

Onderzoek naar falen bouwkuip Julianakanaal



Onderzoek naar falen bouwkuip Julianakanaal

Onderzoek naar falen bouwkuip Julianakanaal

Opdrachtgever	Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
Contactpersoon	
Referenties	
Trefwoorden	Damwanden, piping, faalmechanisme

Documentgegevens

Versie	1.0
Datum	07-11-2023
Projectnummer	11209595-000
Document ID	11209595-000-GEO-0005
Pagina's	43
Classificatie	
Status	definitief

Auteur(s)

	Henri Havinga	

Samenvatting

Op 23 februari 2023 rond 8 uur 's-morgens is een damwand van de bouwkuip in het Julianakanaal ter hoogte van Berg aan de Maas doorgebroken en is de volledige bouwkuip vol met water gelopen.

RWS-ZN heeft Deltares kort daarna gevraagd een spoedadvies uit te brengen om inzicht te krijgen in de oorzaak van het falen van de damwand. De conclusie van het spoedadvies (d.d. 2 maart 2023) is dat tijdens de werkzaamheden onderloopsheid is ontstaan. Onderloopsheid is hierbij gedefinieerd als een stroming van water onder de damwand door. De stijghoogte aan de bouwputzijde bij de teen van de damwand neemt namelijk toe.

Uit het spoedadvies volgt dat onderloopsheid alleen kon ontstaan omdat water onder de kanaalbodem aanwezig was door inzijging vanuit het kanaal en instroom vanuit de oostelijke omgeving, beperkte afstroming naar de omgeving rondom de bouwput, in combinatie met lokale heterogeniteit en doorlatendheid van de bodem. Eventuele openingen tussen de damwandplank(en) kunnen dit hebben verergerd.

In dit rapport zijn metingen en werkzaamheden nader geanalyseerd als onderdeel van de eerste fase van het forensisch onderzoek, het specialistisch vervolgonderzoek naar de oorzaak van het ontstaan van de onderloopsheid en het falen van de damwand. Het doel van het forensisch onderzoek is te komen tot gedetailleerd inzicht in de aanleiding tot het falen en het uiteindelijke falen, met als doel om te leren van deze situatie en het voorkomen hiervan in toekomstige (deel)projecten. Fase 1 van dit onderzoek dient om inzicht te verwerven in de faalmechanismen en waar nodig met verkennende berekeningen en analyses vast te stellen of en zo ja welke data nodig is om definitief de hypothesen te kunnen toetsen.

In dit rapport zijn hypothesen opgesteld over de faalmechanismen die mogelijk zijn opgetreden en met behulp van bestaande informatie voorlopig getoetst. In alle gestelde hypothesen vindt het uiteindelijke falen van de damwand plaats op de wijze die uit videobeelden en ooggetuigenverslagen tijdens het spoedadvies al is afgeleid; na het ontgraven van de kleikist is plaatselijk een wel geconstateerd, waarna de wand bezwijkt en de bouwput volloopt. De initiële oorzaak van de instroom van het water (verhoogde waterspanning onder de bouwputbodem) is hetgeen dat varieert in de hypothesen en kan bestaan uit:

- Instroom via kanaalbodem onder de damwand door.
- Instroom door de wand door uit het slot gelopen damwanden / kapotte sloten.
- Verhoogde waterspanning door aardbevingen.
- Instroom via tektonische breuklijn op de locatie van het bezwijken.

Om tot een nadere analyse van de hypothesen te komen zijn de peilbuismetingen en damwandvervormingen in en nabij de bouwput geanalyseerd. Uit deze peilbuismetingen volgt dat de stijghoogte in de grond onder de bouwput op 3 momenten toeneemt:

1. Bij het inbrengen van de damwanden.
2. Bij het droogpompen van de bouwkuip.
3. Bij het ontgraven van grond in de bouwkuip.

De verplaatsing van de wand neemt toe bij het droogpompen van de bouwkuip en het ontgraven van de grond in de bouwkuip.

Instream via kanaalbodem onder de damwand door

De nadere analyse van de peilbuisgegevens, verplaatsingen van de damwand en het overzicht van de uitgevoerde werkzaamheden in de bouwkuip bevestigen dit faalmechanisme.

De lekkage vanuit het kanaal naar de bodem is ontstaan bij het inbrengen van de damwanden en later verergerd bij het droogpompen van de bouwkuip en het ontgraven van de bouwkuip.

De trigger voor het falen op 23 februari is het ontgraven van de grond voor de aanleg van een kleikist in de week van 13 tot 22 februari op de plaats van bezwijken. Hierbij zien we een toename van de stijghoogte in PB -J, de peilbuis het dichtst bij de plaats van bezwijken. Omdat alle peilbuizen rondom de bouwput een lagere stijghoogte dan het ontgravingsniveau geven kan de instroom alleen veroorzaakt zijn door lekkage vanuit het kanaal. Uiteindelijk is een wel ontstaan en de damwand bezweken. De vervolgvraag is waarom de damwand bij eerdere stukken waar de kleikist is ontgraven tot dezelfde diepte niet is bezweken; dit kan verklaard worden door ofwel inhomogeniteiten in de bodem ofwel door een lekweg door de wand (zie volgende punt).

Uit het slot lopen damwanden en te weinig sterkte van de damwanden (staal)

Met slotverklikkers kan worden vastgesteld of planken uit het slot lopen. Slotverklikkers zijn niet toegepast, de toegepaste slotgeleiders geven niet voldoende zekerheid dat planken niet uit het slot gelopen zijn. Het kan dus zijn dat planken uit het slot zijn gelopen. De foto's van de verwijderde planken laten zien dat er kapotte sloten zijn waargenomen, maar niet perse is duidelijk of er ook planken uit het slot zijn gelopen en of de schade aan de sloten voorafgaand aan het bezwijken al aanwezig was. Het is opvallend dat twee halve planken zijn aangetroffen (175 A en 176 B), de missende delen 175B en 176A zijn niet uit de bouwput geborgd. De mogelijkheid bestaat dat bij het inbrengen van damwandplanken 175/176 het geponste slot is opengetrokken door krachten tijdens de installatie. Het kan ook zijn dat dit een secundaire schade is geweest bij het bezwijken via instroom onder de wand door. Op grond van de keuringsformulieren wordt niet getwijfeld aan de sterkte en afmetingen van de damwandplanken, maar dit dient nader onderzocht te worden

Aardbevingen en breuklijn ter plaatse van het bezwijken

Op de locatie van bezwijken is een tektonische breuk aanwezig.

Op de dag vóór het bezwijken van de damwand zijn er in Maasmechelen 3 tektonische aardbevingen [12] geregistreerd met Magnitudes tussen 0,9 en 2,1. In de registraties van de peilbuizen is geen invloed van de aardbeving te zien. Er zijn dus geen aanwijzingen dat deze aardbevingen de trigger zijn voor het falen van de damwand.

Conclusie fase 1

De analyse bevestigt de conclusie van het spoedadvies. Tijdens de werkzaamheden is een wel ontstaan. De oorzaak ligt in lekkage van water uit het kanaal naar de ondergrond onder bouwputbodem. Er is zeker lekkage ontstaan bij het inbrengen van de damwanden en deze is later verergerd bij het droogpompen van de bouwkuip en het ontgraven van de bouwkuip; dit blijkt uit de peilbuismetingen.

Na het ontstaan van de wel is de wand eerst verplaatst en vervolgens bezweken.

Het is niet duidelijk in welke mate de lekkage onder de wand door of door de wand heen hebben bijgedragen aan de welvorming. Het water is vanaf de kanaalzijde onder de damwand doorgelopen (onderloopsheid). Ook kan het water door een lek in de wand direct van de kanaalzijde naar de bouwputzijde zijn gegaan. De tweede mogelijkheid is de kortste lekweg, Een lek in de wand kan zijn ontstaan door uit het slot gelopen/kapotte damwanden.

Aanbevolen wordt een onderzoek te doen naar de schade aan de damwandplanken. Deze schade kan ontstaan zijn bij het inbrengen of bij het bezwijken van de damwanden. Met het

onderzoek kan mogelijk worden vastgesteld of het geponste slot van plank 175 of 176 is opengetrokken bij het inbrengen van de plank of bij het bezwijken van de damwand.

Inhoud

	Samenvatting	4
1	Inleiding	8
1.1	Beschrijving situatie Julianakanaal	8
1.2	Werkzaamheden	8
2	Onderzoek	10
2.1	Onderzoeksgegevens	10
2.2	Bouwfaserings	10
2.2.1	Inleiding	10
2.2.2	Inbrengen damwanden	12
2.2.3	Grondwaterstand verlagen en ontgraven	12
2.3	Calamiteit	15
2.3.1	Tekst uit het spoedadvies [1]	15
2.3.2	Schade aan damwandplanken	16
2.4	Grondwatermetingen	22
2.5	Damwandverplaatsingen	25
3	Hypothesen Faalmechanisme	29
3.1	Hypothese spoedadvies	29
3.1.1	Tekst uit spoedadvies	29
3.1.2	Verdere analyse	29
3.2	Detailhypothesen voor verhoogde waterspanning	30
3.2.1	Instream via kanaalbodem onder de wand door gevolgd door piping	30
3.2.2	Uit het slot lopen van de damwandplanken	31
3.2.3	Sterkte en kwaliteit van de damwandplanken	32
3.2.4	Aardbevingen en breukvlak in ondergrond	34
4	Conclusies en aanbevelingen forensisch onderzoek	38
4.1	Hypothesen faalmechanismen	38
4.2	Aanbevelingen voor nader onderzoek	38
A	Damwandwerkzaamheden	40

1 Inleiding

1.1 Beschrijving situatie Julianakanaal

Op 23 februari 2023 rond 8 uur 's-morgens is een damwand van de bouwkuip in het Julianakanaal ter hoogte van Berg aan de Maas doorgebroken en is de volledige bouwkuip vol met water gelopen. Het aanwezige personeel kon de bouwput tijdig verlaten. De scheepvaart in het kanaal was daarna gestremd. De damwand en bouwput zijn gestabiliseerd, het scheepvaartverkeer kan de locatie ondertussen weer passeren.

RWS-ZN heeft Deltares gevraagd een spoedadvies uit te brengen om inzicht te krijgen in de oorzaak van het falen van de damwand. De conclusie van het spoedadvies (kenmerk 11209439-000-GEO-0002 d.d. 2 maart 2023) is dat tijdens de werkzaamheden onderloopsheid is ontstaan tussen het water in het kanaal en de grond onder de bouwput.

De onderloopsheid kon alleen ontstaan omdat water onder de kanaalbodem aanwezig was door inzijging vanuit het kanaal en instroom vanuit de oostelijke omgeving, beperkte afstroming naar de omgeving van de bouwput, in combinatie met lokale heterogeniteit en doorlatendheid van de bodem.

1.2 Werkzaamheden

Dit rapport betreft de eerste fase van het forensisch onderzoek: een specialistisch vervolgonderzoek naar de oorzaak van het ontstaan van de onderloopsheid en het falen van de damwand.

Het doel van het spoedadvies was een inzicht in het falen van de damwand en de te nemen maatregelen. Het spoedadvies is beperkt in omvang en diepgang. Rijkswaterstaat wenst een gedetailleerde inzicht in de aanleiding tot het falen en het uiteindelijke falen, met als doel om te leren van deze situatie en het voorkomen hiervan in toekomstige (deel-)projecten.

Vraagstelling

De onderzoeksvraag omvat forensisch onderzoek naar het falen van de damwand. Een forensisch onderzoek dient om verschillende hypothesen over het falen te onderzoeken, welke door diverse aspecten worden bepaald. De volgende stappen worden hierbij doorlopen, zie Figuur 1.1.



Figuur 1.1 Bron Karel Terwel, MOCC Forensic Engineering TUD.

Voor het Julianakanaal moet voor het genereren en testen van de hypothesen onderzoek gedaan worden naar:

- De damwanden.
- De ondergrond.
- Het grondwater.
- De bouwfaserings.
- De omgeving.

Deze onderwerpen worden in hoofdstuk 2 gerapporteerd. Hoofdstuk 3 bevat de verschillende hypothesen van het faalmechanisme. Hoofdstuk 4 bevat de conclusies en aanbevelingen van het onderzoek.

