

Kennisprogramma Natte Kunstwerken

KpNK ontwikkelt kennis en verbindt praktijk en wetenschap voor toekomstbestendige natte kunstwerken



Gijs Kaptein (Rijkswaterstaat), Joost Bredeveld (Deltares)

**Onderzoekslijn velddata
verankeringen**



Deltares

TNO innovation
for life

MARIN

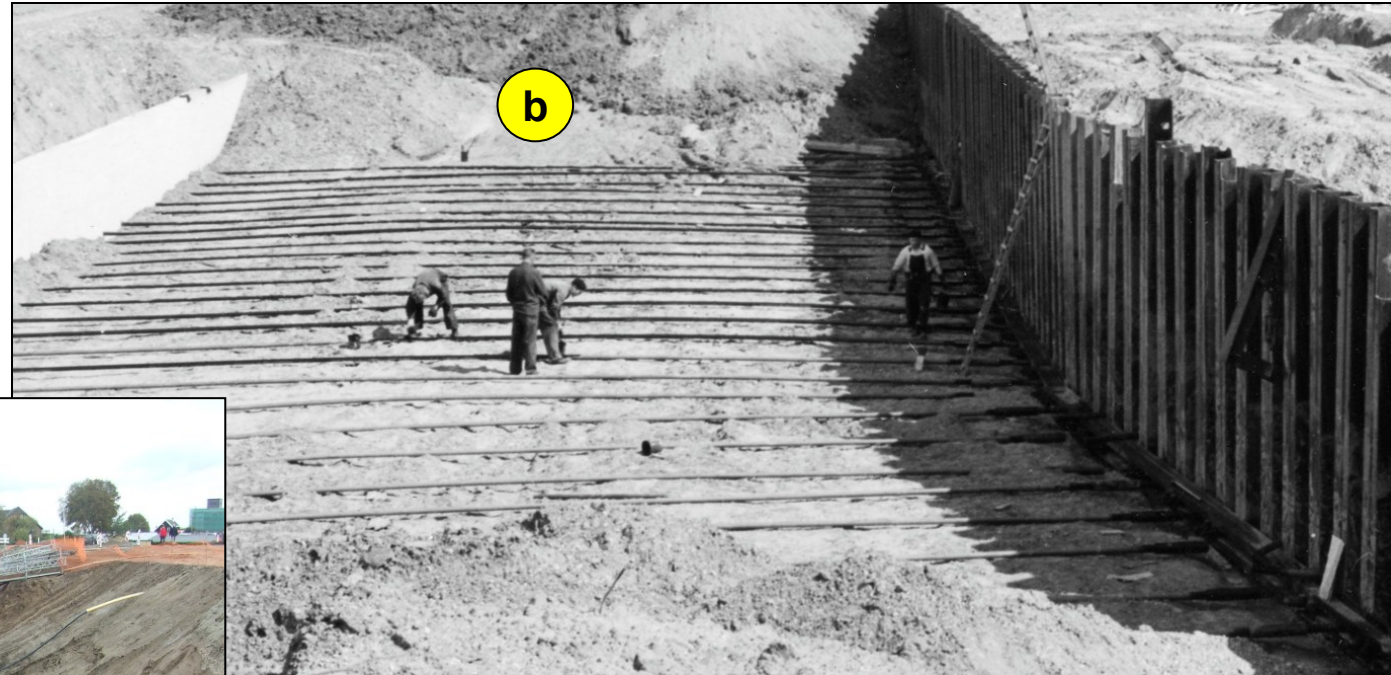
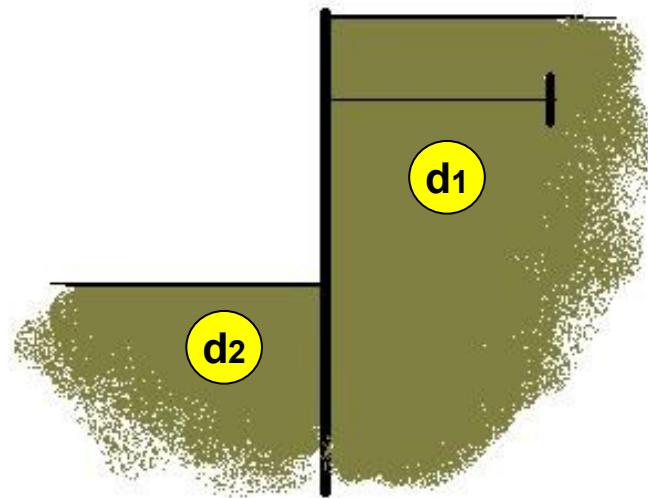


**KENNISPROGRAMMA
NATTE KUNSTWERKEN**

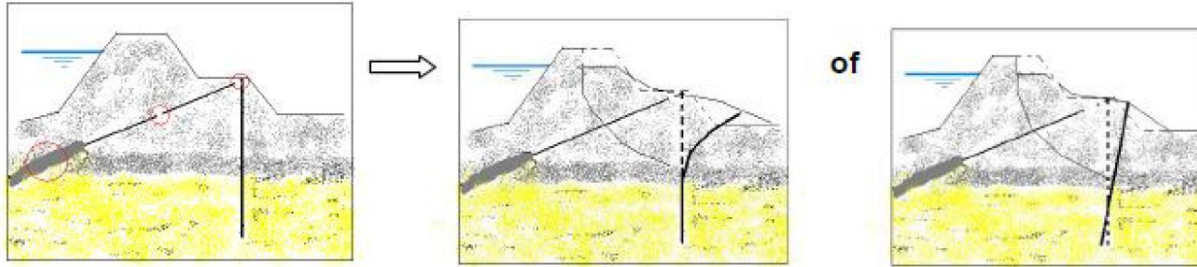
nattekunstwerkenvandetoekomst.nl

Scope onderzoekslijn (1)

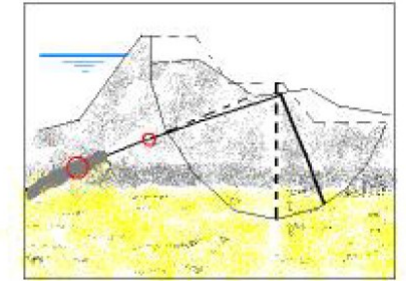
- Einde technische levensduur (ETL)
- Damwandconstructie
 - a) Wandelementen
 - b) Verankering
 - c) Gording
 - d) Grond (1. 'aandrijvend'; 2. 'weerstand-biedend')



