voor bijvoorbeeld kunststof planken als alleen een piping scherm nodig is. Dit is niet mogelijk bij drukken.

Kosten

- intrillen van damwandplanken gaat sneller dan drukken. Dit resulteert direct in minder bouwkosten;
- intrillen kan noodzaak zwaardere planken voor drukken voorkomen en daarmee kosten besparen;
- kosten bij stilleggen van uitvoering stijgen fors. Beter inschatten van risicocontouren verkleint risico op stilleggen;
- betere rekenmethoden komen ten goede aan de verzekerbaarheid van uitvoeringsprojecten.

3.5 Kennisvraag

Door (fundamenteel) onderzoek te doen aan de propagatie van trillingen in de ondergrond door het trillend installeren van damwanden, kan een scherper beeld gevormd worden van het effect van de trillingen op de omgeving/belendingen. De voornaamste kennisvraag die het onderzoek moet beantwoorden is:

Met welke relaties of methode kan propagatie van trillingen dicht bij de bron (5 - 25 m), ten gevolge van het installeren van damwanden in waterkeringen, beter beschreven worden?

De deelvragen zijn conform het document HWBP K&I agenda beschreven in het volgende hoofdstuk.

3.6 Benodigde kennis om doel te bereiken

Om de onderzoeksdoelstellingen te bereiken is de volgende kennis benodigd:

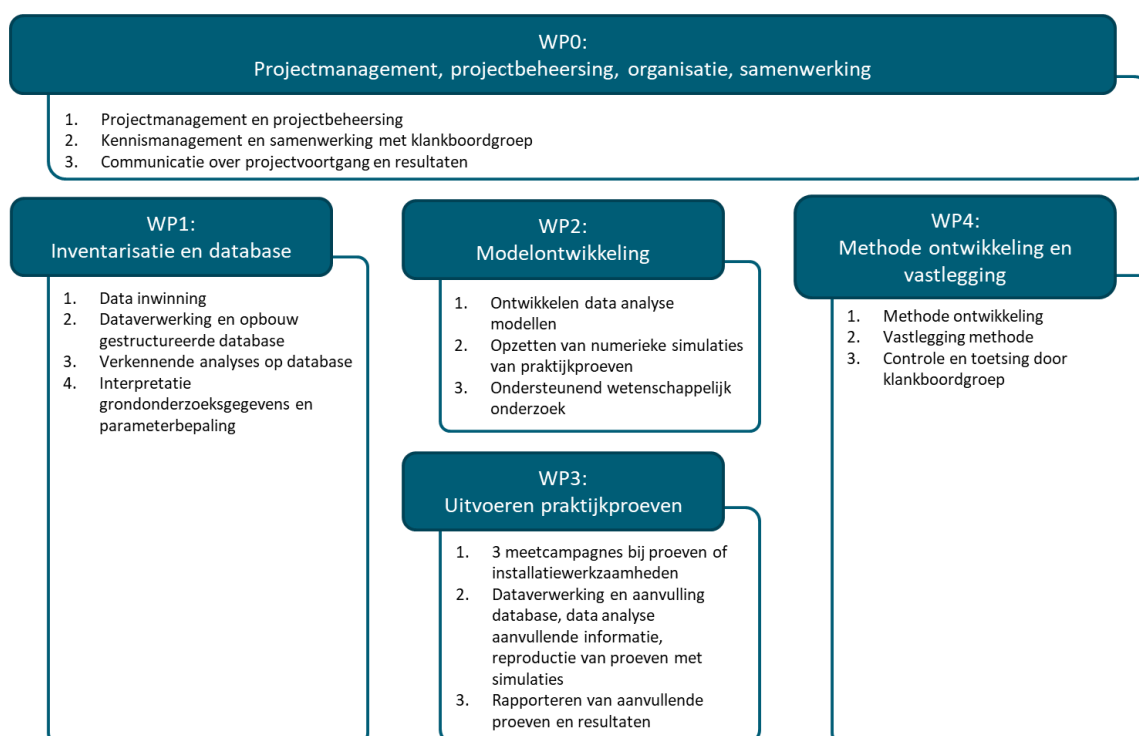
- resultaten van analyseren en structureren van data vanuit reeds uitgevoerde trillingsmetingen bij damwandinstallaties of damwandproeven en daarnaast data uit nieuwe metingen;
- kennis van golfpropagatie, specifiek voor:
 - trillend installeren van palen en damwanden;
 - invloed van hoogteverschillen terrein en obstakels zoals wegen;
 - gelaagdheid ondergrond en variatie in demping tussen grondlagen en verschillende locaties;
 - overdracht van de bodem naar funderingen;
- gebruik van FEM simulaties om trillingpropagatie te analyseren en data uit veldproeven te reproduceren;
- kennis van data modellen, data analyse en automatisering om bovenstaande kennisvelden te combineren en data/resultaten om te zetten naar informatie/inzichten. Hierbij wordt onder andere gedacht aan Random Forest analyses om relaties uit data te verkrijgen.

4 Aanpak en resultaat

4.1 Plan van aanpak, werkpakketten en deel-resultaten

Het onderzoek zal worden opgedeeld in werkpakketten. Door de werkpakketten ontstaat een overzichtelijke structuur waarin de ontwikkeling van de innovatie vormgegeven kan worden. Overkoepelend wordt een werkpakket voorzien voor projectmanagement, projectbeheersing, organisatie en samenwerking. Hieronder staan de verschillende werkpakketten verder uitgewerkt, in aansluiting op geformuleerde deelvragen, en met daarbij een beknopte beschrijving van de beoogde resultaten. Een overzicht hiervan is te zien afbeelding 4.1 en in afbeelding 4.2.

Afbeelding 4.1 Overzicht van werkpakketten



Werkpakket 0: Projectmanagement, projectbeheersing, organisatie, samenwerking

Dit werkpakket omvat de aansturing en organisatie van het project en de afstemming met alle betrokken partijen. Onder dit werkpakket zijn geen specifieke kennisdeelvragen voorzien. Dit werkpakket wordt geleid door HHSK en Witteveen+Bos. De activiteiten en resultaten worden samengevat in tabel 4.1.