2 Onderzoek

2.1 Onderzoeksgegevens

In het onderzoek is gebruikt gemaakt van de volgende informatie:

1. Spoedadvies Falen damwand bouwkuip Julianakanaal. Deltares. Memo. Kenmerk 11209439-000-GEO-0002 d.d. 3 maart 2023.
2. Werkplan verdiepen en uitvoeren van de verruiming van het traject Berg-Obbicht in het Julianakanaal. Van den Herik Sliedrecht. Zaaknummer 31144583. 11210-WPA-0055 v3.0 d.d. 22-04-2022.
3. Vervorming damwand Julianakanaal Traject Berg-Obbicht Fase 6. Memo. B.V. Ingenieursbureau M.U.C. Kenmerk M8734-01 d.d. 17-01-2023.
4. Deformatiemetingen tijdens leegpompen. Excel files bij [6].
5. Deformatiemetingen tijdens ontgraven. Excel file bij [6].
6. Mail van Robin.Koorengavel@herik.nl van 7 juli 2023 betreffende de monitoring van de damwanden.
7. Fotoverslag getrokken damwanden 26-2-2023 door Jan Verhoeve.
8. Mail van Robin.Koorengavel@herik.nl van 6 juli 2023 met een fotoverslag van de getrokken damwanden.
9. Mail van Robin.Koorengavel@herik.nl van 14 juni 2023 betreffende een toelichting van MOS op de metingen in de kokers aan de binnenzijde van de damwand.
10. Tijdsplan aanbrenge damwanden. Excel file.
11. Peilbuizen MOS. Excel files.
12. Integraal Monitoringsplan fase 6. Van den Herik Sliedrecht. 11210-WPA-0038 v2.0 d.d. 23-07-2021.
13. Memo Opmerkingen kuip Julianakanaal. Van den Herik. 13 maart 2023.
14. Video opname van het bezwijken van de damwand op 23 februari 2023.

2.2 Bouwfasering

2.2.1 Inleiding

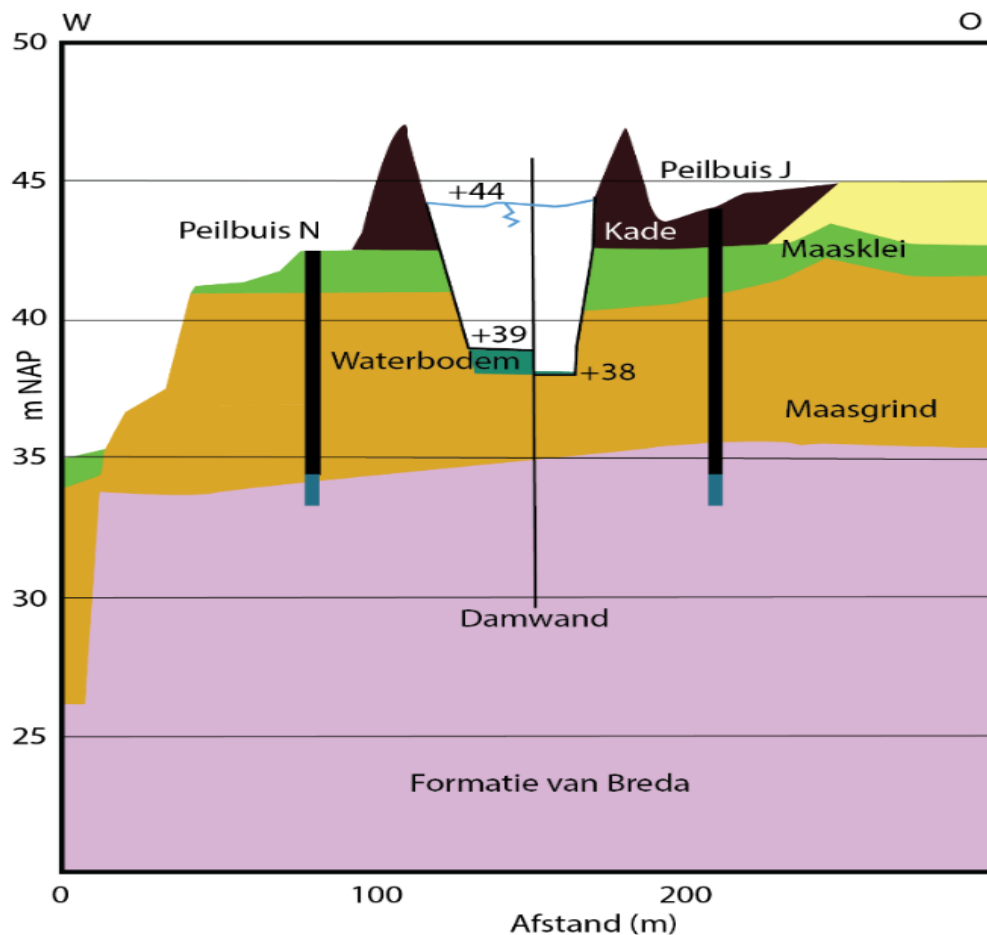
De damwand van Fase 6 van de werkzaamheden voor de verbreding van het Julianakanaal is bezweken. Fase 6 betreft het verdiepen en verbreden van de oostzijde van het Julianakanaal over een lengte van 760 m bij Berg aan de Maas. Dit is van km 17.39 (zuid) tot km 18.15 (noord).

Hiervoor is een U-vormige bouwput gemaakt, bestaande uit een damwandscherm evenwijdig en in het Julianakanaal en twee kopschermen (zie Figuur 2.1). Een doorsnede van het kanaal, de damwanden en de omgeving is gegeven in Figuur 2.2.

De calamiteit is opgetreden bij km 17.69. Hier waren twee planken losgebroken en er ontstond een opening in de wand (zie Figuur 2.7).



Figuur 2.1 Locatie damwanden fase 6 met locatie opening.



Figuur 2.2 Bestaande situatie voorafgaand aan het falen (doorsnede ter plaatse van de calamiteit; geologische opbouw is niet overal gelijk onder de bouwkuip).

2.2.2 Inbrengen damwanden

Het tijdsplan van het aanbrengen van de damwanden is opgenomen in Bijlage A.

Op 1-6-2022 is gestart met het inbrengen van de damwandplanken bij km 17.44. Deze zijn ingetrild met een trilblok 2350 VM.

De planken 154 en 155 konden niet op diepte worden gebracht.

Vervolgens zijn de planken ten zuiden van km 17.44 en het kopscherm bij km 18.155 met het trilblok 2350 VM aangebracht.

Er zijn testen uitgevoerd met alternatieve trilblokken, zonder en met fluïderen en met een verzwaring van de planken (platen op de planken). Uiteindelijk is gekozen om de planken te verzwaren en met het oorspronkelijke trilblok i.c.m. fluïderen op diepte te brengen.

Deze werkwijze is vervolgens voor de overige planken gehanteerd.

Op 21-9-2022 zijn de laatste planken (aan de noordzijde) ingebracht.

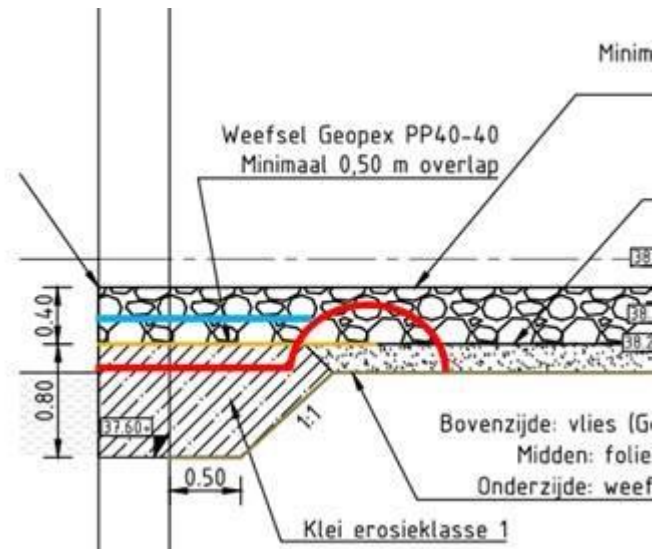
2.2.3 Grondwaterstand verlagen en ontgraven

Onderstaande informatie is gebaseerd op [8].

De waterstand in de bouwkuip is bij het leegpompen verlaagd tot NAP +40.15 m. Dit leegpompen vond op plaats op 24 en 25 november 2022. Dit was net boven het bodemniveau aan de noordzijde waarmee de bouwkuip dus zo goed als droog was en het grondwerk in den droge uitgevoerd kon worden.

Vervolgens is de bestaande dijk grotendeels afgegraven. In de praktijk is het dus niet nodig geweest om de waterstand in de bouwkuip fysiek verder te verlagen. Meer uitleg over de waterhuishouding tijdens het grondwerk is hieronder opgenomen.

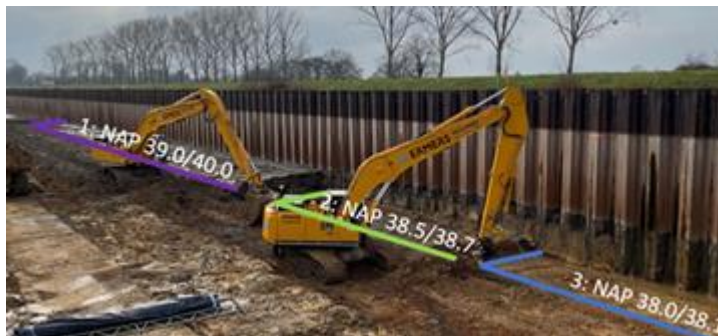
Bij het op diepte graven is allereerst een strook van zo'n 5 m langs de damwand op diepte gemaakt voor het maken van de kleikist. Het dwarsprofiel is weergegeven in Figuur 2.3..



Figuur 2.3 Kleikist.

Er werd gewerkt van noord naar zuid (kijkend vanuit de bouwkuip naar de damwand dus van rechts naar links).

Om het water wat door de damwandsloten lekte af te vangen werd haaks op de damwand een gronddam geplaatst zodat de ontgraving niet onder water zou lopen. Aan het eind van de dag werd de dam haaks op de damwand weer verwijderd zodat het lekwater van deze werkdag naar de pomp kan stromen om afgepompt te worden.



Figuur 2.4 Ontgravingswerkwijze.

Situatie einde werkdag zoals weergegeven in Figuur 2.4:

Segment 1 (bestaande bodem) en segment 3 (gerealiseerde verdieping waarop folie en klei zijn aangebracht) zijn met elkaar verbonden. Omdat het hoogteverschil tussen beide segmenten zo'n 1 tot 2 m bedraagt, is in segment 1 een overgang gemaakt zodat het water dat door de sloten van de damwand komt van hoog naar laag kon stromen en in het noordelijke deel van de bouwkuip terug het kanaal in gepompt kon worden.

Situatie gedurende een werkdag:

Circa 50 m ten zuiden van de overgang tussen segment 1 en segment 3 werd in de ochtend een dwarsdam geplaatst. Hierdoor wordt voorkomen dat het water richting het noorden stroomt en zo de ontgraving onder water zet. Hierdoor kon deze ontgraving droog / gecontroleerd uitgevoerd worden en kon de folie en klei eveneens droog aangebracht worden.

Vervolgens werd segment 1 verlaagd tot het niveau van segment 2 door kraan 1. Door de 2^e kraan werd verder ontgraven tot NAP +38,0 à +38,1 m. Vervolgens werd op segment 3 de kleikist ontgraven (tot NAP +37,60 m). Nadat een aantal meter kleikist is ontgraven werd de folieconstructie uitgerold en werd op de folie klei aangebracht conform de ingetekende rode lijn in Figuur 2.3.

Het ontgraven/aanvullen van de kleikist met folieconstructie is gefaseerd uitgevoerd.

In onderstaande tabel staat op welk moment welk deel van de kleikist gerealiseerd is.