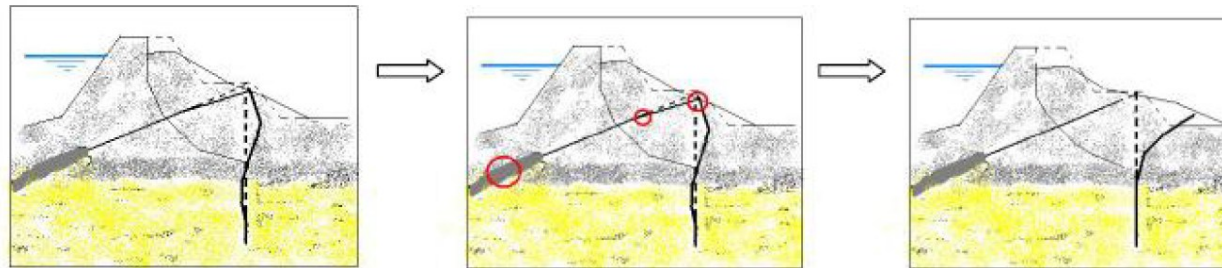
Scope onderzoekslijn (2)



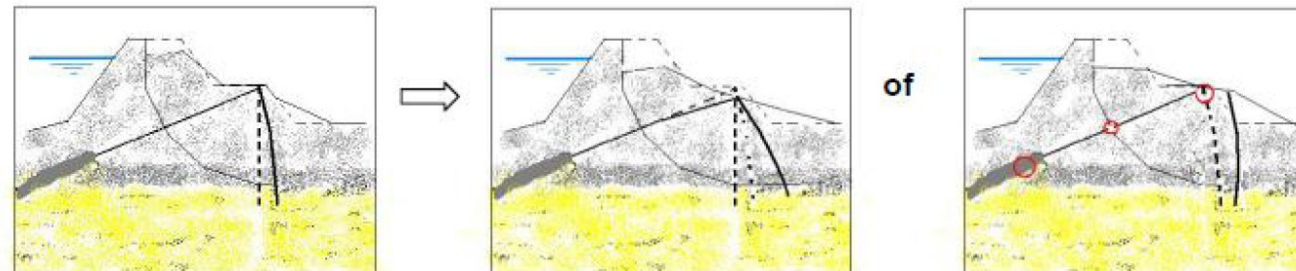
Scenario 1 : ankerbreuk (ankerlichaam of ankerstaaf of bevestiging)



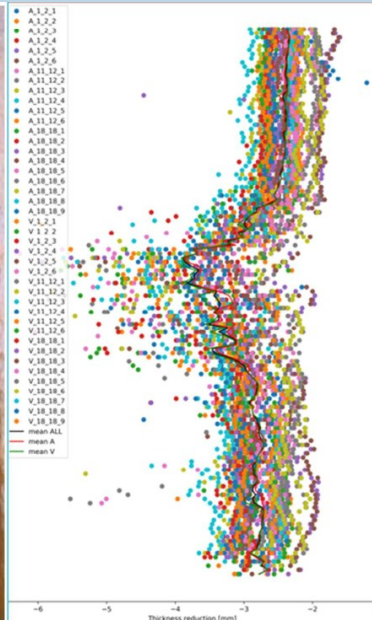
Scenario 4: Overall instabiliteit



Scenario 2 : Plastisch scharnier in damwand + evt ankerbreuk + scenario 1



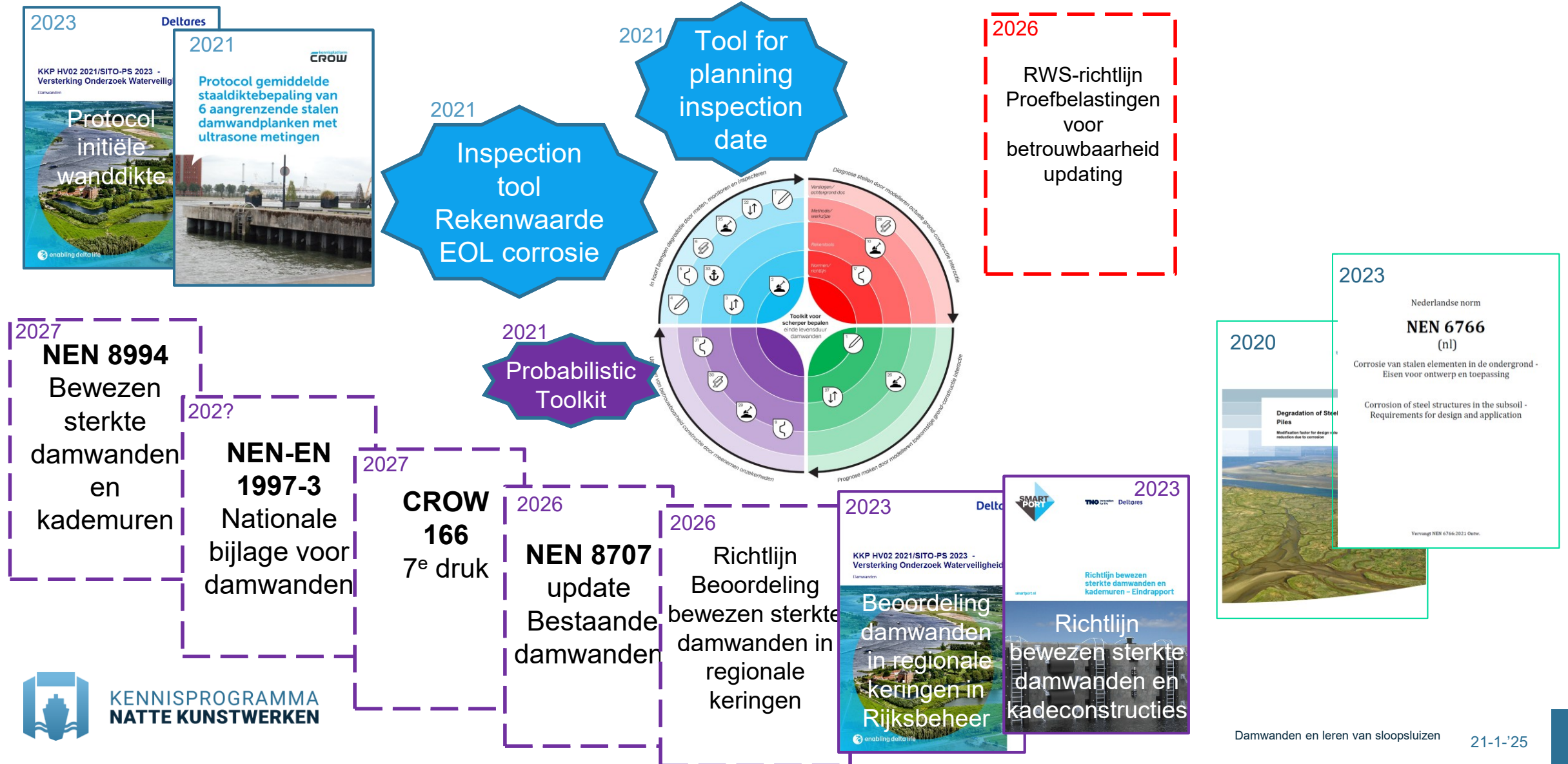
Scenario 3 : Grondbreuk (te weinig inbedding) met doorgaand afschuiven of met ankerbreuk