Tabel 4.1 Activiteiten werkpakket 0

Activiteit	Beschrijving	Product/resultaat
WP0-1	projectmanagement en projectbeheersing	PM-plan, projectcontrols, overleggen
WP0-2	kennismanagement en samenwerking met klankbordgroep	betrekken relevante kennis, samenwerking met klankbordgroep
WP0-3	communicatie over projectvoortgang en resultaten	externe uitingen van (deel-)resultaten. Kennis congressen/symposia samen met HHSK

Werkpakket 1: Inventarisatie en database

Dit werkpakket omvat de inventarisatie van reeds beschikbare data vanuit HWBP projecten en het opzetten van een gestructureerde database om deze informatie in het onderzoeksproject te kunnen ontsluiten en gebruiken. Er wordt door HHSK contact gelegd met de andere waterschappen om relevante data en informatie beschikbaar te maken voor het onderzoek. Ook de resultaten van de projecten BAS en Nederlek die destijds in Geobrain (Deltares) zijn vastgelegd zullen worden ontsloten. Witteveen+Bos beoordeelt vervolgens de geschiktheid van de data en verwerkt deze verder in het onderzoek. Wij maken hier onderscheid tussen hoogwaardige data van proeven waar alle relevante informatie beschikbaar kan worden gemaakt t.b.v. de database, en overige proefresultaten waar mogelijk minder data en/of informatie beschikbaar komt maar welke toch meerwaarde hebben voor kennisontwikkeling. Dit werkpakket wordt geleid door Witteveen+Bos. Deelvragen die binnen dit werkpakket beantwoord zullen worden zijn:

- welke datasets uit reeds uitgevoerde projecten/proeven zijn beschikbaar?
- welke inzichten ontstaan uit het combineren van deze datasets in een gestructureerde database?

De activiteiten en resultaten worden samengevat in tabel 4.2.

Tabel 4.2 Activiteiten werkpakket 1

Activiteit	Beschrijving	Product/resultaat
WP1-1	data inwinning	datasets beschikbaar voor het onderzoek
WP1-2	data verwerking en opbouwen gestructureerde database	database gereed
WP1-3	verkennende analyses op de database	een basis voor nadere analyses/definitie van modellen/vaststellen van aanvullend benodigde proeven
WP1-4	interpretatie grondonderzoeksgegevens en parameterbepaling	rapportages interpretatie grondonderzoek

Werkpakket 2: Modelontwikkeling

Dit werkpakket omvat de ontwikkeling van data-gedreven modellen en numerieke simulaties om proefresultaten te analyseren en reproduceren. Hierbij sluiten wij aan op de proefresultaten uit de inventarisatie. De resultaten van de praktijkproef van project KIIK dragen hier direct bij en kunnen gebruikt worden voor modelontwikkeling. Dit werkpakket wordt geleid door TU Delft en Witteveen+Bos.

Deelvragen die binnen dit werkpakket beantwoord zullen worden zijn:

- welke type golven/trillingsvormen komen voor in het nabije veld en in welke onderlinge verhouding?
- hoe wordt dit beeld beïnvloed door de eigenschappen van de damwand, de installatiewijze en de lokale grondopbouw (bijvoorbeeld: in welke mate hebben diepere vaste grondlagen een bepalende invloed)?
- welke mate van demping in de ondergrond kan aantoonbaar worden gemaakt uit de beschikbare data en welke (bodem-)eigenschappen zijn hierbij bepalend bij gelaagde grond?
- wat is de invloed van veranderingen in geometrie of obstakels in het beïnvloedingsgebied?
- welk type modellen zijn geschikt om metingen te reproduceren?

De activiteiten en resultaten worden samengevat in tabel 4.3.

Tabel 4.3 Activiteiten werkpakket 2

Activiteit	Beschrijving	Product/resultaat
WP2-1	ontwikkelen data analyse modellen	data-gedreven modellen en analyserapporten
WP2-2	opzetten van numerieke simulaties van praktijkproeven	numerieke simulaties en analyserapporten
WP2-3	ondersteunend wetenschappelijk onderzoek	inhoudelijke bijdrage aan WP2-2 en WP2-3

Werkpakket 3: Uitvoeren praktijkproeven

Dit werkpakket omvat de organisatie en het uitvoeren van metingen bij aanvullende praktijkproeven. De aansturing van dit werkpakket is nader vorm te geven, afgestemd op de definitieve invulling van de praktijkproeven. De ontwikkeling en voorbereiding van meetsystemen vormt onderdeel van dit werkpakket. Om onnodige vertragingen van het onderzoek te voorkomen worden voorbereidende werkzaamheden reeds parallel met de uitvoering van WP1 gestart.

Deelvragen die binnen dit werkpakket beantwoord zullen worden zijn:

- welke aanvullende proeven/metingen moeten worden uitgevoerd?
- ondersteunen de resultaten van deze metingen de inzichten uit WP1 en WP2 en kunnen we ook deze aanvullende proeven met dezelfde opzet van modellen reproduceren?

De activiteiten en resultaten worden samengevat in tabel 4.4.

Tabel 4.4 Activiteiten werkpakket 3

Activiteit	Beschrijving	Product/resultaat
WP3-1	3 aanvullende meetcampagnes bij toekomstige proeven/installatiewerkzaamheden damwanden in dijken inclusief voorbereiding meetapparatuur	meetplannen proeven, grondonderzoek interpretatie rapporten*, analyserapporten
WP3-2	data verwerking en aanvullen van database, data analyse op aanvullende meetdata, reproductie van proeven met simulaties	update database, data modellen, numerieke simulaties en analyserapporten
WP3-3	rapporteren van aanvullende proeven en proefresultaten	rapportage proeven en proefresultaten

* Hierbij gaan we ervan uit dat we aansluiten op lopende HWBP projecten waarvoor grondonderzoek beschikbaar is t.b.v. het onderzoek.