Tabel 2.1 Ontgraven en aanvullen kleikist.

		ontgraven/aanvullen kleikist		
datum		aantal meters	van	tot
ma	6-2-2023	10	18,155	18,145
di	7-2-2023	40	18,145	18,095
wo	8-2-2023			
do	9-2-2023			
vr	10-2-2023			
za	11-2-2023			
zo	12-2-2023			
ma	13-2-2023	100	18,095	18,005
di	14-2-2023			
wo	15-2-2023	30	18,005	17,975
do	16-2-2023	120	17,975	17,855
vr	17-2-2023	70	17,855	17,785
za	18-2-2023			
zo	19-2-2023			
ma	20-2-2023			
di	21-2-2023			
wo	22-2-2023	60	17,785	17,725
do	23-2-2023			

De machinist ter plaatse heeft verklaard dat een wel in de kas van de damwand is waargenomen, op het gedeelte dat was ontgraven tot NAP +38,1 m, maar waar nog geen 'kleikist' was gemaakt. De wel is dus geconstateerd net ten zuiden van km 17,725. Dit is ter hoogte van de bezwijklocatie (km 17,69).

De bewakingsvideo [14] is genomen vanaf de hoek van de bouwkuip, enkele honderden meters verderop. De initiële wel van zo'n 10 cm is op de video opname niet te zien.

2.3 Calamiteit

2.3.1 Tekst uit het spoedadvies [1]

Op 23 februari 2023 om 6.45 uur is door de machinist bij aankomst op het werk een 'wel' geconstateerd in de 'kas' van de damwand in een gedeelte dat was ontgraven tot NAP +38,1 m. De 'wel' is waargenomen op een deel waar nog geen 'kleikist' was gemaakt. In het uur dat volgde is de 'wel' harder gaan stromen.

Camerabeelden van het moment van falen zijn beschikbaar van een bewakingscamera op de damwand. Tegen 8.00 uur is op de video vrij duidelijk te zien dat er een 'wel' aanwezig is in de bouwkuip welke veel water geeft. In de minuten daarna begint de damwand te vervormen (vooral translatie), en stroomt op 1,5 tot 2 m boven de bouwputbodem aan weerszijden van de 'wel' openingen in de damwand waaruit (veel) water stroomt. De damwand is dan al naar voren richting de bouwput verplaatst en dit neemt verder toe totdat de 'ketting' van damwanden breekt en de damwand in het geheel 'openklapt' als een deur.



Figuur 2.5 Screenshots uit bewakingscamera a) 7.58 welvorming b) 8.02 translatie damwand c) 8.07 openklappen wand.



Figuur 2.6 Bovenaanzicht (foto aannemer).

Na het vollopen van de bouwput is geconstateerd met behulp van een survey boot dat er een erosiegat van 10x10 m en ca 8 m diep is ontstaan. Dit is nagenoeg net zo diep als de damwand oorspronkelijk in de grond stak.

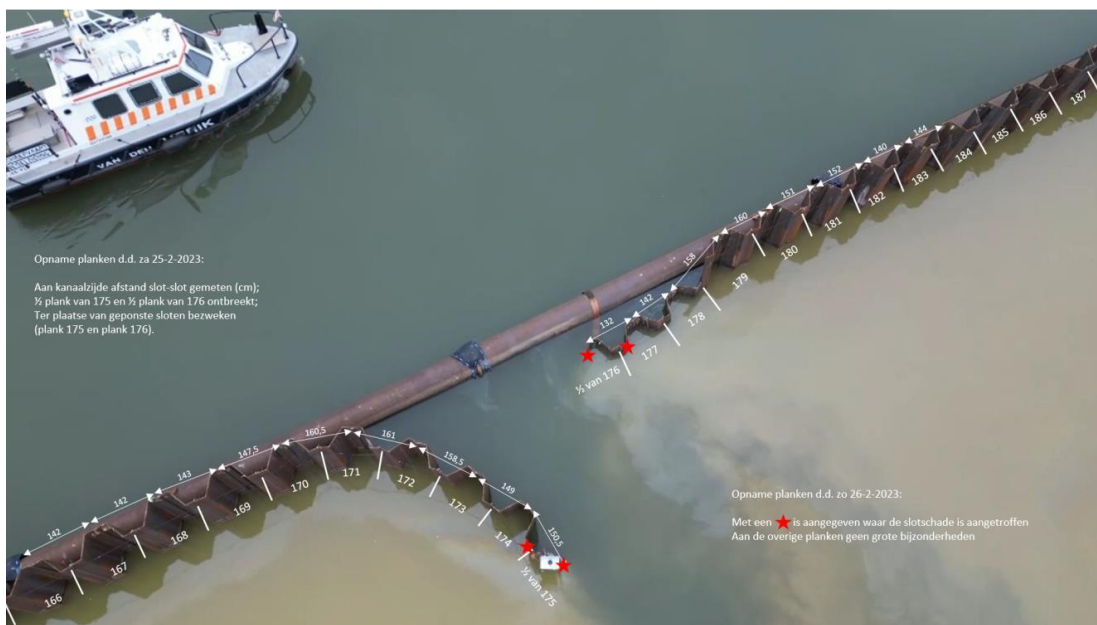
Hieruit halen we de volgende essentiële feiten:

- De damwand was plaatselijk verder vervormd richting bouwput dan vooraf verwacht in de dagen voor het falen.
Qua volgorde van gebeurtenissen rondom falen:
- Als eerste is een water en grond meevoerende 'wel' in de bodemafdichting van de bouwput vastgesteld.
- Daarna is de wand in zijn geheel naar voren richting de bouwput gekomen en is lekkage door de wand toegenomen.
- Daarna is de wand opengeklaapt.

De damwanden die na falen uit het ontstane gat zijn gehaald, zijn niet verbogen en praktisch recht, met op sommige planken een gebroken slot. Dit kan alleen verklaard worden als er een volledig verlies van de passieve weerstand (in de grond voor de damwand in de bouwput) heeft plaatsgevonden.

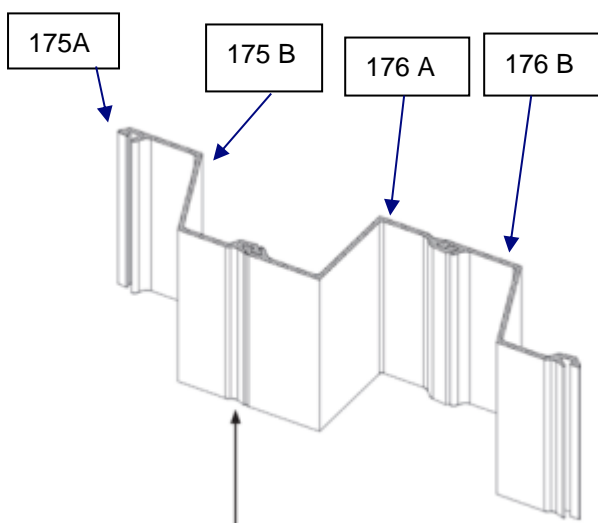
2.3.2 Schade aan damwandplanken

Na de calamiteit zag de damwand er uit als in Figuur 2.7 en de sloten en volgorde is weergegeven in Figuur 2.8.



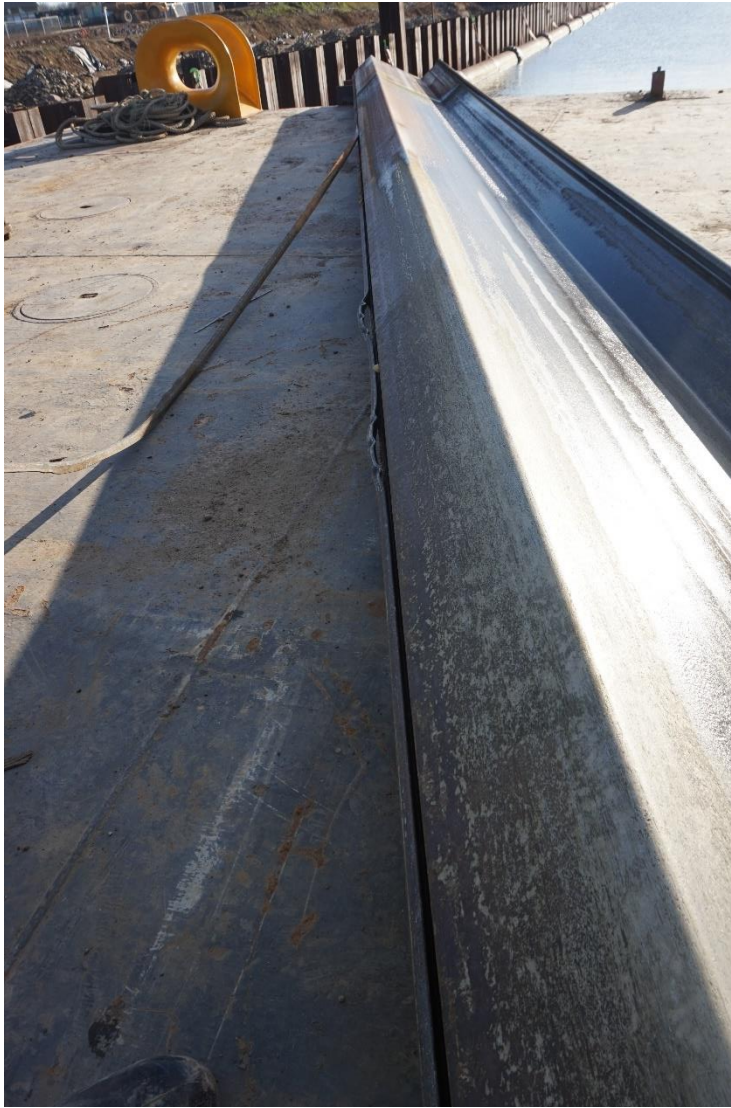
Figuur 2.7 Bovenaanzicht damwand na calamiteit [7].

De damwandplank 176A is naast het geponste slot over de hele lengte losgescheurd van plank 176B. De scheur zit in plank 176B. Over het bovenste deel van plank 175A zit het slot van plank 175B nog in het slot van plank 175A. Daaronder is het slot 175A/175B open. Het geponste slot kan mogelijk geopend zijn bij het inbrengen van de damwandplank of bij het bezwijken van de damwand. Een schets gemaakt door RWS is opgenomen in Figuur 2.12. De sloten tussen de planken 174 en 175 en 176 en 177 zijn beschadigd. Aan de overige planken zijn op basis van de inspectie tijdens het spoedadvies en de foto's geen grote bijzonderheden geconstateerd.



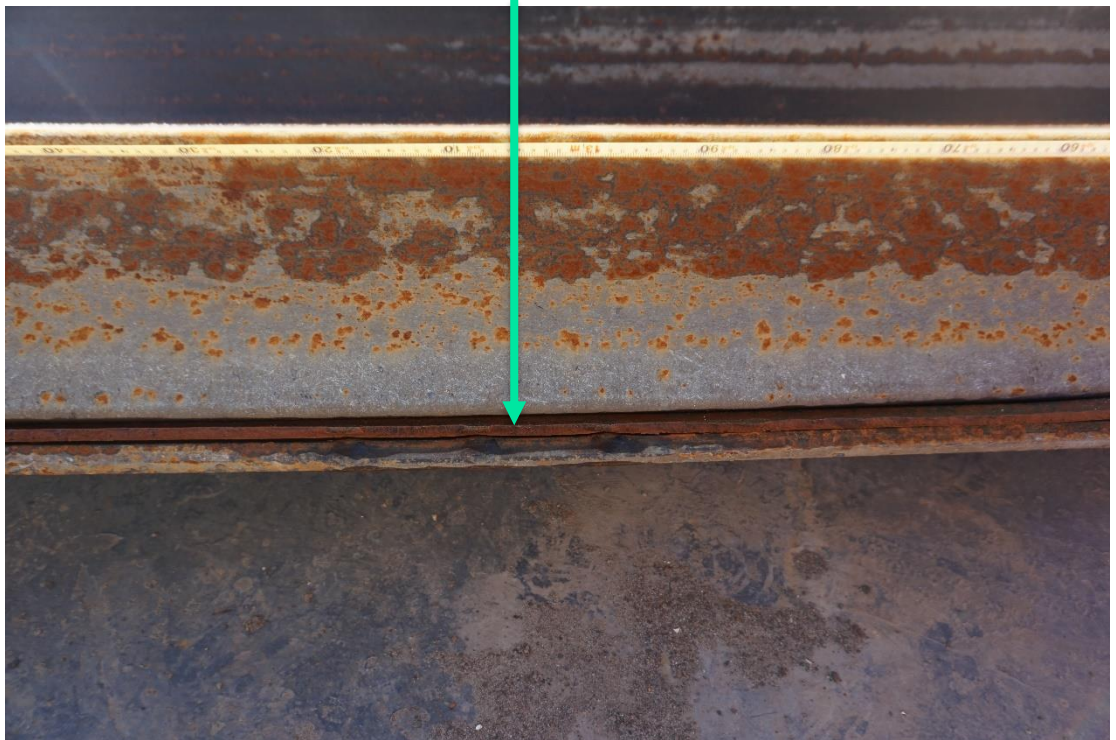
Figuur 2.8 Locatie van de sloten in detail.