Eerder onderzoek naar corrosie wandelementen



Wandelementen: normen, richtlijnen, protocol en tools



Verankeringen: corrosiepatronen, breukvlakken



Inhoudsopgave

- Inhoud
- Tijdlijn
- Verbindingen
- KpNK-leerprojecten
- Discussie
- Team:
 - Deltares: Remco van den Berg, Joost Breedevelt, Cihan Cengiz, Stefan Jansen, Yaro Linnemann, Mark Post
 - Rijkswaterstaat: Albert Barneveld, Renger van de Kamp, Gijs Kaptein, Job Kool
 - TNO: Diego Allaix, Harrie Weijs, Ad van 't Zelfde



Geotechniek



Nautiek



Civiele techniek:
constructie



Hydraulica



Asset
Management



*Prinses Irenesluizen, Wijk bij Duurstede
(bron: Dirk-Jan Kraan)*



KENNISPROGRAMMA
NATTE KUNSTWERKEN

Inhoud (1j)

- Doel:
 - Hoofdvraag: Hoe lang gaat mijn kunstwerk nog mee?
 - Subvraag: Wat is de technische restlevensduur van de verankering?
 - Onderliggende vraag: Hoe inspecteren op (normaliter) onbereikbare plekken?
- Aanleiding: bij ETL-beschouwing verankering een gebrek aan meetdata en gevalideerd prognosemodel

- Aanpak:

	Karakter van elk van de onderzoekslijnen in 2026
Start	Verkennen van de potentie van het onderwerp
	Opbouwen van de focus en het team
Continueren	Op dezelfde wijze voortzetten van het onderzoek
	Intensiveren of afbouwen van de onderzoeksinspanning
	Inhoudelijk bijsturen van het onderzoeksspoor
Afronding	Verkennen opschaling tot grotere & gefinancierde onderzoekslijn
	Naar de praktijk brengen -> Communiceren en/of leerproject zoeken voor toepassing van methode in praktijk
	Laten landen in een normaanpassing/ handreiking/kader etc.

- In gesprek met de praktijk over kennisleemten
- Steekproefsgewijze labmetingen van dikteafnamen ankerstangen in de praktijk
- Verkennen impact steekproeven op veiligheidsformat

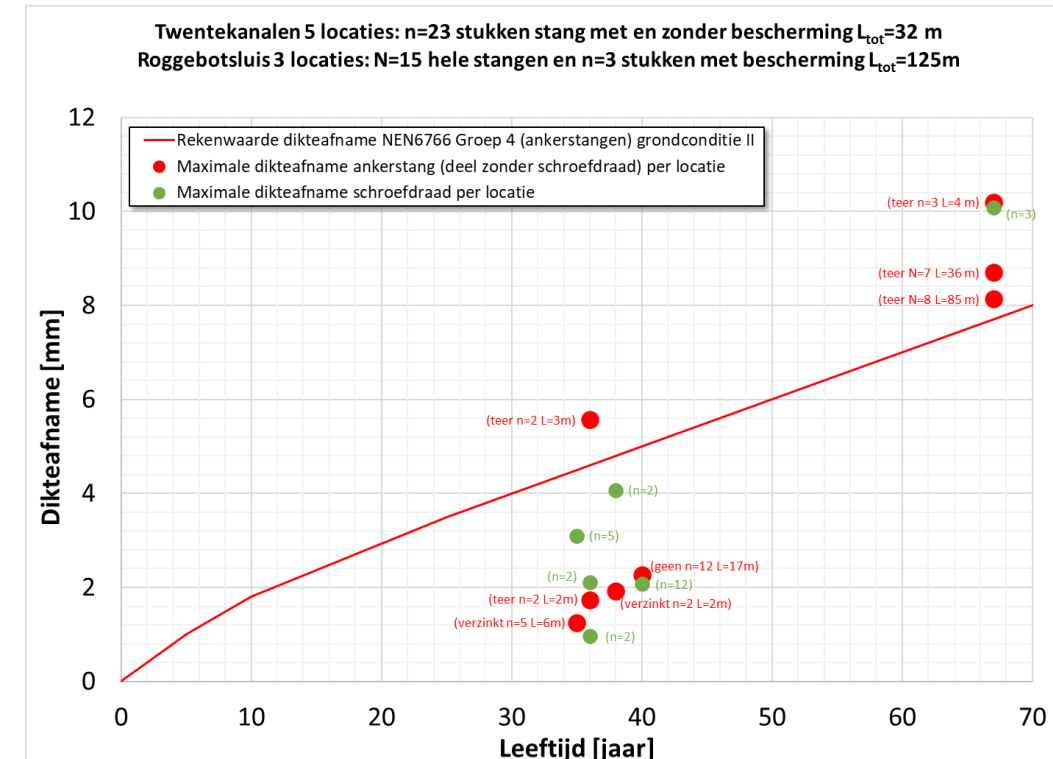
- Voortzetten labmetingen van dikteafnamen in praktijk
- Ontwikkelen meetmethode dikteafname op locatie

- Opschalen meetmethode voor dikteafname op locatie
- Aanscherpen van regelgeving

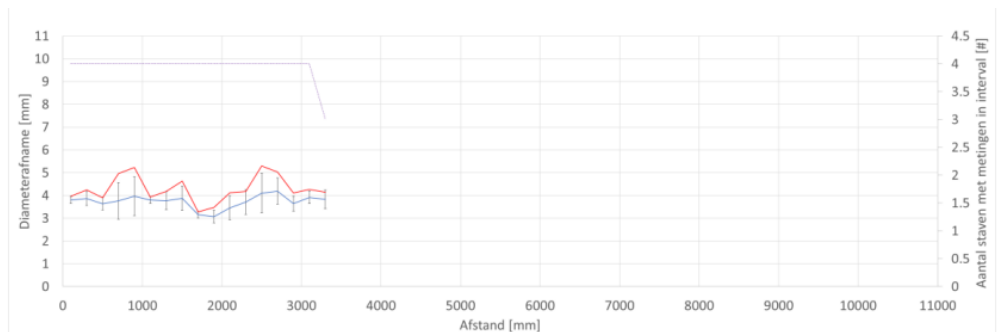


Inhoud (2j)