Werkpakket 4: Methode ontwikkeling en vastlegging

Dit werkpakket omvat de methodeontwikkeling en vastlegging voor betere predictie van 'near-field' trillingen in dijken bij installatie van damwanden. Deze ontwikkeling komt tot stand op basis van kennis, resultaten en inzichten vanuit voorgaande werkpakketten. Het beoogde resultaat is een verbeterde werkbare en uniforme methode voor 'near-field' trillingen, met een betere fysische en empirische basis, waarmee een realistisch trillingsniveau op afstand van bron voorspeld kan worden, rekening houdend met:

- dijkgeometrie en grondopbouw (wel geschematiseerd of per regio ingedeeld, niet te hoog detailniveau);
- locatie van de belending ten opzichte van de bron;
- planktype, inbrengdiepte en uitvoeringsmethode;

- funderingstypes panden (optioneel).

De relatie geeft bij voorkeur een verbeterde trillingspredictie middels een verwachtingswaarde en daarnaast een maat van variatie/onzekerheid. De methode moet aansluiten op de vernieuwde methode in CUR166 voor het bepalen van brontrilling amplitude. Dit werkpakket wordt geleid door Witteveen+Bos.

Deelvragen die binnen dit werkpakket beantwoord zullen worden zijn:

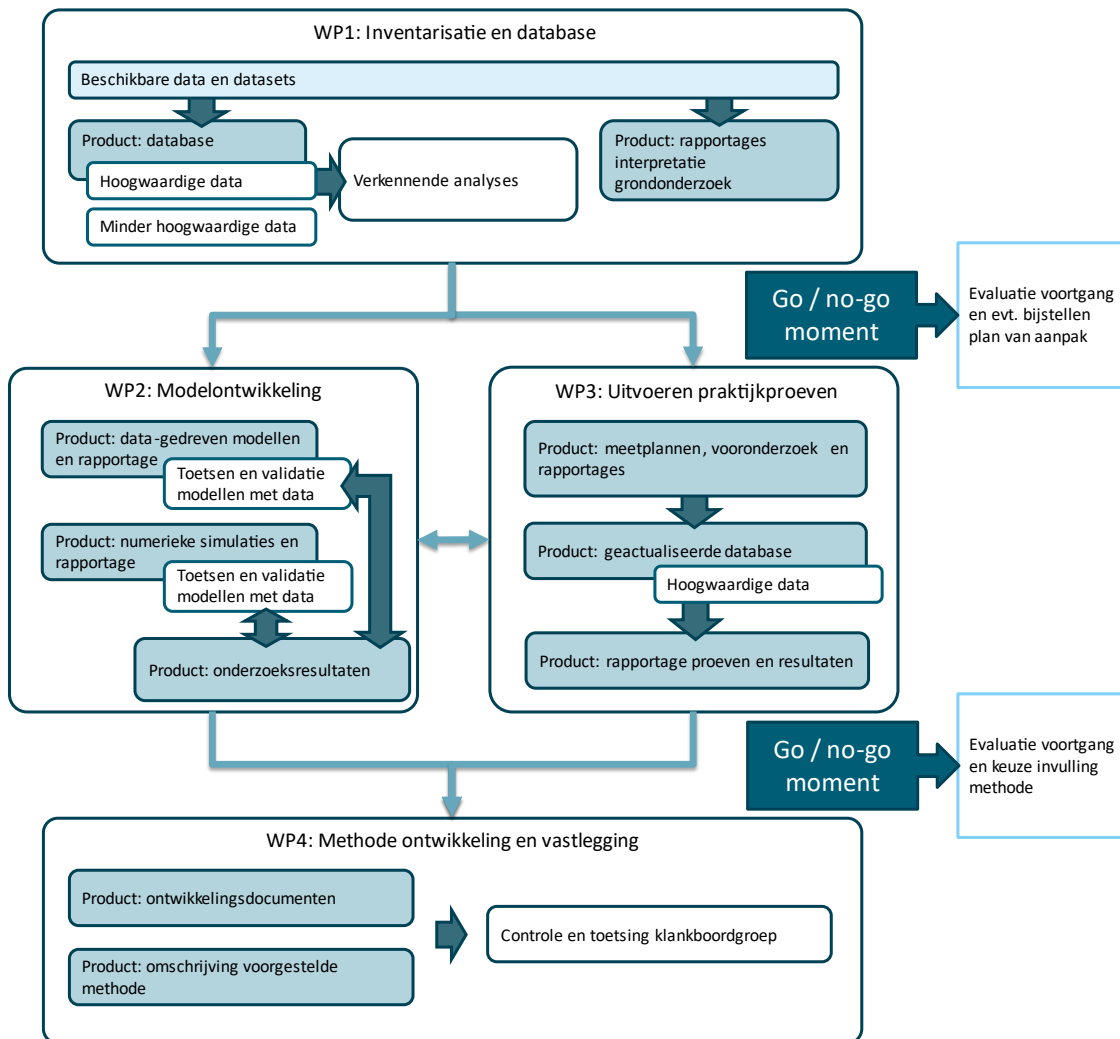
- welke inzichten geven de analyses met modellen om metingen te reproduceren, met het oog op een verbeterde methode voor predictie van trillingen?
- hoe kunnen inzichten uit proeven/metingen, data-analyses en numerieke modellen gezamenlijk worden gebruikt voor het afleiden van een verbeterde methode voor ‘near-field’ trillingspredicties?
- hoe kan binnen een verbeterde voorgestelde methode het beste rekening gehouden worden met de invloed van de verschillende funderingstypes van belendingen? (optioneel).

De activiteiten en resultaten worden samengevat in tabel 4.5.

Tabel 4.5 Activiteiten werkpakket 4

Activiteit	Beschrijving	Product/resultaat
WP4-1	methode ontwikkeling en vastlegging	met een beschrijving van de voorgestelde methode (en onderliggende data), ter aanbod aan HWBP/CUR als basis voor een nader uit te werken praktijkadvies en/of richtlijn
WP4-2	controle en toetsing door klankbordgroep	lijst met opmerkingen en aanbevelingen van de klankbordgroep met een voorstel tot verwerking hiervan

Afbeelding 4.2 Overzicht van processen en producten



4.2 Producten

Om de genoemde producten en resultaten per activiteit in Tabel 4.1 t/m Tabel 4.5 te concretiseren, geeft Tabel 4.6 een overzicht van de geplande producten met daarbij een inschatting van het moment van oplevering. Waar een productnummer eindigt met .x betreft dit het volgnummer en is er sprake van meerdere producten. Van alle genummerde producten wordt voorzien dat deze extern gedeeld kan worden.