In Figuur 2.9 en Figuur 2.10 zijn foto's van de planken 175A en 176B gegeven. De damwandplanken 175B en 176A lagen na de calamiteit op de bodem en zijn niet geborgen.



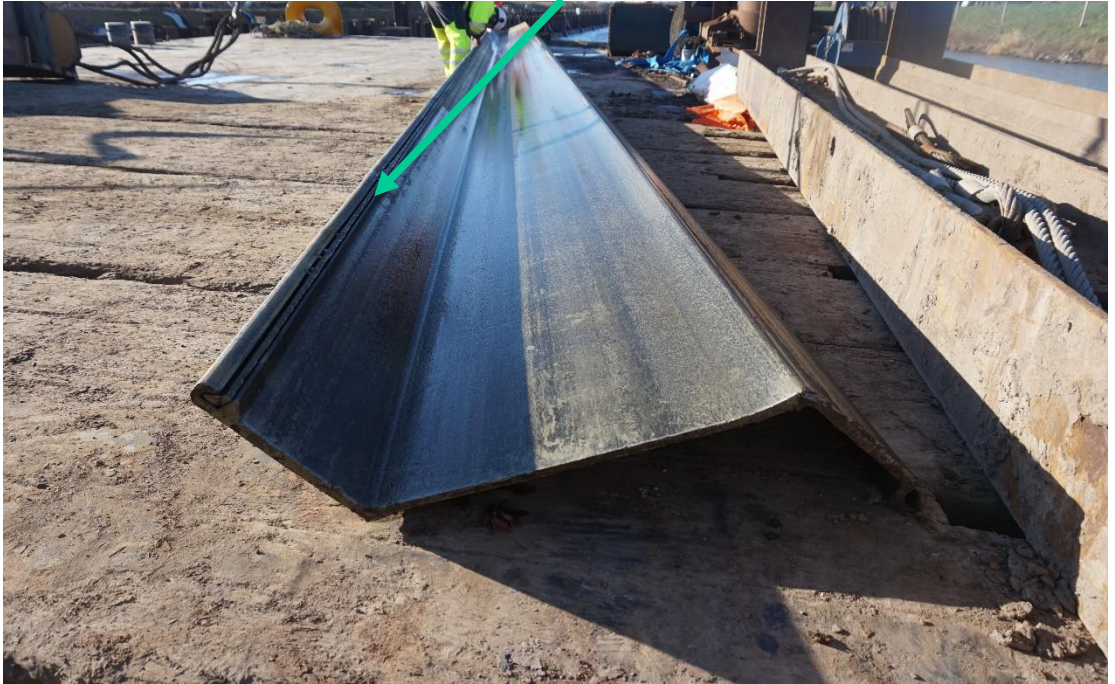
Figuur 2.9 Plank 175A aan de zijde van 175 B.

Slot 175 B

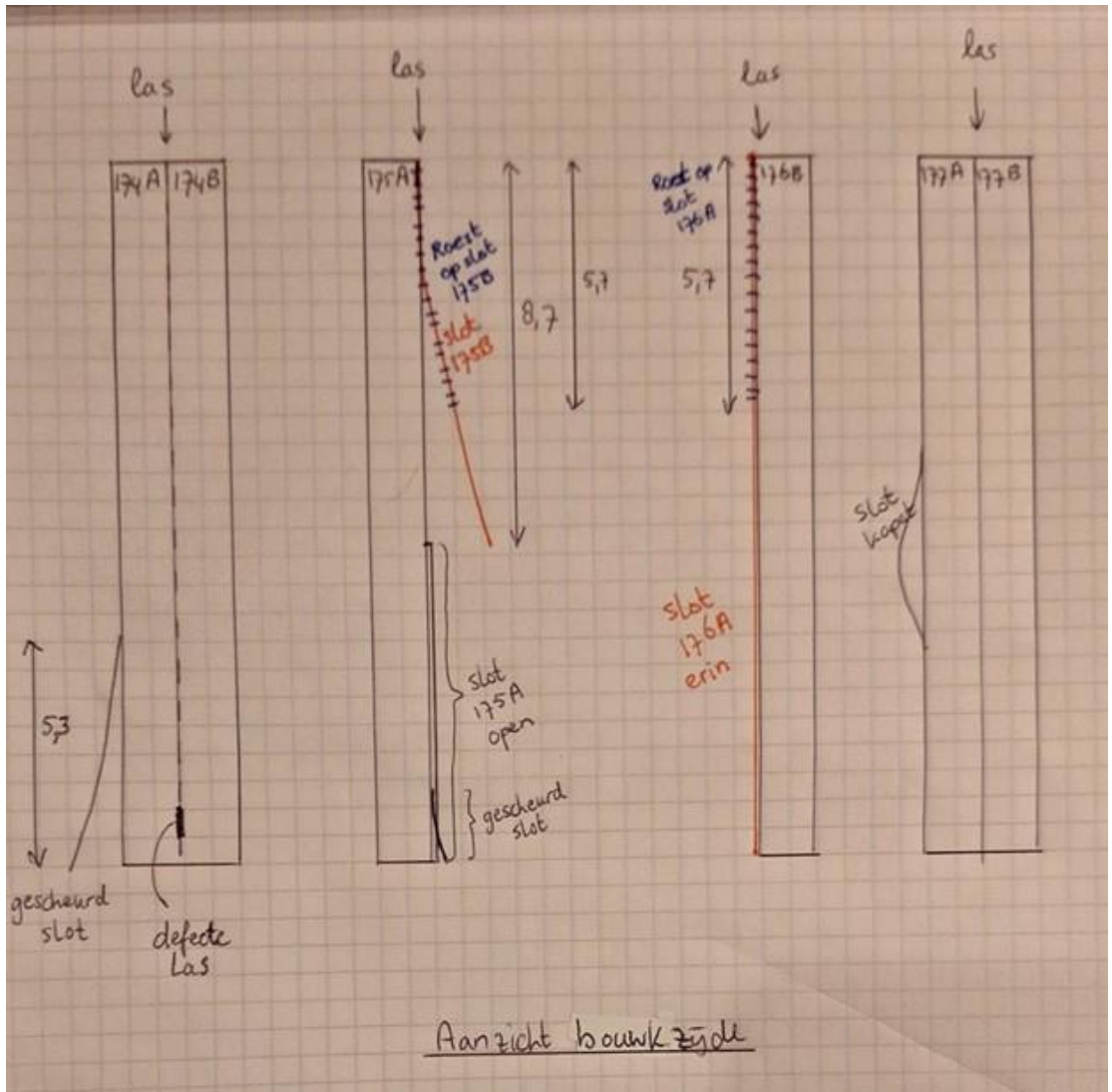


Figuur 2.10 Plank 175A met daarin het afgescheurde deel van het slot van plank 175B.

Slot 176A



Figuur 2.11 Plank 176B met daarin het afgescheurde deel van het slot van plank 176A.



Figur 2.12 Schets van de schade aan de planken 174 t/m 177, gemaakt door RWS en bevestigd door Deltares op basis van foto's.

2.4 Grondwatermetingen

De stijghoogte van het grondwater is gemeten in een aantal peilbuizen en in 2 damwandkokers. De locaties van de peilbuizen en damwandkokers is opgenomen in Figuur 2.13.



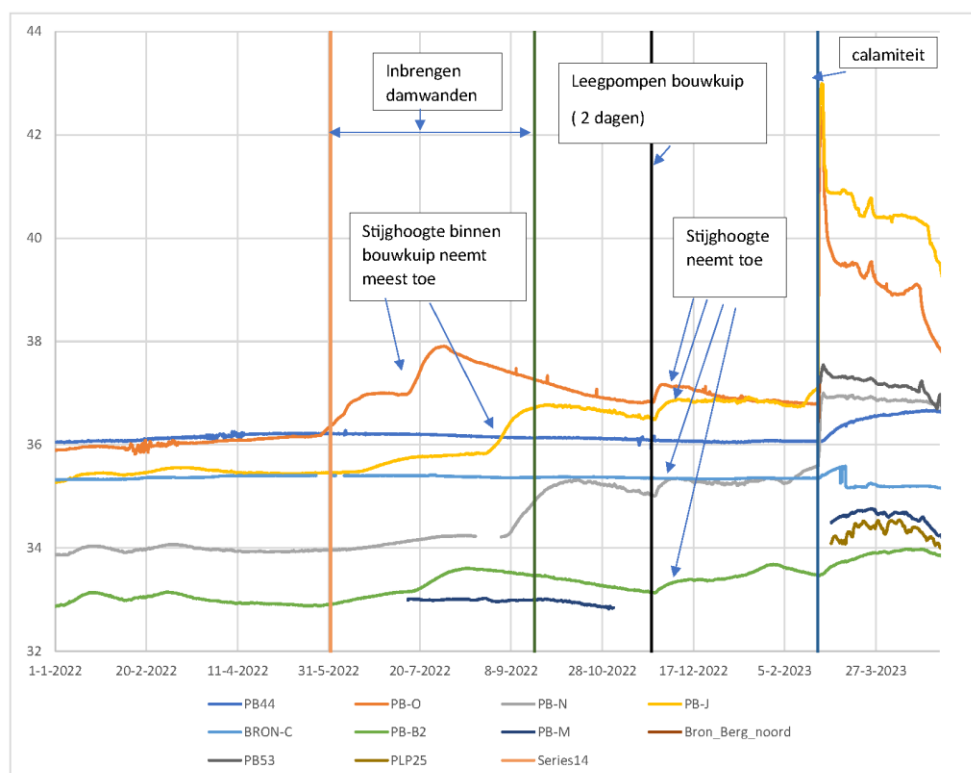
Figuur 2.13 Locatie peilbuizen en damwandkokers.

Twee peilbuizen hebben de naam Bron. Op deze locaties is eerst de waterstand gemeten en is later een pomp ingehangen. De waterstand in Bron Berg Noord is gemeten voordat de bron werd ingehangen. Hierna is de sensor verplaatst naar PB 53. Bron C is een regulier meetpunt, waar na de calamiteit een pomp actief is geweest.

Aan de binnenkant van de damwand zitten 2 kokers (damwand17_65 en damwand18_02), waarin de stijghoogte wordt gemeten. Daarnaast wordt de waterstand in de bouwkuip geregistreerd (bouwkuip_fase6).

De metingen in de damwandkokers zijn volgens Van den Herik [9] iets meer indicatief: “afhankelijk van de kwaliteit van de doorstroming van de kokers en mogelijk storende aspecten in de bouwkuip waardoor diepte sensor niet 100% gegarandeerd kan worden. De kokers staan aan de binnenzijde van de damwand met openingen in de koker op ongeveer 1 m boven het niveau van onderkant damwand. Deze kokers zijn gelast op de damwanden en zijn samen met de damwanden geplaatst”.

In Figuur 2.14 zijn de stijghoogten in de peilbuizen en de fasering aangegeven.