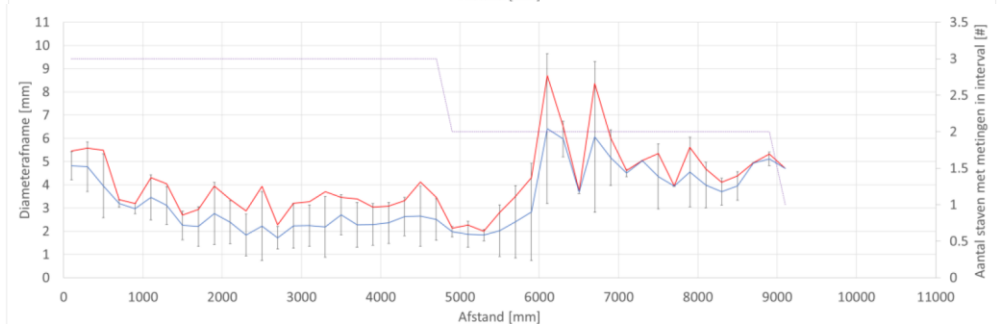
- Bestaande inzichten:
 - Staal is geen perfect homogeen materiaal.
 - Installatie(wijze) verankeringen niet altijd consistent (lokaal ad-hoc oplossingen)
 - In NEN 6766: rekenwaarde dikteafname ankerstangen = 2,5 rekenwaarde dikteafname wandelementen
 - Aanpak nodig voor structureel verzilveren kansen op leren van slopen!
- Nieuwste inzichten:
 - Meetmethode in lab om meetdata diameterafname te verzamelen
 - Systematisch veiligstellen
 - 3D-scannen
 - Format dataset
 - Deel (beperkte) meetdata diameterafname valt buiten contour
 - Direct achter ankerkop treedt (soms?) insnoering op die dominant is t.o.v. corrosieverlies ankerstang;
 - Grote variabiliteit in corrosiepatroon en diameterafname:
 - Initiële ankerdiameter
 - Milieu
 - Corrosiewering
 - Typen corrosie (putcorrosie, spanningscorrosie, ...)
 - ...



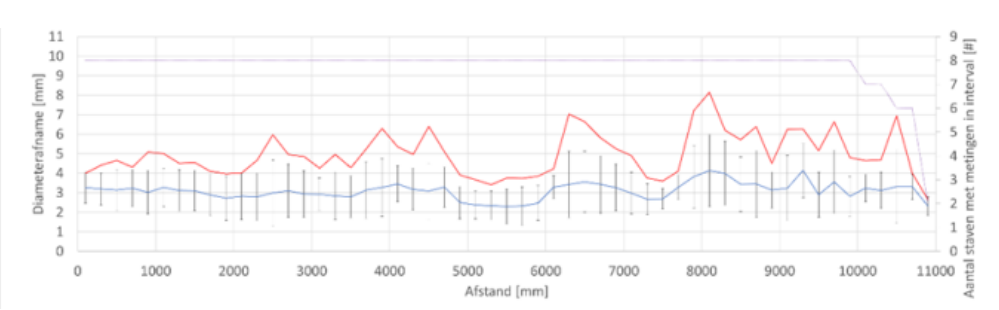
Inhoud (3j) – Voorbeelden



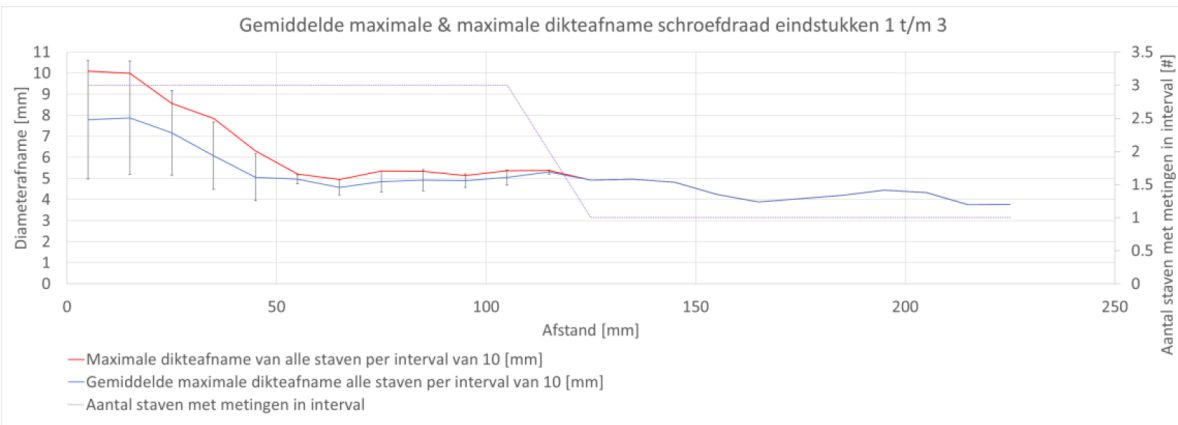
X1 t/m X4



X6 t/m X8



U1 t/m U8



Gemiddelde maximale en maximale
dikteafname ankerstangen

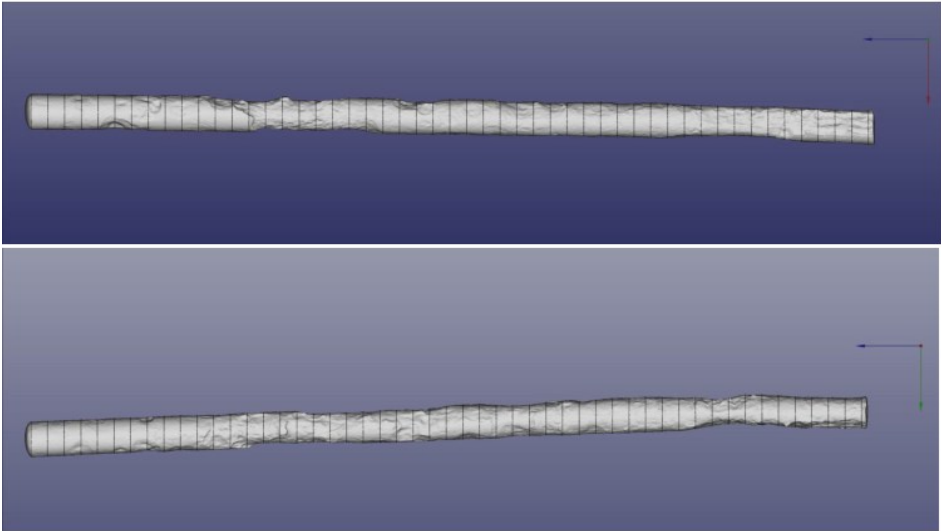
Inhoud (4j)

- Nieuwste inzichten (vervolg):
 - Eenduidige methode om (in lab) meetdata treksterkte staal te verzamelen
 - Bij alleen lab-data op 'sloopankers': trage opbouw complete dataset
 - Ontwikkelrichtingen in situ werkwijzen en meetmethoden diameterafname voor (ondiep gelegen delen van) bepaalde typen verankeringen
 - Wens om, naast afname ankerdiameter en treksterkte, ook de aanwezige ankerkracht op locatie te kunnen meten.