Tabel 4.6 Producten

Werkpakket	#	Product	Oplevering (inschatting)
WP0-1	P1	Projectmanagementplan	2024-Q3
WP0-1	P2.x	Voortgangsrapportages	Maandelijks
WP0-3	P3	Externe uitingen (deel-)resultaten, presentatie(s) met bevindingen op congressen/symposia	2025-Q2, 2026-Q2
WP1-1		Per beschikbare dataset een kwalitatief oordeel over de bruikbaarheid voor het onderzoek	
WP1-2	P4	Een gestructureerde (lokaal gehoste) database met korte beschrijvende handleiding. Voor zo ver als mogelijk gevuld met de opgewerkte data voor die datasets die bruikbaar worden geacht voor het onderzoek.	2024-Q4 (vóór meetcampagnes)
		Update database met nieuwe data.	2026-Q1 (na meetcampagnes)
WP1-3		Per bruikbare dataset een (deel-)rapportage (in bewerking) met beschrijving van kwalitatieve en kwantitatieve eigenschappen van data, gericht op bruikbaarheid voor nadere analyses en ontbrekende data	
WP1-4		Per bruikbare dataset een (deel-)rapportage (in bewerking) met interpretatie van de beschikbare grondonderzoeksgegevens en relevante parameterbepaling	
WP1	P5	Overkoepelende rapportage met integratie deelrapportages en overwegingen bij WP1-1, WP1-2, WP1-3 en WP1-4.	2025-Q1
WP2-1		Data-gedreven modellen en (deel-)rapportage (in bewerking) met daarin analyse en bevindingen	
WP2-2		Numerieke simulaties en (deel-)rapportage (in bewerking) met daarin analyse en bevindingen	
WP2	P6	Overkoepelende rapportage met integratie deelrapportages WP2-1, WP2-2 en overige onderzoeksresultaten indien relevant	2025-Q3 (tussenversie)
		Update product na uitvoering praktijkproeven	2026-Q1 (eindrapportage)
WP3-1	P7.x	Per meetcampagne meetplan en ruwe meetdata (factual report)	Afhankelijk van planning proeven
WP3-3	P8.x	Per meetcampagne beschrijving proeven en resultaten (interpretatie report)	Afhankelijk van planning proeven
WP4-1	P10	Document methodeontwikkeling	2026-Q1
WP4-2	P11	Implementatievoorstel onderzoeksresultaten	2026-Q1
WP4-2	P12	Lijst met opmerkingen en aanbevelingen klankbordgroep met een voorstel voor of/hoe deze te verwerken	2026-Q2

4.3 Afbakening

In de werkpakketbeschrijvingen is per werkpakket inzichtelijk gemaakt welke werkzaamheden binnen de scope worden voorzien. Met betrekking tot de afbakening van de scope van het onderzoek geldt verder:

- in WP1 spannen wij ons in om via het netwerk van HHSK en HWBP en haar kennispartners zoveel mogelijk hoogwaardige data in te winnen en deze gestandaardiseerd te verzamelen in één database. Afbakening van de werkzaamheden volgt in deze fase zowel het beschikbare budget als de beschikbaarheid van data;

- de werkzaamheden van *WP2 - Modelontwikkeling* stemmen wij af op de (tussen)resultaten van WP1 en WP3. Numerieke simulaties worden voorzien voor enkele casussen waarvoor voldoende data en informatie beschikbaar is om onzekerheden voldoende in te perken. Voor de overige praktijkvoorbeelden wordt een data-gedreven aanpak gevolgd;
- in ons voorstel zijn wij voor *WP3 - Uitvoeren praktijkproeven* - uitgegaan van 3 aanvullende praktijkproeven, waarbij we aansluiten op reeds geplande praktijkproeven in lopende HWBP projecten. De (aanvullende) monitoring wordt dan gedekt vanuit het onderzoeksproject, de uitvoering van de proef vanuit het dijkversterkingsproject;
- het voorgestelde onderzoek richt zich primair op kennisontwikkeling van ‘near-field’ trillingen bij installatie van damwanden in dijken met als doel om tot een betere methode voor ‘near-field’ trillingspredicties te komen en daarmee ook een betere basis te hebben voor omgevingsbeïnvloeding op grotere afstand van de bron. Mogelijk geeft de fase van inventarisatie en opbouw van de database aanleiding om, als bijvangst, nieuwe bron- en dempingswaarden vast te stellen voor andere grondprofielen dan opgenomen in CUR166;
- beheer en ontsluiten van de database na afronding van het onderzoek valt niet binnen het onderzoek. Het voornaamste belang is dat de database die we ontwikkelen toegankelijk gaat zijn voor alle kennispartners. Ons voorstel zou zijn om tijdens uitwerking van het project te zorgen dat de database die we opstellen overdraagbaar is en dan te bezien hoe we deze gaan beheren en ontsluiten en welke rol HWBP hierin kan/wil nemen en hoe wij HWBP daarbij kunnen ondersteunen.

4.4 Succeskanen en risico's van het onderzoek

Succeskanen

De kans op succes van het voorgesteld onderzoek wordt aanzienlijk geacht om de volgende redenen:

- de vereenvoudigde CUR166 methode die in de praktijk gebruikt wordt voor trillingspredicties is fysisch niet juist voor predictie van ‘near-field’ trillingen en verbetering is daarmee waarschijnlijk realistisch;
- er zijn/worden reeds praktijkproeven uitgevoerd, zoals onder andere bij projecten IJsselwerken, Meanderende Maas en KIIK, en daarmee is er al data voor kennis- en methodeontwikkeling beschikbaar;
- binnen het onderzoek zijn aanvullende proeven/metingen voorzien om de ontbrekende benodigd data in te winnen;
- data-gedreven analysetechnieken van trillingendata en koppeling daarvan aan bron- en omgevingsvariabelen zijn beschikbaar binnen de betrokken kennispartijen;
- binnen de vakgroep Dynamics of Solids & Structures van de TU Delft is er ruime ervaring met de modellering van ‘vibratory pile driving’ en de dataverwerking in bijbehorende veldexperimenten. Recent is er een PhD student op dit onderwerp gepromoveerd [Tsetas, 2023]. Daarnaast is er ook ruime ervaring in het beschrijven en voorspellen van golfvoortplanting in de bodem en de daarmee gepaard gaande trillingshinder. Binnen dit onderzoeksproject zal worden voortgebouwd op de aanwezige kennis en methoden en zal en vooral worden toegespitst op dit specifieke probleem van damwanden in dijken;
- ontwikkeling van een werkbare methode wordt realistisch geacht. De invulling is nader te bepalen, ofwel in de vorm van een verbeterde vereenvoudigde methode in geval van een uniform beeld met duidelijke afhankelijkheden, ofwel in de vorm van code/software wanneer meer complexe relaties gelden.