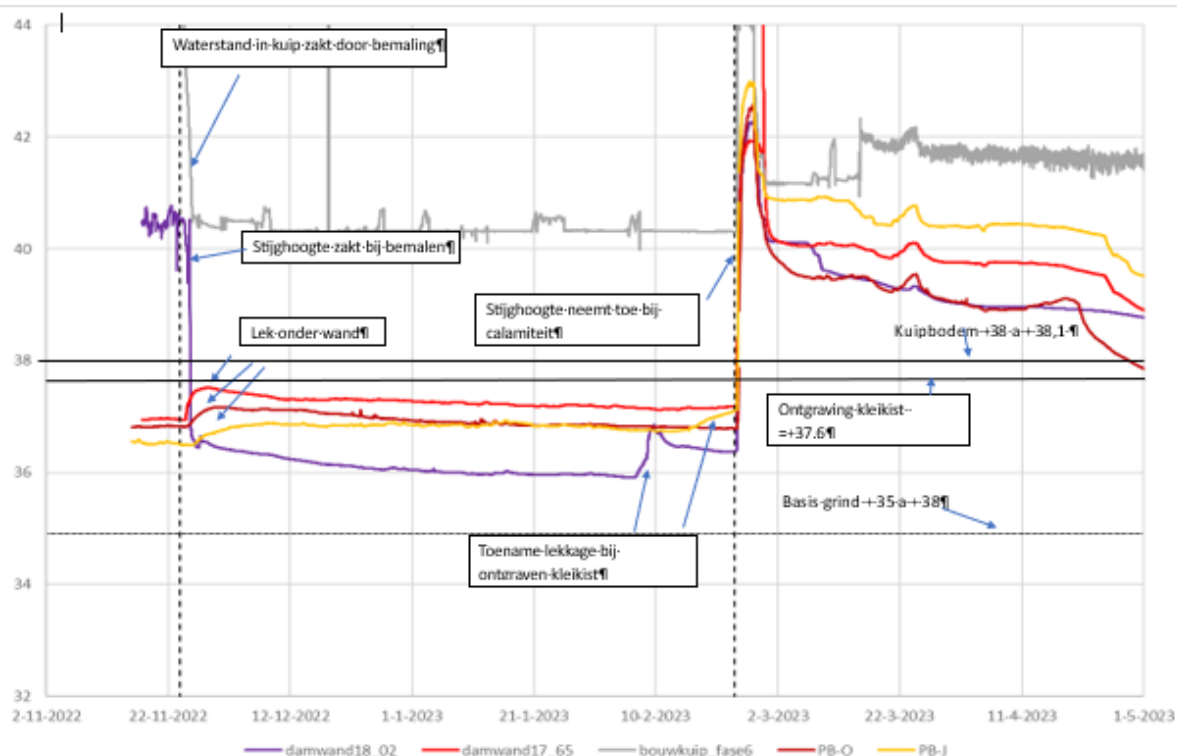


Figuur 2.14 Stijghoogten in de peilbuizen.

Uit de figuur blijkt:

1. Bij het inbrengen van de damwanden neemt de stijghoogte in de 4 peilbuizen PB-O, PB-J, PB-N en PB-B2 toe. De sterkste toename is bij PB-O en PB-J. Deze liggen binnen de bouwkuip. PB-B2 en PB-N liggen aan de westzijde van het kanaal. Aan de zuidzijde treedt de toename het eerst op en is ook het grootst.
2. De stijghoogte in PB44 en Bron C wijzigt in de periode tot falen van de wand nauwelijks.
3. In het zuiden (PB-O en PB-B2) neemt de stijghoogte vanaf begin augustus iets af.
4. In de periode na het inbrengen van de damwanden, maar vóór het leegpompen van de kuip nemen de stijghoogten in de 4 peilbuizen (O, J, N en B2) weer iets af.
5. Na het leegpompen van de kuip neemt de stijghoogte in de 4 peilbuizen toe.
6. Bij het falen van de wand neemt de stijghoogte in alle peilbuizen toe.

In Figuur 2.15 is de stijghoogte in de damwandkokers, de grondwaterstand in de bouwkuip en de stijghoogte in de peilbuizen binnen de bouwkuip (PB-O en PB-J) in meer detail gegeven.



Figuur 2.15 Stijghoogten in damwandkokers en peilbuizen bij de damwand.

Uit de figuur blijkt:

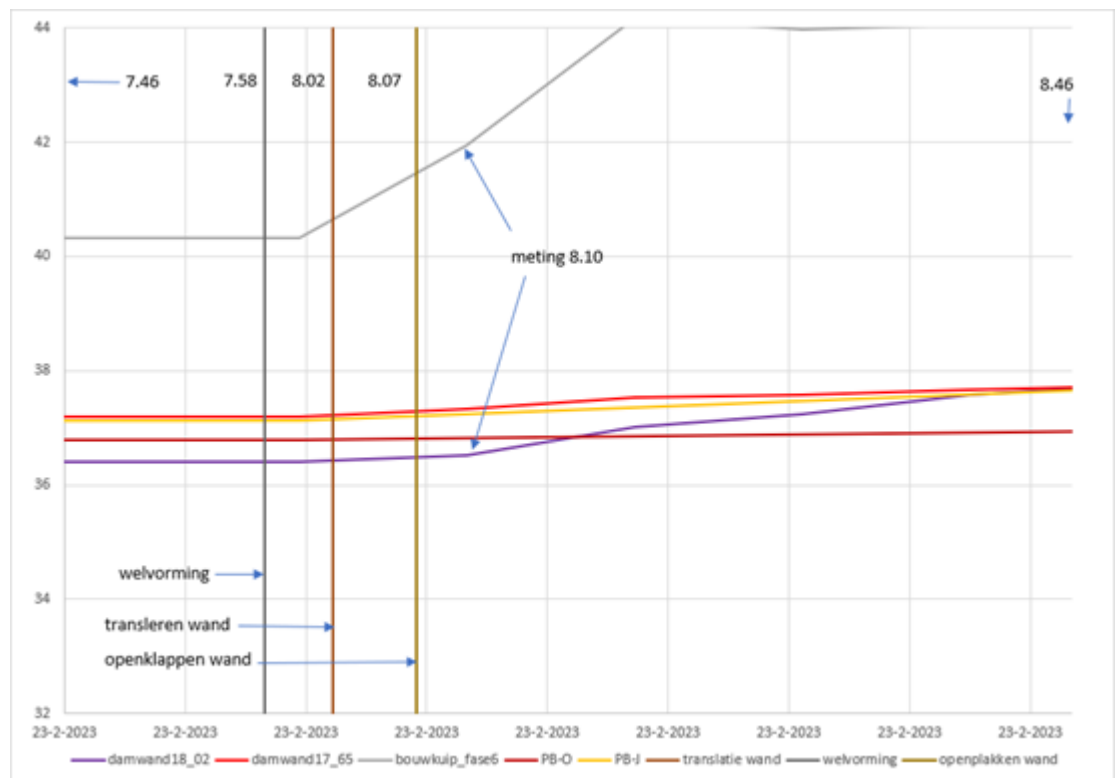
1. Bij het droogpompen zakt de waterstand in de bouwkuip van circa NAP +44 m naar circa NAP + 40,5 m. Dit stemt overeen met de gewenste verlaging naar NAP +40,4 m.
2. In damwandkoker 18-02 zakt de stijghoogte van circa NAP +41 m naar circa NAP +36 m.
3. In de damwandkoker 17-65 neemt de stijghoogte toe van circa NAP +37 m naar NAP +37,5 m. Ook de stijghoogte in de peilbuizen stijghoogte PB-O en PB-J neemt toe. De toename is wel kleiner dan in koker 17_65; de peilbuizen staan ook verder van de wand af.
4. In peilbuis PB-J is vanaf circa half februari een toename van de stijghoogte te zien. Dit valt samen met het ontgraven van de kleikist tussen km 17,85 en 18,09 in de periode 13 tot 17 februari (Tabel 2.1).
5. Bij de calamiteit neemt de grondwaterstand en stijghoogte in alle buizen toe.

De stijghoogte van de koker 18-02 is vóór het droogpompen niet goed te verklaren. In damwandkoker 18-02 was een hoge stijghoogte aanwezig (veel hoger dan de peilbuizen op dit niveau aangeven). Na het droogpompen is de stijghoogte meer in lijn met de andere metingen. Mogelijk heeft dit vreemde verloop te maken met een slechte doorstroming in de kokers. Bij het inbrengen van de damwanden kan er grond in de kokers zijn gekomen. Begin februari neemt de stijghoogte snel toe van NAP +36 m naar NAP +37 m. Dit valt samen met het ontgraven van de kleikist met km 18,15 (Tabel 2.1). De koker 18-02 staat namelijk bij km 18,02, dus daar vlakbij.

De stijghoogte in koker 17-65 is vóór de calamiteit vrij stabiel. Deze staat op de dag vóór het bezwijken op NAP +37,2 m. Dit is wel duidelijk hoger dan bij koker 18-02, die initieel op NAP +36 m stond en na ontgraven van de kleikisten tot maximaal NAP +36,8 m steeg. Dit gebeurde in een periode van enkele dagen.

Figuur 2.16 laat de peilbuismetingen zien rondom het bezwijken in vergelijking tot de tijdstippen uit de video [14]. Op de video, die start om 7.55, is het volgende te zien:

- Er zijn 2 kranen bezig met het ontgraven van de kleikist op de bezwijklocatie.
- op de bezwijklocatie is om 7.55 nog geen wel of water te zien. Ten zuiden van de bezwijklocatie staat water op de bouwputbodem.
- Om 7.58 is op de bezwijklocatie water op de bouwputbodem te zien.
- Om 7.59 stroomt het water hard.
- Om 8.02 klappt de wand open.
- Om 8.10 is te zien dat de stijghoogte in koker 17-65 toeneemt, net zoals in de andere peilbuizen, zie Figuur 2.8. De stijghoogten worden om de 10 minuten gemeten; om 8.00 is nog geen toename in stijghoogte te zien.



Figuur 2.16 Metingen van de stijghoogten en waterstand in bouwkuip tussen 7.46 en 8.46 uur op 23-2-2023.

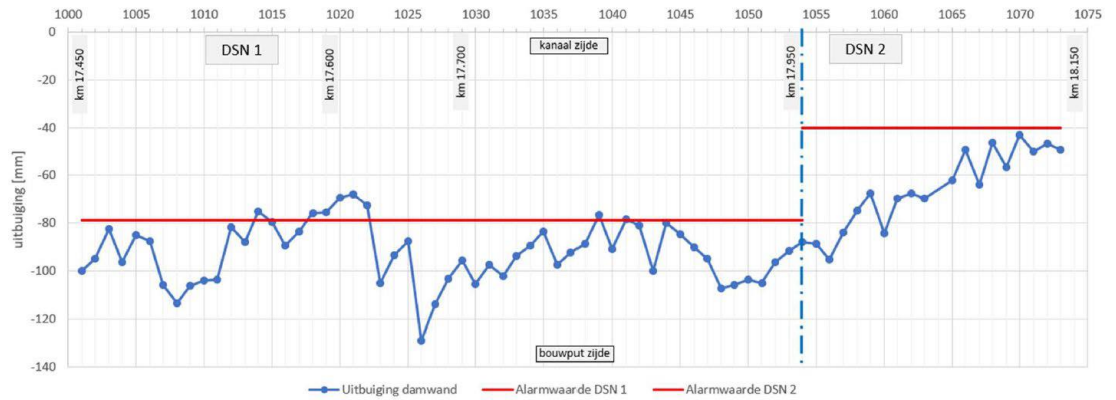
2.5 Damwandverplaatsingen

Door Sterk zijn damwandberekeningen uitgevoerd. Sterk heeft hiervoor monitoringswaarden voor de uitbuiging afgeleid. Deze monitoringswaarden zijn opgenomen in het integrale monitoringsplan [11].

Volgens het monitoringsplan zijn de metingen van de positie van de bovenzijde van de damwand bedoeld om inzicht te krijgen in de daadwerkelijke uitbuiging en hieruit volgend potentieel lekoppervlakte. Volgens het plan heeft overschrijding van de berekende uitbuiging geen direct bezwijken van de damwand tot gevolg.

Volgens het monitoringsplan is ca. 1 week voorafgaand aan het droogzetten gestart met monitoren; namelijk op 18 november '22 zijn de metingen gestart en op 24 november '22 is gestart met het leegpompen van de bouwkuip. Op 25 november '22 was de bouwkuip leeggepompt, de continue monitoring is doorgezet t/m 11 december '22 [4].