Inhoud (5j)

- Producten:
 - Aanpak leren van slopen:
 - Eenduidig vastleggen kennisvragen en KES-eisen
 - Meetmethoden diameterafname in lab:
 - 3D-scan (Deltares)
 - Trekproeven (TNO)
 - Dataformat en aanzet dataset diameterafname (Twentekanalen, Roggebotsluis)
 - In situ werkwijzen en meetmethoden ankerdiameter:
 - Mobiele meetmethode dmv vrijgraven en 3D-scannen
 - Mobiele meetmethode dmv ultrasone meting in beperkte ontgraving

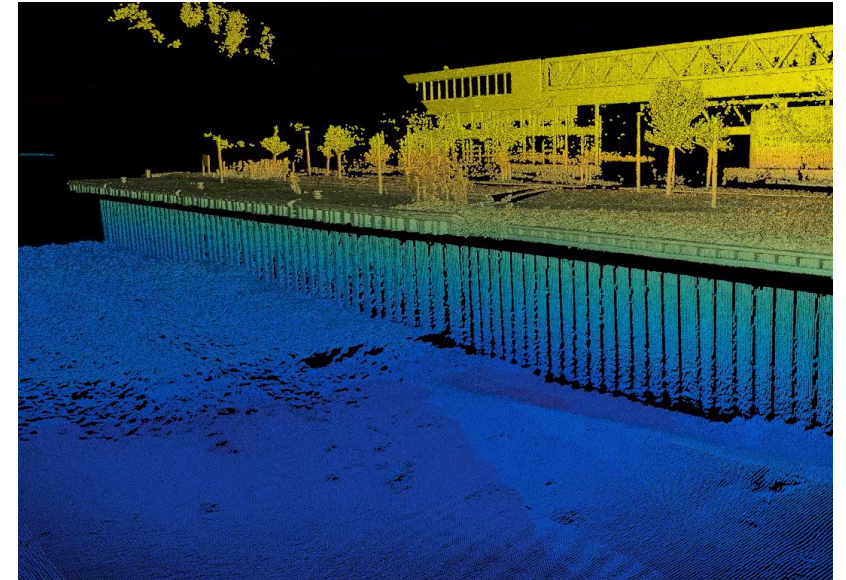
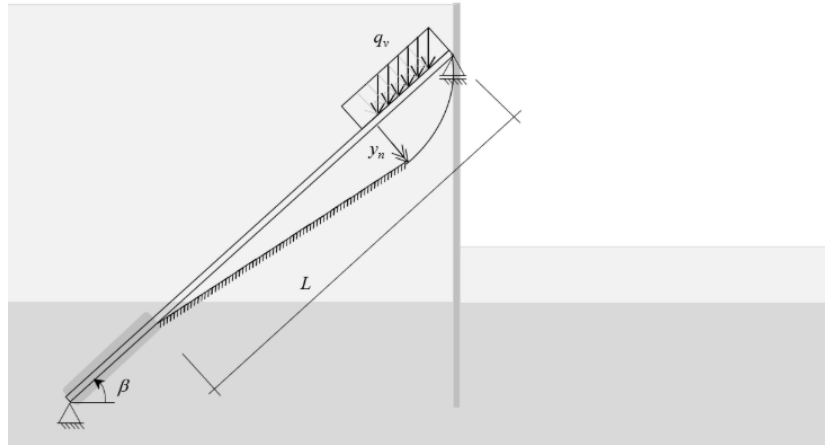
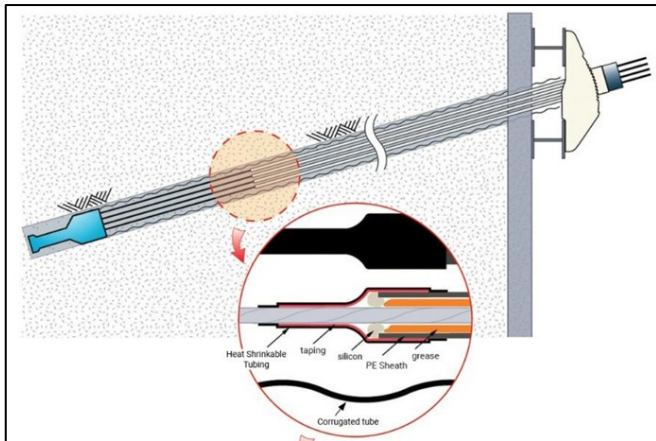


THEMA	#	HOOFDONDERWERP	SUBVRAAG	contact persoon	DESTRUCTIEF	IMPACT OP SLOOP- PROJECT	VEREIST BUDGET	TECHNISCHE HAALBAAR- HEID	MEERWAARDE REPRESENTA- TIVITEIT	ONDERZOEK IMPACT OP PRAKTIJK	BIJWERKING KLANKBORD
hydraulische inspectie	1	betroikbaarheid onderwater monitortechnieken (zie Bijlage D.1)		TNO	nee	laag	10KE + TKI	hoog	hoog	hoog	Alex Capel (Deltares) Hubert Borsje (TNO) Just Settelis (MARIN) Bart Noordman (RWS)
	8	onderzoek stromingscondities voorhaven (zie Bijlage D.6)	(1) onderzoek stromingscondities voorhaven bij legen kolk	-	nee	gemiddeld	50-100KE	gemiddeld	laag/ gemiddeld	hoog	Tom O'Mahoney (Deltares) Just Settelis (MARIN) Wim Kortlever (GPO) Wilco Meijerink (GPO)
	8		(2) onderzoek stromingscondities achter spuisluis	-	nee	gemiddeld	50-100KE	hoog	laag/ gemiddeld	hoog	Tom O'Mahoney (Deltares) Just Settelis (MARIN) Wim Kortlever (GPO) Wilco Meijerink (GPO)
hydraulisch doelproef	10	onderzoek schroefstraal(over)- belasting bodembescherming		-	ja	hoog	hoog	gemiddeld	gemiddeld	hoog	Tom O'Mahoney (Deltares) Arno van Hout (Deltares) Just Settelis (MARIN) Freek Verkerk (MARIN) Charlotte van Vliet (RWS)
constructieve inspectie	4	eindinspectie betonnen constructiedelen (zie Bijlage D.4)		TNO	ja	laag	65KE	hoog	hoog	hoog	Hans Brinkman (Deltares) Timo Nijland (TNO) Mennink Rijkers (RWS) Bart Noordman (RWS)
	5	eindinspectie stalen damwanden (wanddikte) (zie Bijlage D.2)	(1) eind-inspectie wanddikte/afname vleugelwanden en kwelverschillen	TNO	gemid- delde	gemiddeld	72KE	hoog	hoog	gemiddeld	Hans Brinkman (Deltares) Diego Alaiá (TNO) Bart Noordman (RWS) Carolien Nieuwenland (RWS)
	2		(2) betrouwbaarheid monitortechnieken wanddiktemetingen	TNO	nee	laag	15KE	hoog	hoog	hoog	Hans Brinkman (Deltares) Arno Volsker (TNO) Carolien Nieuwenland (RWS)
constructief doelproef	6	eindinspectie bewegingswerken ¹ (zie Bijlage D.3)		RWS	gemid- delde	laag	30-60KE	hoog	hoog	hoog	Henk Slot (TNO) Gerard Gaal (TNO) Rick Moogenaar (RWS) Gerard Bouman (RWS)
	3	onderzoek degradatie en reststerkte leganker-constructie (zie Bijlage D)	(1) onderzoek degradatie (afname dwarsdoorsnede) ankerstaven	Deltares	nee	laag	10-15KE	hoog	gemiddeld ¹	hoog	Hans Brinkman (Deltares) Diego Alaiá (TNO) Peter Jansen (RWS) Bart Noordman (RWS)
	7		(2) destructief proeven (rest)sterkte legankerconstructie (geheel)	-	ja	hoog	n.b. ¹¹	gemiddeld	gemiddeld ¹	hoog	Hans Brinkman (Deltares) Diego Alaiá (TNO) Peter Jansen (RWS) Bart Noordman (RWS)