Risico's

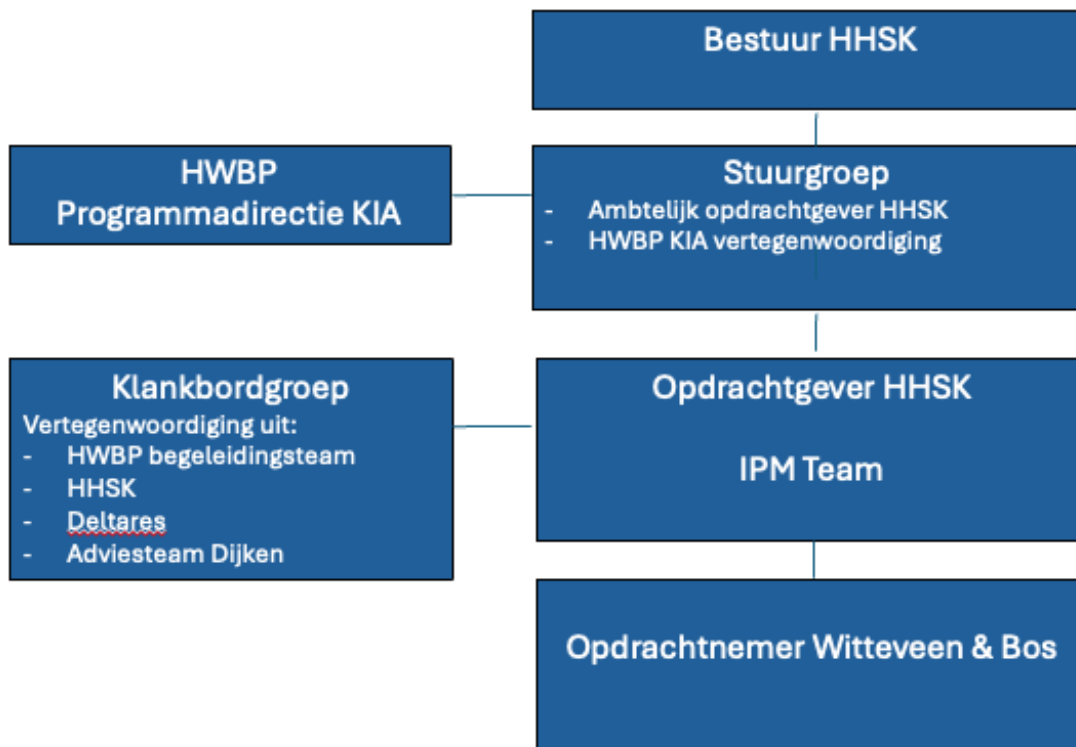
Risico's worden besproken in paragraaf 4.5 (Projectbeheersing).

4.5 Projectbeheersing

4.5.1 Organisatie en aansturing

Bij de uitvoering van dit project zijn diverse partijen betrokken. In onderstaand organogram worden de onderlinge relaties weergegeven. Onder het organogram worden de rollen en verantwoordelijkheden toegelicht.

Afbeelding 4.3 Overzicht van processen en producten



- **(Dagelijks) Bestuur HHSK:** indiener subsidieaanvraag
- **HWBP (Programmadirectie KIA):** subsidieverlener voor dit onderzoek vanuit de Kennis & Innovatie agenda, coördinerende rol in afstemming met andere HWBP projecten en delen van kennis;
- **Stuurgroep:** neemt besluiten m.b.t. de Go/No Go momenten tussen de werkpakketten en eventuele bijstelling van de aanpak. Vertegenwoordiging vanuit HHSK en HWBP. Er zijn 2 stuurgroepbijeenkomsten gepland, waarin Go/No Go besluiten genomen kunnen worden.
- **Klankbordgroep,** adviseert het projectteam en de stuurgroep. Er staan in **totaal 6 klankbordgroepbijeenkomsten** gepland (zie ook PPI planning in Bijlage B):
 1. Bij aanvang project (herfst 2024)
 2. Na oplevering deelrapportages WP1 (december 2024) en voorafgaand aan start WP2 en WP3 en aanstelling post-doc TUD. Doel is inschatten haalbaarheid betere modellering. Dient als input voor Go/No Go door stuurgroep.
 3. Tijdens werkzaamheden WP2 (bijsturing) en voor aanvang eerste meetcampagne WP3 (voor zomervakantie 2025)
 4. Na eerste meetcampagne WP3 en voor 2^e meetcampagne WP3 (lering trekken) (oktober 2025)

5. Voor aanvang WP4 en na oplevering conceptrapportages WP2 en WP3. Dient als input voor Go/No Go beslissing WP4 door stuurgroep
6. Na oplevering conceptrapportage WP4 (juli 2026)

Vertegenwoordiging vanuit:

- HWBP: Helle Larsen (expert constructies);
 - Deltares: Paul Hölscher (expert op gebied van trillingen in de ondergrond);
 - Adviesteam Dijken: n.t.b.
 - Crux: Almer van der Stoel
 - Vertegenwoordiging vanuit HHSK en evt. andere waterschappen;
- **Opdrachtgever HHSK:**
Het innovatieproject wordt vanuit HHSK door het volgende IPM team aangestuurd:
- | | |
|----------------------------|--|
| Projectmanager: | Martin Groenewoud |
| Technisch Manager: | Marco Weijland |
| Manager Projectbeheersing: | Maarten Lolcama |
| Contract Manager: | Benjamin Regeer |
| Omgevingsmanager: | N.t.b. (afhankelijk van locatie meetproeven) |
- **Opdrachtnemer Witteveen + Bos**
De werkzaamheden die door Witteveen + Bos worden uitgevoerd worden aangestuurd door projectleider Jos de Greef.