De monitoringswaarden (voor de fase leegpompen) uit het monitoringsplan werden overschreden. Daarop zijn door MUC in opdracht Van den Herik controleberekeningen van de vervormingen van de damwand uitgevoerd [3].



Figuur 2.17 Uitbuiging van de damwand op een niveau van NAP +46,0 m bij een verlaging van de waterstand van 4 m tot NAP +40,1 m [3].

M.U.C. concludeert:

- De monitoring vindt plaats op NAP + 46,0 m (1 m hoger dan in berekeningen, i.v.m. damwanden welke 1m langer besteld zijn om bij evt. schade voor gebruik volgende fase te kunnen inkorten).
- Het gebruikte model is correct, door MUC worden dezelfde waarden berekend.
- De gemeten vervormingen zie Figuur 2.9 komen (gem) overeen met berekende waarden (voor de fase leegpompen).
- De berekende vervormingen in de volgende bouwfasen zijn veel groter dan de vervormingen bij het leegpompen.

Het laatste punt volgt uit de berekende uitbuigingen in het rapport van M.U.C voor de volgende bouwfasen:

DRSN 1	δ ber. MUC op NAP + 46 [mm]	Gemeten vervorming [mm]
Fase 1: Leegpompen NAP +40.10	99	ca. 100
Fase 2: Leegpompen NAP +38.00	113	
Fase 3: Ontgravgen NAP +37.60	256	
Fase 4: Aanvaren BGT; Bodem NAP +38.00	353	
Fase 5: Aanvaren UGT; Bodem NAP +38.00	376	
Fase 6: Aanvaren Calamiteit; Bodem NAP +38.00	405	

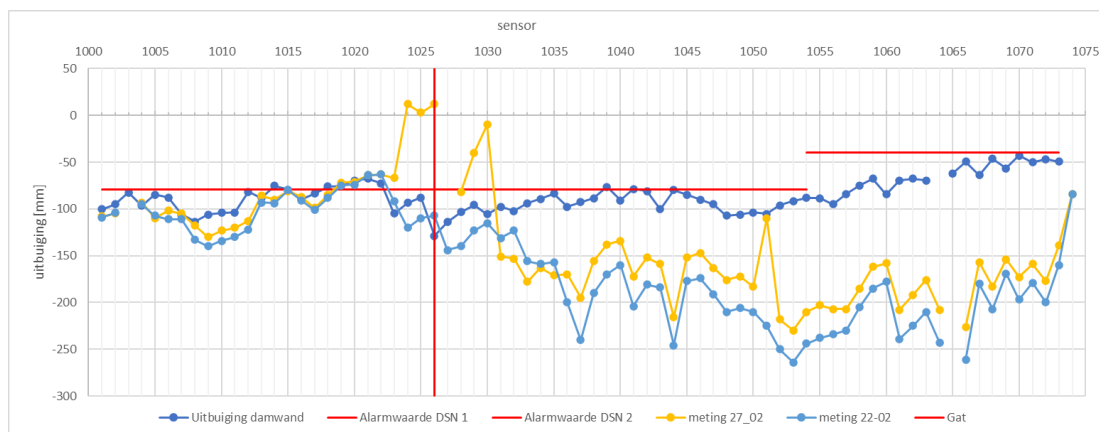
DRSN 2	δ ber. MUC op NAP + 46 [mm]	Gemeten vervorming [mm]
Fase 1: Leegpompen NAP +40.10	50	ca. 55
Fase 2: Leegpompen NAP +38.00	51	
Fase 3: Ontgravgen NAP +37.60	166	
Fase 4: Aanvaren BGT; Bodem NAP +38.00	254	
Fase 5: Aanvaren UGT; Bodem NAP +38.00	276	
Fase 6: Aanvaren Calamiteit; Bodem NAP +38.00	303	

Figuur 2.18 Berekende uitbuigingen [3].

Op 30 januari is een eerste handmatige deformatiemeting gedaan, deze geldt voor de handmatige metingen als nieuwe '0-referentie'. Tussen 11 december '22 en 30 januari '23 is het waterniveau en bodemniveau in de bouwkuip gelijk gebleven. Op 6 februari is gestart met het op diepte ontgraven. Na da 0 meting zijn in de periode 30 januari – 22 februari (dag voor de calamiteit) 7 herhalingsmetingen uitgevoerd [5].

De continue monitoring is doorgezet tot 22 december. De handmatige meting is op 30 januari gestart. In de periode 22 december 2022 tot 30 januari 2023 zijn dus geen verplaatsingen van de damwand gemeten.

Door Van den Herik is de volgende Figuur 2.19 verstrekt.



Figuur 2.19 Metingen van de damwandverplaatsing.

Hierin staan:

- Donkerblauw: Dit is de maximale damwandverplaatsing (ook wel deformatie of uitbuiging genoemd) gemeten door de RTS'en, periode 18-11-2022 t/m 11-12-2022 gedurende het droogpompen.
- Lichtblauw: Handmatige herhalingsmeting nummer 7, op 22-02-2023 (de dag voor de calamiteit). Wat je hier goed ziet is dat aan de rechterzijde (noordzijde is dit) de damwandverplaatsing fors groter is dan de donkerblauwe meting, dit klopt omdat hier inmiddels naar de einddiepte was gegraven voor het aanbrengen van de kleikist.

- Geel: Handmatige herhalingsmeting n.a.v. de calamiteit, gemeten op 27-02-2023. De rode rechtopstaande lijn is de plek waar de damwand is bezwaken. Ook hier is goed te zien dat er een verschil zit in de meetwaardes, doordat er water in de bouwkuip stond op 27-02-2023 is de damwandverplaatsing kleiner dan op 22-02-2023.

3 Hypothesen Faalmechanisme

3.1 Hypothese spoedadvies

In het spoedadvies is het volgende faalmechanisme beschreven:

3.1.1 Tekst uit spoedadvies

Proces van falen:

- Lokale vernatting is opgetreden onder de bestaande afdichting van de kanaalbodem.
- Ter plaatse van de calamiteit was 's-ochtends een wel actief, videobeelden laten zien dat deze wel uiteindelijk zeer actief werd.
- Hierdoor is verlies van passieve gronddruk aan de binnenzijde van de damwand ontstaan.
- Door het wegvallen van de passieve gronddruk kon de damwand zijn belasting lokaal niet meer afdragen naar de ondergrond en is deze herverdeeld richting naastgelegen planken. Deze belasting leidde tot translatie van de damwand en daarmee tot te grote spanningen in het staal en de sloten waarna deze is gebroken op de zwakste schakel (geconstateerd: geen kromming lengterichting wand, erosiegat binnenzijde wand ca 10 m diep, net zo diep als de damwand, damwand sloten konden deze vervorming niet aan, damwand brak op zwakste schakel).

De onderloopsheid kon alleen ontstaan omdat water onder de kanaalbodem aanwezig was.

Mogelijke oorzaken hiervan zijn:

- Inzijing vanuit het kanaal naar de bodem onder het kanaal.

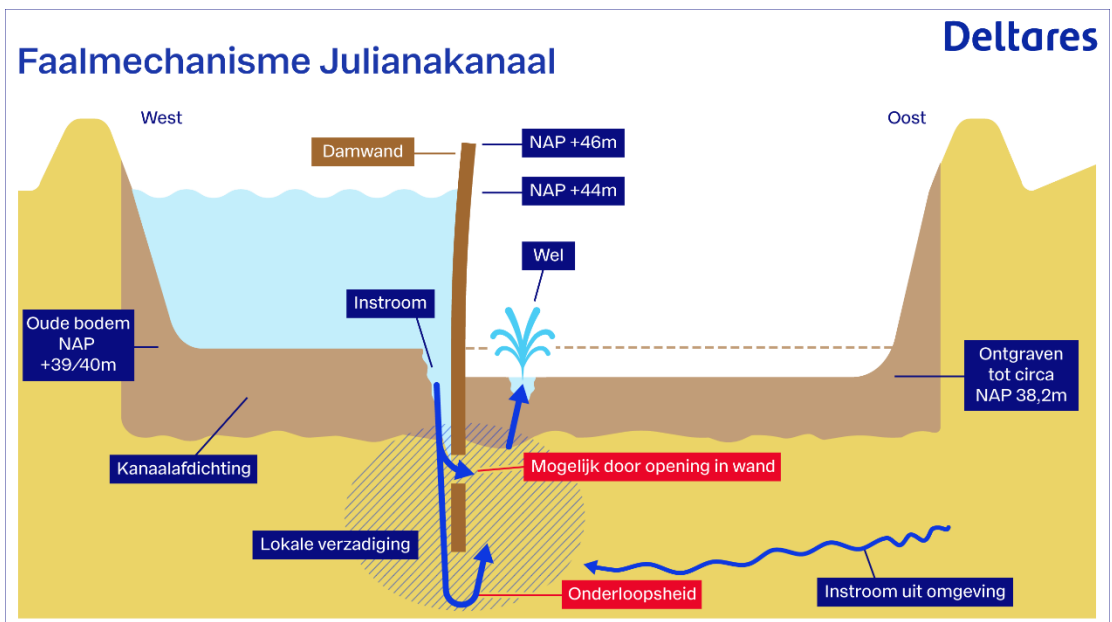
Dit kan zijn veroorzaakt:

- Tijdens installatie van de wand, al dan niet inclusief fluïdiseren.
- Door spleetvorming tussen kanaalbodem vaartzijde en damwand bij uitbuiging; ondanks extra aanvullen klei is niet uit te sluiten dat deze spleet aanwezig was. Spleetvorming is mogelijk verergerd door scheepsbelasting (zie paragraaf 4.3).
- De vernatting is te zien in een verhoging van de stijghoogte in peilbuis N aan de westzijde van het kanaal. Deze toename is reeds ontstaan tijdens aanleg bouwkuip (september 2022) en sindsdien niet of nauwelijks afgenomen. Dit duidt op spleetvorming en inzijing.
- Wijziging van de grondwaterstroming omdat de damwand de normale westwaarts gerichte grondwaterstroming onderbreekt, geen of minder afstroming naar omgeving vanuit bouwkuip, in combinatie met lokale heterogeniteit en doorlatendheid bodem.
- Eventueel uit het slot gelopen damwandplank(en) kunnen dit hebben verergerd.

3.1.2 Verdere analyse

Voor het stromen van water vanuit de kanaalzijde naar de grond onder de bouwput zijn 3 mogelijkheden:

1. De damwand is dicht; het water stroomt onder de damwand door (onderloopsheid)
2. Er zit een gat of scheur in de wand; het water stroomt door het gat of de scheur
3. Het water stroomt om de kopse kant van de damwand heen (achterloopsheid).



Figuur 3.1 Dwarsdoorsnede Julianakanaal waarin de faalmechanisme (onderloopsheid en stroming door gat in de wand) zijn weergegeven.

In de volgende paragraaf wordt nader ingegaan op de mogelijk oorzaken van de verhoogde waterspanning.

- In de periode na het inbrengen van de damwanden, maar vóór het leegpompen van de kuip nemen de stijghoogten in de 4 peilbuizen iets af.
- Na het leegpompen van de kuip neemt de stijghoogte in de 4 peilbuizen toe. Dit is mogelijk veroorzaakt doordat de damwand verplaatst, waardoor een spleet ontstaat, die een verbinding geeft tussen het kanaal en de ondergrond (een lek).
- Bij het falen van de wand neemt de stijghoogte in alle peilbuizen toe.