Inhoud (6g)

- Omissies:
 - Strengankers (zie ook volgende slide)
 - Invloed wisselende kwaliteit dubbele corrosiewering (diverse projecten recent aangetoond dat vulling niet goed wordt uitgevoerd)
 - Zakkende grond op ankers, relatie kruipgedrag versus relaxatie
 - Beheer van (wijziging) functie
 - Geometrie
 - Oppervlakte gebruik
 - Waterstand

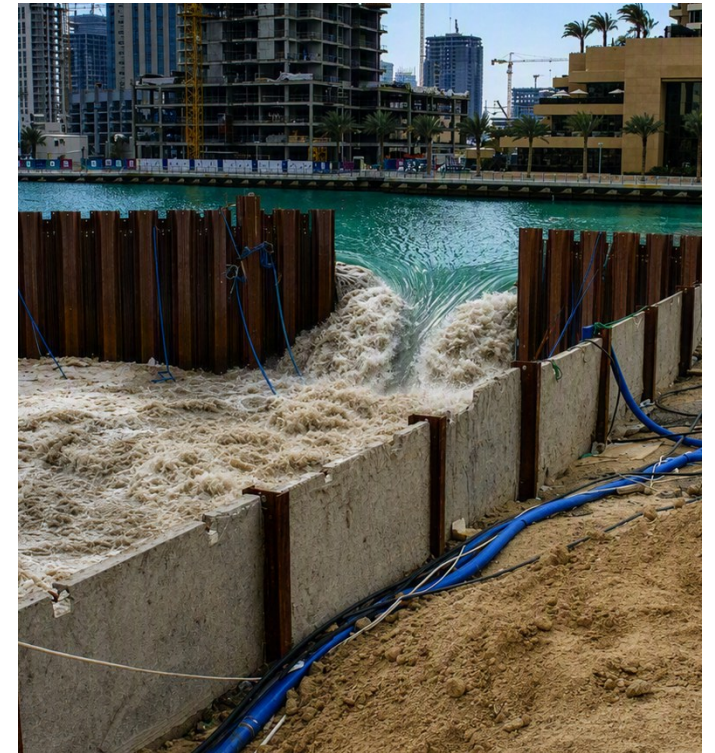
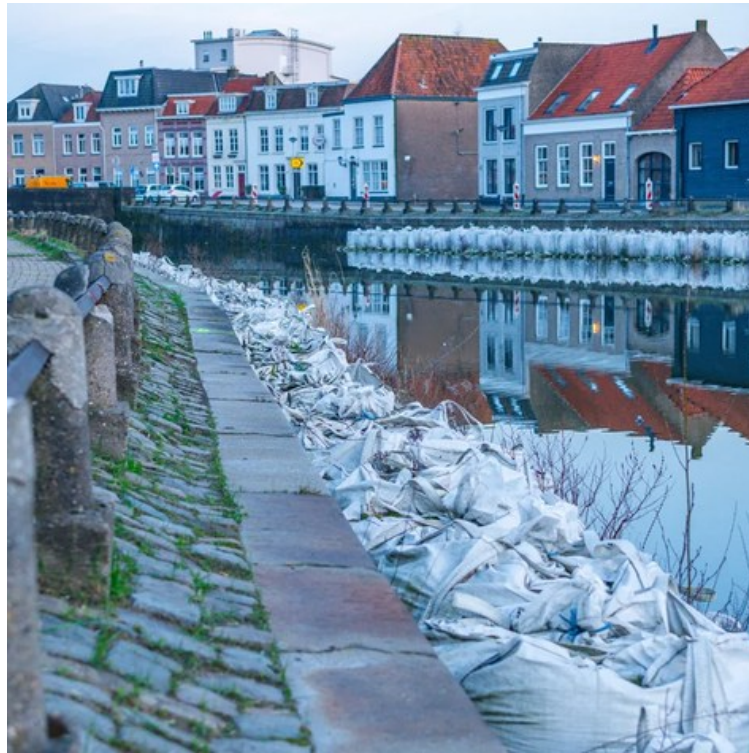


Inhoud (7g) - Voorbeelden



Inhoud (8g)

- Omissies:
 - Werkelijk schadebeeld bij bezwijken verankerde damwand
 - Handelingsperspectief bij bezwijken verankerde damwand (tijd/snelheid afkalven)



Tijdslijn

- Start:
 - KpNK-workshop 'Betrouwbaarheid bestaande verankeringen van damwanden' (2021)
 - KpNK-onderzoek 'Voorbereiding (destructief) onderzoek bij de toekomstige sloop van objecten' (2022)
 - KpNK-onderzoek 'Dikteafname ankerstangen uit gesloopte damwandconstructie Twentekanaal' (2023)
 - KpNK-onderzoek 'Dikteafname ankerstangen uit gesloopte damwandconstructie Roggebotsluis' (2024)
 - KpNK-onderzoek 'Verkenning analyse ankermetingen Twentekanal en Roggebotsluis' (2024)
- Huidige status:
 - OPV-onderzoek 'Trekproeven legankers Roggebotsluis' (2026)
 - CIP-onderzoek 'Mobiele meetmethode diameter ankerstangen' (2026)
 - (TKI-verkenning 'GROVER' -> vooral gericht op wandelementen)
- Toekomstdoelen:
 - Versnelde opbouw dataset dikteafname ankerdiameter in lab (via leren van slopen) én op locatie
 - Verbeterde inzicht in de actuele en toekomstige (constructieve) veiligheid
 - Assetmanagement 2.0 / ISO 55000



Verbindingen

- Link met andere KpNK-onderzoekslijnen:
 - Einde Technische Levensduur en probabilistiek
- Link met andere programma's:
 - Corporate Innovatie Programma
 - Onderzoeksprogramma Vernieuwingsopgave
 - TKI Deltatechnologie (KaKaLaWa kademuren)
 - TKI Bouw en Techniek (SELIK klapankers)
 - Proeven (bodem) inspectietechnieken CIV (zoals Farmsum)
 - Groeifonds Toekomstbestendige Leefomgeving
 - Bouwcampus Damwandcommunity
 - HWBP-KIA Grip op Kruip langsconstructies



Verbindingen

- Link met andere ontwikkelingen beleid en regelgeving bouwveiligheid:
 - Richtlijn Ontwerpen Kunstwerken
 - Richtlijn Beoordelen Kunstwerken
 - Herziening CUR 166 naar CROW 166
 - Herziening Nationale Bijlagen bij 2^e generatie Eurocodes (veiligheidsfilosofie NEN 1990 / staal NEN 1993-5 / grond NEN 1997-1)
 - Uitbreiding NL Technische Afspraak over constructiestaal (NTA 8733)
 - NEN 8994 Bewezen sterkte damwanden en kademuren
 - Toestandsonderzoeken kademuren Havenbedrijf Rotterdam / Smart Port
- Link met andere ontwikkelingen beleid en regelgeving waterveiligheid:
 - VOW Damwanden (in regionale keringen) handelingsperspectief assetmanagers
 - VOW Damwanden complexe bouwkuipen in waterkeringen
 - Update POVM Publicatie Langsconstructies (PPL)
 - STOWA Ontwikkeling handreiking damwandconstructies in regionale keringen