Algemene projectsturing

HHSK en Witteveen + Bos zijn gezamenlijk verantwoordelijk voor het doen slagen van het project. Beide partijen werken samen, waarbij HHSK opdrachtgever is en Witteveen + Bos Opdrachtnemer. Binnen de samenwerking heeft elke partij zijn eigen verantwoordelijkheden:

- **HHSK:** opsteller van het onderzoeksvoorstel samen met Witteveen+Bos, verantwoordelijk voor contact richting HWBP, interne contacten binnen HHSK en faciliteert inzet van een klankbordgroep voor het onderzoek. Samen met Witteveen+Bos verantwoordelijk voor projectmanagement en projectbeheersing, opdrachtgever voor damwandproef KIIK, coördinerende rol in het inwinnen van data vanuit projecten van andere waterschappen en het uitvoeren van aanvullende metingen bij andere dijkversterkingsprojecten;
- **Witteveen + Bos:** opsteller van het onderzoeksvoorstel samen met HHSK, levert het team dat het inhoudelijke deel van dit onderzoek uitvoert in samenwerking met TU Delft, inhoudelijk manager van het onderzoek, verantwoordelijk voor de oplevering van de inhoudelijke rapportages, opdrachtgever voor de inzet van de TU Delft postdoc, samen met HHSK verantwoordelijk voor projectmanagement en projectbeheersing;

Overige betrokkenen

- TU Delft: academische kennis van dynamica van ondergrond en constructies, aanstelling post-doc;
- Aannemingscombinatie KIGO, die de dijkversterking KIIK uitvoert:
 - RHDHV: kennis van dijkversterkingen in bebouwde omgeving en invloed van trillingen op belendingen;
 - Boskalis/VSF: kennis van installatie van damwanden in dijken;

4.5.2 Kwaliteitsmanagement

Het project wordt uitgevoerd volgens het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos, dat gecertificeerd is conform ISO 9001, en is vastgelegd in Kwaliteitshandboek van Witteveen & Bos. Het kwaliteitssysteem beschrijft de volgende zaken die van toepassing zijn op dit project:

- taken en verantwoordelijkheden van projectmedewerkers;
- documentenbeheer en archivering;

- procedure voor controle, goedkeuring en vrijgave van documenten;
- procedure voor interne audits;
- procedure voor het afhandelen van geconstateerde afwijkingen.

Alle werkzaamheden, documenten en producten die wij opstellen voldoen aan dit kwaliteitssysteem. Op deze manier borgen wij de kwaliteit van onze producten. Documenten doorlopen de volgende stappen uit dit systeem:

- 1 controleren: het vakinhoudelijk beoordelen door iemand anders dan de opsteller. Tijdens de aanvang van het project zal een projectmanagementplan worden opgesteld waarin per product vermeld zal staan wie het product reviewt. Deze reviewmomenten staan ook in de PPI planning opgenomen. Uiteraard zullen de hoofdproducten ook beoordeeld worden door de leden van de klankbordgroep.
- 2 goedkeuren: verklaren dat het document is gecontroleerd en aan de eisen van de opdrachtgever voldoet;
- 3 status en versienummer: elk document krijgt een status en na elke wijziging krijgt een document een nieuw versienummer.

Tijdens de aanvang van het project zal een projectmanagementplan worden opgesteld waarin per product vermeld zal staan wie het product reviewt. Deze reviewmomenten staan ook in de PPI planning opgenomen. Uiteraard zullen de hoofdproducten ook beoordeeld worden door de leden van de klankbordgroep.

4.5.3 Scopemanagement

De voorziene scope van het project is beschreven in paragraaf 4.1 van dit document. De werkpakketten worden bij aanvang van het project nader uitgewerkt in een meer gedetailleerde WBS, welke gekoppeld is aan planning en facturatie. Gedurende het verloop van het onderzoek herijken wij de optimale invulling van de werkpakketten indien resultaten uit voorgaande activiteiten daar aanleiding toe geven.

In geval van wijzigingen van de aanpak/scope ten gevolge van nieuwe inzichten of externe ontwikkelingen kan het nodig zijn om de aanpak/scope hierop aan te passen. In dit geval wordt dit vastgelegd in onze voortgangsrapportage en worden WBS en planning geactualiseerd. Belangrijke mijlpalen in dit proces zijn de op voorhand gedefinieerd go/no-go momenten, zoals weergegeven in afbeelding 4.2. Op deze momenten wordt door het projectteam van HHSK, Witteveen+Bos en TU Delft een expliciete afweging van de impact van resultaten tot dat moment in relatie tot de aanpak/scope gemaakt, vastgelegd en gedeeld met de klankbordgroep. De klankbordgroep adviseert de stuurgroep die een go/no-go besluit kan nemen tijdens de stuurgroepvergadering.

Het aangeduide go/no-go moment halverwege WP1 dient om de scope van WP2 en WP3 nader te definiëren met als doel om deze optimaal aan te laten sluiten op de (tussentijdse) resultaten vanuit WP1. Alleen in het uiterste geval dat reeds dan al is gebleken dat een verbeterde modellering geen haalbare kaart is, kan reden zijn voor de stuurgroep om een no-go besluit nemen.

Het tweede go/no-go moment zoals weergegeven in afbeelding 4.2 zal op basis van de resultaten van WP1, WP2 en WP3 genomen worden. Er zal dan worden vastgesteld of methode ontwikkeling en vastlegging (WP4) mogelijk en zinvol is.

Risicomanagement

Door risico's op tijd te signaleren en tijdig beheersmaatregelen te treffen wordt de impact van ongewenste gebeurtenissen in het project geminimaliseerd. Goed risicomanagement is voor het halen van de

projectdoelstellingen daarom essentieel. Er is een risicodossier opgesteld met een vijftal toprisico's, zie **bijlage A**.