3.2 Detailhypothesen voor verhoogde waterspanning

3.2.1 Instroom via kanaalbodem onder de wand door gevolgd door piping

Instroom via de kanaalbodem wordt bevestigd door de nadere analyse van de peilbuisgegevens (2.3) in combinatie met de bouwfaserings (2.2) en damwandverplaatsingen:

- Bij het inbrengen van de damwanden neemt de stijghoogte in de 4 peilbuizen PB-O, PB-J, PB-N en PB-B2 toe. De sterkste toename is bij PB-O en PB-J. Deze liggen binnen de bouwkuip. PB-B2 en PB-N liggen aan de westzijde van het kanaal. Aan de zuidzijde treedt de toename het eerst op en is deze ook het grootst. Door het inbrengen van de damwanden wordt de van nature aanwezige oost-west stroming gehinderd. Dit kan een verklaring zijn voor de toename van de stijghoogte in de peilbuizen PB-O en PB-J. De toename van de stijghoogte in de peilbuizen PB-N en PB-B2 kan hier niet door verklaard worden. Mogelijk is door het inbrengen van een wand een lekweg langs de wand ontstaan, waardoor het water van het kanaal in de grond onder de kanaalbodem dringt.
- De stijghoogte in PB44 en Bron C wijzigt in de periode tot falen van de wand nauwelijks.
- In het zuiden (PB-O en PB-B2) neemt de stijghoogte vanaf begin augustus in de periode na het inbrengen iets af. Mogelijk slibt het lek dicht.
- Bij het leegpompen van de kuip neemt de stijghoogte in de grondlaag onder de kanaalbodem weer toe. Bij het leegpompen verplaatst de damwand aan de bovenzijde circa 100 mm van het kanaal af. Hierdoor ontstaat een spleet tussen damwand en grond. Deze spleet geeft een verbinding tussen het kanaal en de ondergrond (een lek).

- Tussen 13 en 17 februari is van km 17,855 tot km 18,095 grond ontgraven voor de kleikist (Tabel 2.1) Hierna neemt de stijghoogte in peilbuis PB-J toe.
- Op 22 februari, de dag vóór het falen van de damwand, is van km 17,725 tot 17,785 grond ontgraven voor de kleikist. Dit is net ten noorden van de locatie van de calamiteit (km 17.69).
- Op 23 februari zien we op de video 2 kranen ontgraven voor de kleikist. Even later zien we op de video water aan de binnenkant van de damwand.. Dit betekent een opwaartse stroming waardoor verlies van passieve gronddruk aan de binnenzijde van de damwand ontstaat. Door het wegvallen van de passieve gronddruk kon de damwand zijn belasting lokaal niet meer afdragen en is bezweken.

De vervolgvraag is waarom de damwand bij eerdere stukken waar de kleikist is ontgraven tot dezelfde diepte niet is bezweken; dit kan verklaard worden door ofwel inhomogeniteiten in de bodem ofwel door een lekweg door de wand (zie volgende punt).

3.2.2 Uit het slot lopen van de damwandplanken

Het is mogelijk dat planken uit het slot zijn gelopen. Bij een uit het slot gelopen plank is de kans op het ontstaan van een wel groter doordat (ook) instroming van water onder de kanaalbodem kan plaatsvinden door de wand heen. Er zijn geen slotverkliekers gebruikt, wat het onmogelijk maakt met zekerheid te stellen dat er geen damwanden uit het slot gelopen zijn. Wel zijn er slotgeleiders toegepast. Een slotgeleider is een stukje staal aan de onderzijde van de in te brengen damwandplank; hiermee wordt de kans op uit het slot lopen verkleind. Plaatselijk was er grind in de ondergrond aanwezig en het inbrengen van de planken ging zwaar. Daarom zijn gedurende het werk de planken verzwaard en is bij het intrillen geïnduceerd.

Het uit het slot lopen zou onder de waterbodem moeten zijn gebeurd, want daarboven zou dit in de bouwput zijn geconstateerd door de aanwezigheid van slotopeningen en grote lekkages. Onder de slecht doorlatende waterbodem is goed doorlatende grond aanwezig. Het grondwater aan de kanaalzijde kan onder de damwand door naar de bouwputzijde stromen. Indien planken uit het slot gelopen zijn, zal het grondwater ook door de slotopeningen stromen. De lekweg wordt dan korter en daardoor wordt de kans op het ontstaan van een wel groter.

Bij het falen zijn de planken 176A en 175B naast het slot gescheurd. Deze sloten (tussen 176A/176B en 175A/175B) zijn geponst en op enkele plaatsen gelast. Deze kunnen dus niet uit het slot lopen.

De dubbele plank 177 heeft aan de zijde van plank 176 schade zie Figuur 3.3. Het slot is los gescheurd. Er zijn geen tekenen dat de plank hier uit het slot is gelopen. Bij uit het slot lopen zou de plank tot aan de teen uit het slot zijn. Dit is niet vastgesteld.

Bij plank 174A is het slot losgescheurd (zie Figuur 3.4).

De dubbele planken zijn niet in een aaneengesloten rij geplaatst, maar om en om. Dat wil zeggen dat eerst bijvoorbeeld plank 174 en 176 zijn geplaatst en vervolgens is plank 175 hiertussen in ingebracht. Het geponste slot van plank 175B zit na het bezwijken nog gedeeltelijk vast aan plank 175A, maar is ook gedeeltelijk los. Het is niet duidelijk of het gedeeltelijk uit het slot gaan van 175A/175B al tijdens het inbrengen is gebeurd of bij het bezwijken

Het staat derhalve niet vast dat er geen planken uit het slot zijn gelopen of bij het inbrengen zijn gescheurd. Bij een kapot slot is de kans op het ontstaan van een wel groter. Daarom wordt aanbevolen nader onderzoek te verrichten naar de mogelijkheid van uit het slot gelopen of bij installatie gescheurde damwanden.

3.2.3 **Sterkte en kwaliteit van de damwandplanken**

De afgescheurde sloten kunnen een oorzaak of een gevolg zijn van het falen. Als de afgescheurde planken zijn ontstaan door een te lage sterkte en kwaliteit van de damwandplanken kan dit een mogelijke oorzaak zijn.

De geleverd damwandplanken zijn door Van den Herik gecontroleerd. Op keuringsformulieren is aangegeven dat de certificaten van de planken zijn gecontroleerd. Daarnaast heeft Van den Herik de afmetingen (lengte/breedte, dikte flens en dikte lijf) opgemeten. Uit de keuringsformulieren blijkt dat alle planken voldoen.

Op grond van de keuringsformulieren wordt niet getwijfeld aan de sterkte en afmetingen van de damwandplanken.



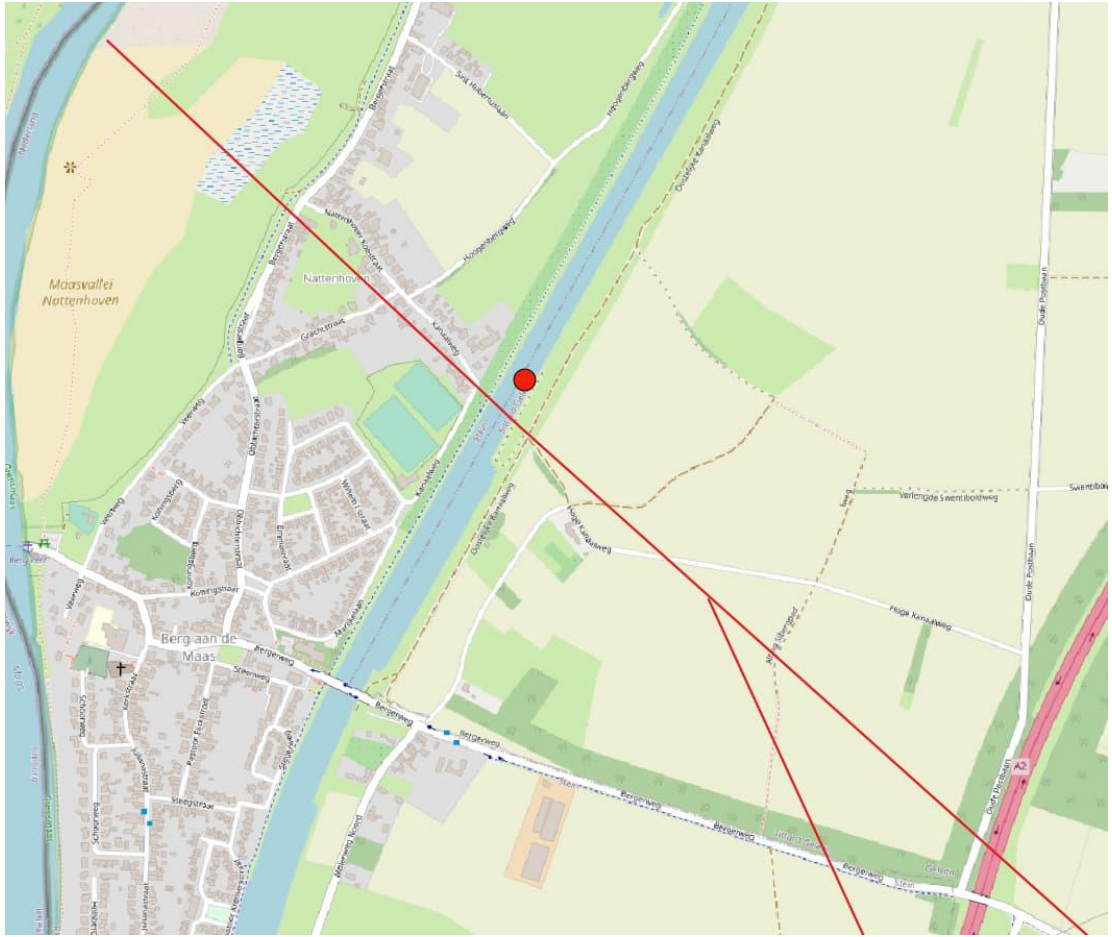
Figuur 3.2 Gescheurd slot plank 176 /177.



Figuur 3.3 Slot plank 174A losgescheurd.

3.2.4 Aardbevingen en breukvlak in ondergrond

Door Van den Herik is opgemerkt dat op de locatie van bezwijken van de damwand een tektonische randbreuk aanwezig is [12].



Figur 3.4 Ligging tektonische breuk (rode lijn) [12].

Op de dag vóór het bezwijken van de damwand zijn er in Maasmechelen 3 tektonische aardbevingen [12] geregistreerd:

eventID	datum/tijd	plaats	latitude	longitude	diepte	magnitude
knmi2022tkkf	2022-10-04 01:41:38	Esneux (België)	50.522	5.576	15.0	0.8
knmi2022trvx	2022-10-08 03:34:05	Hürth (Duitsland)	50.846	6.850	3.5	0.9
knmi2022ujkd	2022-10-17 18:03:20	Roosbeek (België)	50.664	4.163	2.0	1.3
knmi2022wdnl	2022-11-11 23:59:42	Klimmen	50.876	5.868	7.0	0.4
knmi2022xdjh	2022-11-26 03:25:42	Heidenrod (Duitsland)	50.128	7.956	7.0	2.1
knmi2022ykoa	2022-12-14 07:18:25	Düren (Duitsland)	50.792	6.515	12.0	2.6
knmi2022zehn	2022-12-25 02:44:47	Voerendaal	50.881	5.944	7.0	0.3
knmi2022zfkx	2022-12-25 17:16:14	Voerendaal	50.876	5.945	9.0	0.4
knmi2022zlvn	2022-12-29 05:45:25	Niederzier (Duitsland)	50.915	6.450	1.0	1.0
knmi2022znek	2022-12-29 23:23:31	Niederzier (Duitsland)	50.919	6.459	1.0	1.1
knmi2023bdln	2023-01-17 02:46:21	Heerlen	50.890	5.988	15.0	1.0
knmi2023blgx	2023-01-21 09:30:48	Munstergeleen	50.973	5.880	15.0	0.5
knmi2023cuni	2023-02-09 16:31:58	Jülich (Duitsland)	50.925	6.305	7.0	1.8
knmi2023dbly	2023-02-13 11:46:47	Wittem	50.814	5.931	12.0	0.4
knmi2023drfr	2023-02-22 02:46:51	Maasmechelen (België)	50.945	5.724	12.0	2.1
knmi2023drgi	2023-02-22 03:07:30	Maasmechelen (België)	50.943	5.714	15.0	0.9
knmi2023dsft	2023-02-22 15:57:14	Maasmechelen (België)	50.944	5.696	15.0	1.6
knmi2023dwvd	2023-02-25 04:17:06	Herzogenrath (Duitsland)	50.901	6.098	15.0	0.9
knmi2023dwxw	2023-02-25 05:39:12	Herzogenrath (Duitsland)	50.885	6.096	15.0	0.2
knmi2023dxgz	2023-02-25 10:16:10	Würselen (Duitsland)	50.808	6.193	18.0	0.6

Figuur 3.5 Overzicht aardbevingen [12].