KpNK-leerprojecten

Belangrijkste raakvlakken met lopende leerprojecten:

- Leren van slopen (2025-2026):
 - Ambitie: Op basis van inspecties bij en/of onderzoek aan sloopobjecten kennis ontwikkelen en beschikbaar maken voor de doorontwikkeling van betrouwbare levensduur-voorspellende methoden, inspectietechnieken en bepaling inspectielocaties.
- Nieuwe kennis voor bestaande damwandconstructies (2025-2026):
 - Ambitie: Beheerders van stalen damwandconstructies op areaalniveau handvatten geven om, met als performance indicator het bouwjaar, ook zonder inspectiedata een gevoel te krijgen voor de restlevensduur.



KpNK-leerproject ‘Leren van slopen’ (opzet)

- Aanleiding: Een stabiele(re) en realistische(re) begroting voor de vernieuwingsopgave vraagt om volledige, uniforme en actuele informatievoorziening rondom de staat van de huidige infrastructuur. Dat vereist betrouwbare methoden voor het inschatten van de restlevensduur.
- Doelstelling: Deze is tweeledig:
 - 1) Het komen tot een generieke longlist van nuttig en haalbaar (destructief) onderzoek en bijbehorende beschrijving van de klanteis – met de focus op sluizen.
 - 2) Het benutten van concrete ‘sloopkansen bij damwand’-planken en -ankers, waarbij een intakeformulier wordt gemaakt om dit proces bij nieuwe kansen te stroomlijnen.



KpNK-leerproject 'Leren van slopen' (status)



Input RWS-experts bij brainstorm kennisvragen die (destructief) onderzoek zijn te beantwoorden