De toprisico's staan afgebeeld in Tabel 4.7

Tabel 4.7 Top risico's uit risicodossier

Toprisico's	Beheersmaatregel(en)
De post-doc (TU Delft) is reeds gecontracteerd als blijkt dat een verbeterde modellering geen haalbare kaart is.	'Voorafgaand aan de contractering van de post-doc zal er een Go/NoGo moment worden ingelast (tijdens WP1), waarbij de klankbordgroep om advies wordt gevraagd inzake de haalbaarheid van een verbeterde modellering.
'Op basis van beschikbare data kan geen verbeterde modellering voor trillingen worden afgeleid.	<ul style="list-style-type: none"> - Er is budget gereserveerd voor aanvullende metingen bij projecten waar damwanden door trillingen worden ingebracht. Samen met het HWBP wordt gezocht naar geschikte projecten. - Met hulp van het HWBP zal beschikbare data van andere projecten in het land ontsloten worden. - Indien modellering te complex is, kan na uitvoering van WP2 (modellering) tijdens het 2^e Go/NoGO moment besloten worden om af te zien van WP4 (methode vastlegging).
Nieuw uitgevoerde metingen bij damwandprojecten leveren niet de gewenste gegevens op.	Leerpunten uit eerder uitgevoerde damwandproeven ophalen in inventarisatiefase (WP1) bij de direct betrokken partijen.
'Er zijn geen geschikte damwandprojecten voor het uitvoeren van aanvullende metingen.	Direct na aanvang van het project met behulp van het HWBP een overzicht maken van geschikte projecten en hun plannen.
Er wordt geen groen licht gegeven voor een 1 op 1 aanbesteding van de werkzaamheden aan W+B.	Bespreken met inkoopafdeling HHSK en met raamcontracthouders om uitzondering op aanbestedingsregels te bewerkstelligen.

We organiseren een gezamenlijke risicosessie bij aanvang van het project. Hierdoor wordt het risicodossier aangevuld met nieuwe risico's en creëren we een gezamenlijk gedragen dossier, met oog voor elkaars perspectieven. De betrokken partijen bespreken tijdens de voortgangsoverleggen het risicodossier om te kijken of grote verschillen zijn opgetreden.

In het risicodossier wordt per risico ten minste de volgende informatie vastgelegd:

- oorzaak, ongewenste gebeurtenis en gevolg;
- risico-eigenaar;
- voorgestelde beheersmaatregelen, inclusief status, actiehouders en deadline;
- risico-allocatie;
- inschatting gevolgen;
- inschatting kans van optreden;
- beoordeling van de mate van het geïdentificeerde risico na implementatie van de voorgestelde beheersmaatregelen.

Het risicodossier geactualiseerd door de projectleider als onderdeel van de voortgangsrapportage. In het voortgangsoverleg bespreken wij in ieder geval de 5 toprisico's. Wij bespreken of er voldoende voortgang is op de afgesproken beheersmaatregelen en of eventuele aanvullende maatregelen nodig zijn.

4.5.4 Planningsmanagement

Er is een PPI planning opgesteld, zie **Bijlage B**. De doorlooptijd van het project bedraagt circa 2 jaar. Na aanvang van het project zal een meer gedetailleerde invulling van de werkzaamheden en oplevering van eindproducten worden uitgewerkt.

Het doel van een planning is het beheersen van de activiteiten, die nodig zijn om de gestelde opdracht- en projectdoelstellingen te halen. De planning stelt ons in staat de voortgang in de tijd van de activiteiten te monitoren. De planning laat tenminste drie aspecten van de activiteiten zien. Dit zijn:

- de timing van activiteiten;
- de doorlooptijden van activiteiten;
- de samenhang tussen de activiteiten.

De risico's en de bijbehorende beheersmaatregelen spelen een belangrijke rol bij het behalen van de planning. De planning wordt proactief ingezet voor de projectbeheersing.

4.5.5 Financieel management

Er is een SSK kostenraming en een bijbehorende kostennota opgesteld waarin de Top 5 risico's uit het risicodossier zijn verwerkt, zie **Bijlage C en Bijlage D**.

Doel van het financieel management is het beheersen van de budgetten, het contract en de scope van de werkzaamheden in de opdracht en het conform afspraken verzorgen van de facturering.

De totaal geraamde kosten bedragen €1.247.958,- inc. BTW. Voor verdere details wordt verwezen naar de SSK kostenraming en een bijbehorende kostennota.

HHSK ontvangt het onderzoeksbudget vanuit HWBP. De andere betrokken partijen factureren aan HHSK.

5 Kennisstrategie

5.1 Gebruik en verankering van kennis

De kennis die in dit project wordt ontwikkeld landt bij alle partijen die betrokken zijn in de opgave van HWBP. De achterliggende data en informatie, de ontwikkelde kennis en de ontwikkelde methode worden verankerd in documenten waaronder het eindproduct: de blauwdruk van de verbeterde methode.

5.2 Toepasbaarheid van kennis

De kennis die wordt ontwikkeld binnen dit onderzoek kan direct ingezet worden in toekomstige HWBP projecten. Het is hiervoor zaak om de ontwikkelde kennis goed te verankeren, delen en de voorgestelde methode goed vast te leggen en af te stemmen met andere kennispartners. Mede hiervoor is de inzet van een klankbordgroep voorzien. We streven in het onderzoek naar de ontwikkeling van een blauwdruk van de verbeterde methode welke kan worden aangeboden aan HWBP en CUR en na enkele jaren van toepassing/doortesten (HWBP lemniscaat TRL/stap 7 en 8) kan leiden tot een nieuwe kennisbasis welke mogelijk verankerd kan worden in een toekomstige herziening van bijvoorbeeld CUR166 of CUR2175.