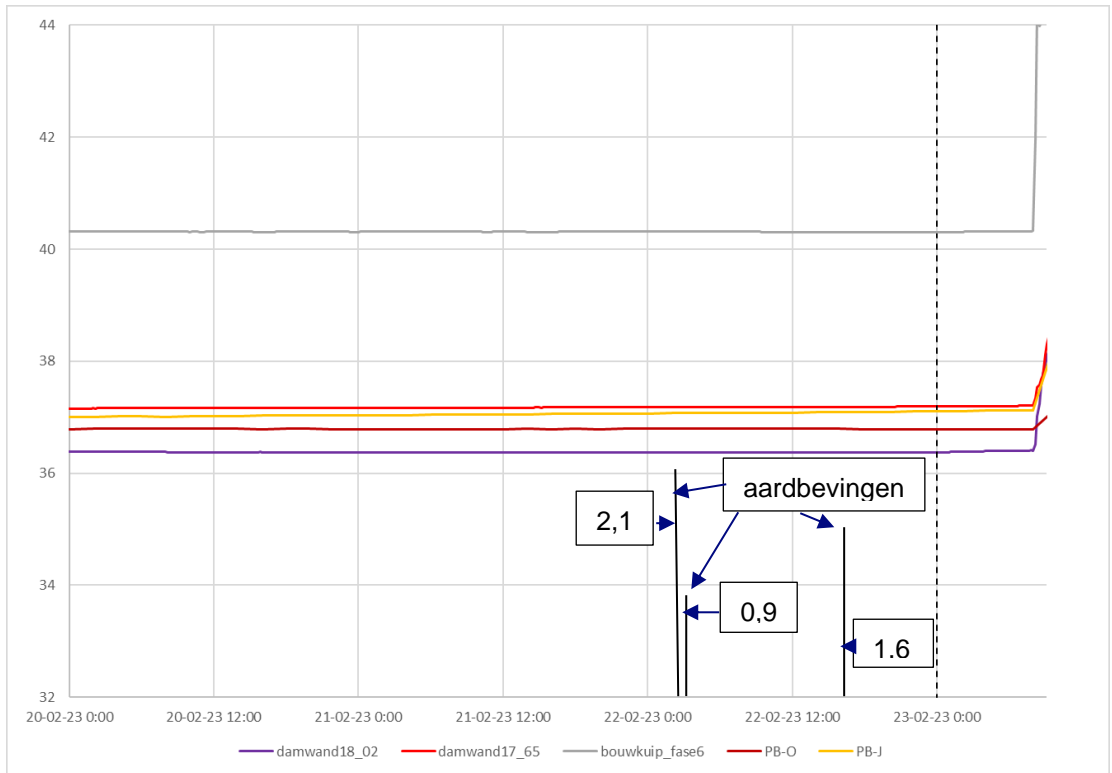
Door Van den Herik is aangegeven dat de kleine aardbevingen mogelijk het bezwijken hebben geïnitieerd. Daarom stelt Van den Herik voor dit nader te onderzoeken door de registraties van de peilbuizen te bekijken en de sonderingen nader te analyseren.

In Figuur 3.6 zijn de registraties van de peilbuizen rond het tijdstip van de aardbevingen in Maasmechelen gegeven. In deze peilbuizen wordt de stijghoogte iedere 10 minuten geregistreerd.

In de registraties in de peilbuizen is op het tijdstip van de aardbevingen geen verhoging van de grondwaterstand waargenomen.

Alleen in peilbuis M is circa 2 uur na de eerste aardbevingen een verhoging van circa 0,08 m waargenomen (Figuur 3.7).

In de andere peilbuizen is geen verhoging waargenomen. Daarom wordt geconcludeerd dat de aardbevingen niet leiden tot toename van stijghoogten.



Figuur 3.6 Registraties peilbuizen rond de damwand.



Figuur 3.7 Registratie peilbuis M.

4 Conclusies en aanbevelingen forensisch onderzoek

4.1 Hypothesen faalmechanismen

In het spoedadvies is aangegeven dat het falen van de damwand waarschijnlijk is veroorzaakt door het volgende faalmechanisme:

- Vanuit het kanaal is water door lekkage langs de damwand in de droge grond onder de kanaalbodem gestroomd.
- Aan de bouwkuipzijde is een wel ontstaan.
- Hierdoor is de passieve gronddruk gedaald.
- De damwand is hierdoor eerst horizontaal verplaatst en vervolgens op 2 plaatsen gebroken.

De nadere analyse van de peilbuisgegevens, verplaatsingen van de damwand en het overzicht van de uitgevoerde werkzaamheden in de bouwkuip bevestigen dit faalmechanisme.

De lekkage is ontstaan bij het inbrengen van de damwanden en later verergerd bij het droogpompen van de bouwkuip en het ontgraven van de bouwkuip.

De trigger voor het falen op 23 februari is het ontgraven van de grond voor de aanleg van een kleikist in de week van 13 tot 22 februari. Hierbij zien we een toename van de stijghoogte in PB -J. Dit kan alleen veroorzaakt zijn door lekkage vanuit het kanaal. Uiteindelijk is een wel ontstaan en de damwand bezweken.

Er zijn geen aanwijzingen dat er iets mis is met de damwandplanken. Er zijn geen concrete aanwijzingen dat planken uit het slot zijn gelopen en uit de keuringsformulieren blijkt niet dat er moet worden getwijfeld aan de sterkte en afmetingen van de damwandplanken.

Voor het vaststellen van de oorzaak van het ontstaan van de wel is het van belang zekerheid te krijgen of de planken op de bezwijklocatie mogelijk uit het slot waren gelopen of eventueel gescheurd bij het inbrengen.

Een gat of scheur in de damwanden verkort namelijk de lekweg en verhoogt daarmee de kans op een wel.

Op de locatie van bezwijken van de damwand is een tektonische randbreuk aanwezig is. Op de dag vóór het bezwijken van de damwand zijn er in Maasmechelen 3 tektonische aardbevingen geregistreerd. In de registraties van de peilbuizen is op het tijdstip van de aardbeving geen toename van de stijghoogte te zien. Er zijn dus geen aanwijzingen dat deze aardbevingen de trigger zijn voor het falen van de damwand.

4.2 Aanbevelingen voor nader onderzoek

Aanbevolen wordt een onderzoek naar de schade aan te planken uit te voeren. Doel van dit onderzoek is de schade aan de planken te verklaren.

Dit onderzoek moet in ieder geval bestaan uit een inspectie van de planken en breukvlakken. Uit de inspectie kan volgen dat nader onderzoek nodig is. Voor dit nadere onderzoek kunnen bijvoorbeeld monsters van de planken worden genomen, om de breukvlakken in het laboratorium te bekijken of trekproeven uit te voeren.

De redenen voor dit onderzoek zijn:

1. Voorafgaand aan het bezwijken van de damwand is een wel ontstaan. Hierbij is water vanuit het kanaal naar de bouwput gestroomd. Indien de damwanden niet uit het slot zijn

gelopen loopt de kortste lekweg onder de damwand door. Het is niet uitgesloten dat planken uit het slot zijn gelopen of gescheurd. Als dit is opgetreden is de lekweg korter en de kans op een wel groter. Met een onderzoek aan de planken kan mogelijk worden vastgesteld of de planken uit het slot zijn gelopen.

2. De damwand is op 2 plaatsen gescheurd. Met een onderzoek kan mogelijk meer inzicht worden verkregen in het bezwijkmechanisme van de planken.

A Damwandwerkzaamheden

	Datum	Werkzaamheden	Bijzonderheden/veranderingen	Locatie
Damwandwerkzaamheden	wo 1-6-2022	Plank 1 t/m 11	Start aanbrengen langsscherm richting noorden met trilblok 2350 VM	km 17.440 startpunt
	do 2-6-2022	Plank 12 t/m 34 behalve plank 25 en 27		
	di 7-6-2022	Plank 35 t/m 45 en plank 25 en 27		
	wo 8-6-2022	Plank 46 t/m 69		
	do 9-6-2022	Plank 70 t/m 93		
	ma 13-6-2022	Plank 94 t/m 116		
	di 14-6-2022	Plank 118 t/m 129 en plank 131, 133, 135, 137, 139 en 141		
	wo 15-6-2022	Plank 130, 132, 134, 136, 138, 140 en plank 142 t/m 153		
	do 16-6-2022	-		
	ma 20-6-2022	-		
	di 21-6-2022	Plank 154 en 155 geprobeerd en plank 150 verder ingetrild	Trilblok ICE 1412C geprobeerd	
	In tussenliggende periode zijn geen werkzaamheden uitgevoerd			
	wo 13-7-2022	Plank 0 t/m -21	Vanaf startpunt (plank 1) richting zuiden met trilblok 2350 VM	
	do 14-7-2022	Plank -22 t/m -26	Kopscherm zuidzijde met trilblok 2350 VM	km 17.410 kopscherm
	ma 18-7-2022	Plank -27 t/m -42	Kopscherm zuidzijde met trilblok 2350 VM	km 17.410 kopscherm
	di 19-7-2022	Plank 407 t/m 409	Test t.b.v. bepalen uitvoeringswijze. Trilblok 2350 VM (voorzien van 2st. verzwarringsplaten à 1,50 ton/st), plank 408 en 409 met fluïderen.	
	wo 20-7-2022	Plank 410 en 411	Test t.b.v. bepalen uitvoeringswijze. Met trilblok PVE 110 proefplank, zonder en met fluïderen. Vervolgens ICE 1412C geprobeerd, ging snel maar stonden scheef en dus weer verwijderd.	
	do 21-7-2022	-	Alternatieve trilblokken (PVE 110 en ICE 1412C) weer afgevoerd.	
	ma 25-7-2022	Plank -43 t/m -52	Kopscherm zuidzijde met trilblok 2350 VM	Km 17.140 kopscherm
	di 26-7-2022	Plank 154 en 156	Verder met langsscherm met trilblok 2350 VM met verzwarringsplaten i.c.m. fluïderen	
	wo 27-7-2022	Plank 157 t/m 163, 165, 167, 169 t/m 174		
	do 28-7-2022	Plank 164, 166 en 168		
In tussenliggende periode zijn vanwege vakantie geen werkzaamheden uitgevoerd				
	ma 15-8-2022	Plank 176, 178, 180, 182, 184, 186	Trilblok 2350 VM met verzwarringsplaten i.c.m. fluïderen	
	di 16-8-2022	-		
	wo 17-8-2022	Plank 175, 177, 179, 181, 183, 185 en plank 187 t/m 197		
	do 18-8-2022	Plank 198 t/m 209		

ma 22-8-2022	Plank 210 t/m 221 en plank 223 en 225		
di 23-8-2022	Plank 222, 224 en plank 226 t/m 244		
wo 24-8-2022	Plank 245 t/m 256		
do 25-8-2022	Plank 257 t/m 268		
ma 29-8-2022	Plank 269 t/m 280		
di 30-8-2022	Plank 281 t/m 304		
wo 31-8-2022	Plank 305 t/m 328		
do 1-9-2022	Plank 329 t/m 338		
ma 5-9-2022	Plank 339 t/m 362		
di 6-9-2022	Plank 363 t/m 386		
wo 7-9-2022	Plank 387 t/m 412		
do 8-9-2022	Plank 413 t/m 424		
ma 12-9-2022 - wo 14-9-2022	Plank 425 t/m 483		
do 15-9-2022 - di 20-9-2022	Plank 484 t/m 526	Vanaf plank 508 kopscherm noordzijde	Km 18.155 kopscherm
wo 21-9-2022	Plank 527 t/m 538		

Deltares is een onafhankelijk kennisinstituut voor toegepast onderzoek op het gebied van water en ondergrond. Wereldwijd werken we aan slimme oplossingen voor mens, milieu en maatschappij.

Deltares

www.deltares.nl