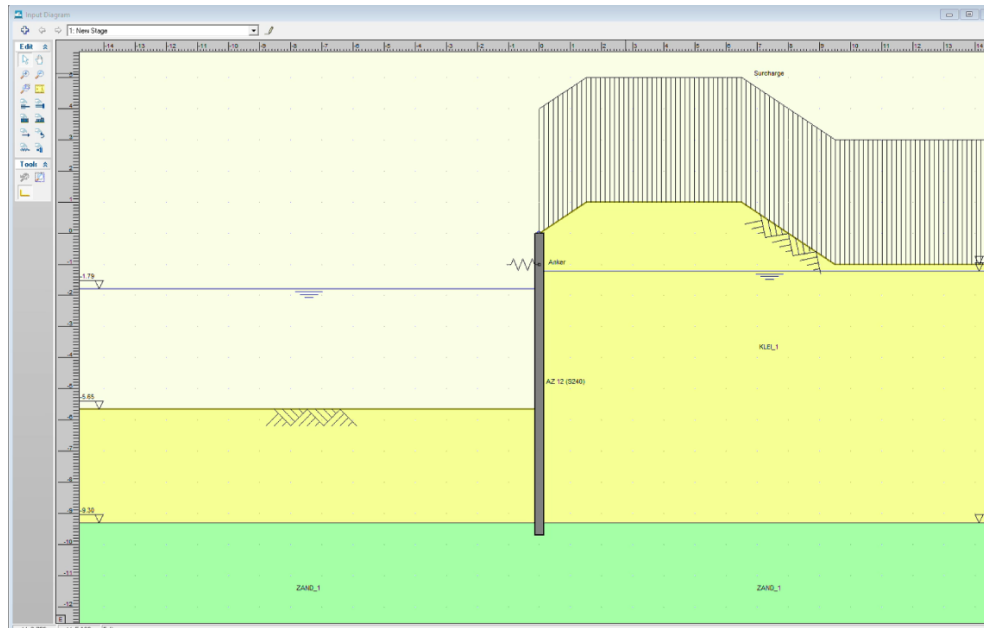
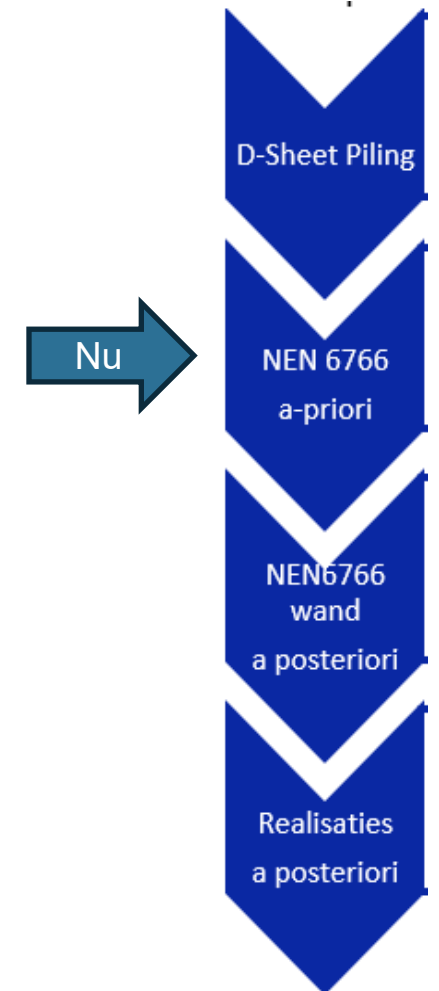
Eerste structurering oogst 'Kennisvragen natte kunstwerken waar slopen'		Documentaam: Slopen 22 juni 2026 - voorbereiding gesprek Charlotte
1 Belasting- en sterktemodellen en -parameters		Verduidelijking en revisie van: van Laps en Kaichen nav gesprek met Yaro Linnemann en Albert Barneveld op wo 26 jul 26 (check op nieuwe tekst moet nog door Laps en Kaichen gebeuren) en
in geel gearceerd de onderwerpen door jou/jullie ingebracht en onderwerp		in blauw met tekst van de RWS-experts
Erwin Peckold	Degradatie grootankers achter ankerkop	Overal op de constructie moet een ankerkop en een anker achter gebouwd zijn. Er is een risico dat de ankerkop niet goed wordt uitgevoerd. Dit kan tot schade aan de constructie leiden. Het is belangrijk dat de ankerkop goed wordt uitgevoerd en dat de anker achter gebouwd wordt.
Gijp Kaptein	Kruiprelatie gedrag ankers (behoed voorspanning)	(geot over alle verankerde dammen); Relatie, bij meten aan ankerkop van een HR-anker op een ankerkop van een HR-anker. Het is belangrijk dat de ankerkop goed wordt uitgevoerd en dat de anker achter gebouwd wordt.
Gijp Kaptein	Werkelijke kracht benodigd na zijzer	(geot over alle verankerde dammen); Werkelijke kracht van het anker. Het is belangrijk dat de ankerkop goed wordt uitgevoerd en dat de anker achter gebouwd wordt.
Wilco Muijterik	Extrem belasting op bodem-bescherming	Extrem belasting op bodem-bescherming. Het is belangrijk dat de bodem-bescherming goed wordt uitgevoerd en dat de bodem-bescherming goed wordt uitgevoerd.
Wilco Muijterik	Dynamisch gedrag van kernmidden bij bre splietopposities en diverse vervallen	Dynamisch gedrag van kernmidden bij bre splietopposities en diverse vervallen. Het is belangrijk dat de kernmidden goed wordt uitgevoerd en dat de kernmidden goed wordt uitgevoerd.
Vim Kortlever	Drumpeelrukken bij hefdeuren onder invloed van hydraulische belastingen	Drumpeelrukken bij hefdeuren onder invloed van hydraulische belastingen. Het is belangrijk dat de hefdeuren goed wordt uitgevoerd en dat de hefdeuren goed wordt uitgevoerd.
Vim Kortlever	Sterkte van bodembeschermingen van leggoten waterbouwtoeren onder extreme stromingsbelastingen	Sterkte van bodembeschermingen van leggoten waterbouwtoeren onder extreme stromingsbelastingen. Het is belangrijk dat de bodembeschermingen goed wordt uitgevoerd en dat de bodembeschermingen goed wordt uitgevoerd.
Johan van Sloten	Betonsamenstelling van oude beton, die hang onder de grond en onder grondwater aanwezig was.	Betonsamenstelling van oude beton, die hang onder de grond en onder grondwater aanwezig was. Het is belangrijk dat de betonsamenstelling goed wordt uitgevoerd en dat de betonsamenstelling goed wordt uitgevoerd.
Johan van Sloten	Betonsamenstelling van oude beton	Betonsamenstelling van oude beton. Het is belangrijk dat de betonsamenstelling goed wordt uitgevoerd en dat de betonsamenstelling goed wordt uitgevoerd.
Johan van Sloten	Indringingsdiepte van chlorides, carbonaat, sulfaten in beton, ook gerelateerd aan locatie (in constructie, betonsamenstelling)	Indringingsdiepte van chlorides, carbonaat, sulfaten in beton, ook gerelateerd aan locatie (in constructie, betonsamenstelling). Het is belangrijk dat de indringingsdiepte goed wordt uitgevoerd en dat de indringingsdiepte goed wordt uitgevoerd.
Johan van Sloten	Corrosie van de wapening	Corrosie van de wapening. Het is belangrijk dat de corrosie goed wordt uitgevoerd en dat de corrosie goed wordt uitgevoerd.
Johan van Sloten	Spreading van betonwalleit in beeld brengen (des helemal kapot boren, iedere 30 cm een boring, horizontaal en verticaal)	Spreading van betonwalleit in beeld brengen (des helemal kapot boren, iedere 30 cm een boring, horizontaal en verticaal). Het is belangrijk dat de spreading goed wordt uitgevoerd en dat de spreading goed wordt uitgevoerd.
Peter Jansen	Wat is het verschil in betonwalleit op verschillende plekken van de sleurwand, spreading, bodem onder water, voor/schietzijde wand	Wat is het verschil in betonwalleit op verschillende plekken van de sleurwand, spreading, bodem onder water, voor/schietzijde wand. Het is belangrijk dat de betonwalleit goed wordt uitgevoerd en dat de betonwalleit goed wordt uitgevoerd.
Wilco Muijterik	Kwaliteit / sterkte van oud beton (sinds technische levensduur)	Kwaliteit / sterkte van oud beton (sinds technische levensduur). Het is belangrijk dat de kwaliteit / sterkte goed wordt uitgevoerd en dat de kwaliteit / sterkte goed wordt uitgevoerd.
Charlotte van der Vort	Zettingen van de Vorr zettingen?	Zettingen van de Vorr zettingen? Het is belangrijk dat de zettingen goed wordt uitgevoerd en dat de zettingen goed wordt uitgevoerd.
Gijp Kaptein	Cyclisch gedrag grondruik onder volkrolleg	Cyclisch gedrag grondruik onder volkrolleg. Het is belangrijk dat de cyclisch gedrag goed wordt uitgevoerd en dat de cyclisch gedrag goed wordt uitgevoerd.
Gijp Kaptein	Werkelijke gerealiseerde horizontale grondruik	Werkelijke gerealiseerde horizontale grondruik. Het is belangrijk dat de werkelijke gerealiseerde horizontale grondruik goed wordt uitgevoerd en dat de werkelijke gerealiseerde horizontale grondruik goed wordt uitgevoerd.
Gijp Kaptein	Aan te houden relatieve sterkteparameters	Aan te houden relatieve sterkteparameters. Het is belangrijk dat de relatieve sterkteparameters goed wordt uitgevoerd en dat de relatieve sterkteparameters goed wordt uitgevoerd.
Johan van Sloten	Zettingen van de grond schiet sleurwanden.	Zettingen van de grond schiet sleurwanden. Het is belangrijk dat de zettingen goed wordt uitgevoerd en dat de zettingen goed wordt uitgevoerd.



KENNISPROGRAMMA
NATTE KUNSTWERKEN

KpNK-leerproject 'Bestaande damwanden' (opzet)

- Aanleiding: Met het ouder worden van stalen damwandconstructies (inclusief ankers en omliggende grond) langs kanalen en havens zien beheerders zich met de onzekerheid geconfronteerd over de daadwerkelijke restlevensduur van hun areaal.
- Doelstelling: Het bepalen van de *a priori* verwachting van de restlevensduur voor enkele stalen damwandconstructies ontworpen in de periode 1980-2000 (met CUR 166), aan de hand van de huidige NEN 6766 van bestaande damwandconstructies die het einde van de ontwerplevensduur naderen



CROW case in D-Sheet Piling

KpNK-leerproject 'Bestaande damwanden' (status)

- Probabilistische sommen conform nieuwe beoordelingsnorm in uitvoering

The screenshot displays a Microsoft Excel spreadsheet with a complex data table. The table is organized into columns for various parameters, including material properties, dimensions, and corrosion-related data. The data is organized into rows for different dam wall sections and materials. The spreadsheet includes a ribbon at the top with tabs for File, Home, Insert, Page Layout, Formulas, Data, Review, View, Automate, and Developer. The Data tab is active, showing a range of data from A1 to Z1000. The data is organized into columns for various parameters, including material properties, dimensions, and corrosion-related data. The table is organized into rows for different dam wall sections and materials. The spreadsheet includes a ribbon at the top with tabs for File, Home, Insert, Page Layout, Formulas, Data, Review, View, Automate, and Developer. The Data tab is active, showing a range of data from A1 to Z1000. The data is organized into columns for various parameters, including material properties, dimensions, and corrosion-related data. The table is organized into rows for different dam wall sections and materials.

dataverzameling en eerste vertaling naar maximum toegelaten corrosie

Discussie