5.3 Relaties met andere ontwikkelingen

Als onderdeel van de herziening van CUR166 wordt gewerkt aan een verbetering van de methode voor trillingen door installatie van damwanden. Er worden voor meer bodemprofielen specifieke demping waarden gedefinieerd. Het onderzoek dat wij hier voorstellen naar een verbeterde methode voor ‘near-field’ propagatie van trillingen sluit hier goed op aan en kan ook voor andere grondprofielen bron- en dempingswaarden de definiëren en door het effect van dijklichamen op bronwaarden toe te voegen. Wanneer zowel de methode voor bronkracht, als de methode voor ‘near-field’ propagatie verbeterd worden dan ontstaat een sterk verbeterde methode voor predictie van trillingen in HWBP projecten.

5.4 Betrokkenheid belanghebbenden en implementatie

Belanghebbenden in deze zijn waterschappen en uitvoeringspartijen binnen de HWBP opgave. Wij betrekken de waterschappen direct bij dit project en zullen proberen met aanvullende proeven/metingen zoveel mogelijk gebruik te maken van projecten in de ontwerp- of uitvoeringsfase. Hiermee kan het onderzoek profiteren van reeds geplande projecten, maar kunnen andersom deze projecten mogelijk ook al profiteren door direct gebruik te kunnen maken van (tussen)resultaten van het onderzoek.

Daarnaast willen wij samen met HWBP actief invulling geven aan het delen van de ontwikkelde kennis, zodat deze zo spoedig mogelijk in projecten meerwaarde kan opleveren. De exact invulling van deze samenwerking met HWBP stellen wij graag vast samen met de vertegenwoordigers van de HWBP K&I agenda.

6 Baten en rendement van het onderzoek

De baten van het onderzoek komen ten goede aan het HWBP en de waterschappen die dijkversterkingen uitvoeren. Ter illustratie zijn hier de baten gekwantificeerd per meter damwand. Er worden twee varianten vergeleken.

Variant 1 betreft trillend installeren van een AZ18-700 met een lengte van 10 m. Variant 2 betreft het drukkend installeren van een AZ24-700 met een lengte van 10 m. Dat drukken eisen stelt aan de minimale stijfheid en lengte van damwanden is de algemene praktijk, zoals onder andere aan de orde bij project IJsselwerken Zwolle-Olst. In sommige gevallen volgen voor drukken ook langere planken, maar dit is hier niet meegenomen. Variant 1 kan dus worden gezien als het resultaat van een ‘geoptimaliseerd’ ontwerp, dat mogelijk wordt door de verbeterde rekenmethode voor ‘near-field’ trillingen. Variant 2 betreft in deze het referentieontwerp waarbij door conservatieve berekeningen voor drukkend installeren van zwaardere planken moet worden gekozen. In het rekenvoorbeeld worden zowel bouwkosten/investeringskosten als CO2 footprint vergeleken. De kentallen voor de kostenberekening betreffen ervaringsgetallen vanuit onze afdeling bouwkosten. De CO2 footprint is berekend op basis van www.co2emissiefactoren.nl/lijst-emissiefactoren/.

Uit het onderstaande getallenvoorbeeld volgen projectbaten van ongeveer EUR 1.300,-- per meter damwand (totale investeringskosten), een besparing van 24 %. Daarnaast geldt een reductie van de CO2 footprint van 16 %. Dit voorbeeld maakt duidelijk dat de baten van het onderzoek de kosten binnen één project kunnen compenseren.

In deze berekening zijn enkel de directe baten ten gevolge van lichtere kortere damwanden meegenomen. Daarnaast gelden natuurlijk andere potentiële baten, waaronder maatschappelijk draagvlak en versnellen van projecten, zoals beschreven in paragraaf 3.4. Het feit dat het trillen van damwanden aanzienlijk sneller is dan drukken levert ook een belangrijk gunstig effect op planning en kosten van projecten in uitvoering.

Tabel 6.1 Rekenvoorbeeld baten van het onderzoek

Variant		Variant 1	Variant 2	
Beschrijving variant		Trillend aanbrengen AZ18-700, lang 10 m	Drukkend aanbrengen AZ24-700, lang 10 m	
leveren staal		1,180	1,367	ton/m
leveren staal		EUR 2.183	EUR 2.529	/m
trillend aanbrengen		EUR 300	EUR 550	/m
directe bouwkosten		EUR 2.483	EUR 3.079	/m
nader te detailleren (plasplanken, slotverklikkers, etc.)	10 %	EUR 248	EUR 308	/m
indirecte kosten	30 %	EUR 819	EUR 1.016	/m
risicoreservering bouwkosten	15 %	EUR 533	EUR 660	/m
totaal bouwkosten		EUR 4.083	EUR 5.063	/m
engineeringskosten	20 %	EUR 817	EUR 1.013	/m
overige bijkomende kosten	5 %	EUR 204	EUR 253	/m
risicoreservering object overstijgend	10 %	EUR 408	EUR 506	/m
totaal investeringskosten (excl. btw)		EUR 5.512	EUR 6.835	/m

Variant	Variant 1	Variant 2	
Beschrijving variant	Trillend aanbrengen AZ18-700, lang 10 m	Drukkend aanbrengen AZ24-700, lang 10 m	
			24 %
CO2-waarde stalen damwand*	1.179	1.179	ton CO2 eq.
	1.391	1.612	ton/m
			16 %

* <https://www.co2emissiefactoren.nl/lijt-emissiefactoren>.

7 Referenties

- 1 CUR Bouw & Infra, 166 Damwandconstructies, 6e druk, Gouda: CURNET, 2012.
- 2 HWBP, HWBP Kennis en Innovatieagenda, November 2019.
- 3 Massarsch, K. R., 'Man-Made Vibrations and Solutions' (1993). International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering.
- 4 SBRCURnet commissie 2175, Omgevingsbeïnvloeding inbrengen en trekken van damwanden, Praktijkrichtlijn, Delft: SBRCURnet, 2017.
- 5 SBRCURnet, *SBR Trillingsrichtlijn A: Schade aan bouwwerken: 2017*, Delft: SBRCURnet, 2017.
- 6 Tsetas, A., A unified modelling framework for vibratory pile driving methods, 2023.

Bijlage A Risicodossier

Losse bijlage

Bijlage B PPI planning

Losse bijlage

Bijlage C SSK kostenraming

Losse bijlage

Bijlage D Kostennota

Losse bijlage