Notitie

Onderwerp: Stabiliteit waterkering bij werken in stormseizoen
Projectnummer: [redacted]
Referentienummer: [redacted]
Datum: [redacted] 2020

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doel

Voor de verwijdering van [redacted] uit de Westdijk bij Bunschoten-Spakenburg wil Waterschap Vallei en Veluwe nagaan wat de mogelijkheden zijn om de werkzaamheden ook in het gesloten seizoen uit te laten voeren. Het werken in gesloten seizoen brengt risico's met zich mee die nader beschouwd moeten worden om te voorkomen dat de waterveiligheid in het geding is.

Deze notitie beschrijft de resultaten van de uitgevoerde analyses waarmee de waterveiligheid gewaarborgd blijft. Dit kan als basis worden gebruikt voor de keuze van de waterveilige en kosteneffectieve maatregelen en een actieplan om bij extreme weersomstandigheden de waterveiligheid te kunnen waarborgen. Het is daarmee een basis voor een calamiteitenplan dat de uitvoerende partij dient op te stellen voor de uitvoering van de werkzaamheden.

2 Waterveiligheidssituatie

2.1 Maatgevende hoogwaterstand en reactietijd

De Randmeerdijken waar de Westdijk deel van uitmaakt, is een stormgedreven systeem. Er kunnen problemen ontstaan bij een hoog peil op het Eemmeer en Noordwesterstorm. Voor dijktraject 45-2 is de normering 1/300 – 1/100.

Uit een analyse volgt dat moet worden uitgegaan van een Maatgevende hoogwaterstand van NAP +2,13 m. Dit is bepaald met 'Riskeer' voor 2023 Categoriegrens A+. Voor wat betreft de stormduur schrijft de Leidraad voor dat moet worden uitgegaan van een periode van 40 uur waarin er stormopzet is. In deze 40 uur zit dan ook de opbouw om tot de piek te komen en de afbouw. Bij deze waterstand moet nog rekening worden gehouden met een golfoploop van circa 0,70 m tot maximaal 1,20 m. Dit betekent dat met een kruinhoogte van NAP +3,00 m er sprake kan zijn van golven die circa 0,33 m boven de dijk uit kunnen komen.

Het Watermanagementcentrum Nederland in Lelystad (WNCM) heeft 6 uur rekentijd nodig om een noord-, noordwester- of westerstorm te voorspellen op het Markermeer en Randmeren (Eemmeer). Het nadeel van de Randmeren is dat een storm in korte tijd tot een scheefstand kan leiden en daardoor een extreme situatie zeer snel kan ontstaan. Hier komt nog de tijd bij die vanuit het KNMI nodig is voor een verwachting waarmee de totale tijd voor signalering naar Waterschap Vallei en Veluwe 12 uur bedraagt.

[redacted]

Als we uitgaan van gelijkmatige opbouw en afbouw betekent dit dat binnen een tijdsduur van 19 uur sprake is van opbouw van de storm. Als we hier de 12 uur voor analyse en waarschuwing vanaf halen, is er 7 uur beschikbaar om maatregelen te kunnen treffen. In dit soort situaties zal ook rekening moeten worden gehouden met code rood voor het verkeer, omgewaaide bomen en slecht toegankelijke wegen. Voordat mens en materieel in dat geval actie kan ondernemen, is er mogelijk al meer dan 4 uur tijd verloren waardoor er onvoldoende tijd overblijft om maatregelen te treffen.

2.1.1 Waarborg voldoende reactietijd

Uit een analyse van stormen vanuit een meetreeks in De Bilt blijkt dat op 13-11-1972, 2-4-1973, 3-1-1976 en 25-1-1990 sprake was van windsnelheden die windkracht 11 benaderden (uitschieters). Uit de waarnemingen blijkt dat er 3 tot 4 uur is verstreken tussen het moment dat windsnelheden die overeenkomen met windkracht 8 werden waargenomen, tot het moment dat de windsnelheden werden waargenomen die overeenkomen met windkracht 11. Om te garanderen dat mens en materieel ook op de plaats aanwezig kunnen zijn, adviseren wij uit te gaan van het overgaan tot handelen als sprake is van een voorspelling van windkracht 8 of meer uit noordelijke tot westelijke richting. Daarmee bouwen we 3 uur extra reactietijd en daarmee in totaal 10 uur beschikbaar om op de plaats van het project te komen en om de noodzakelijke maatregelen te treffen.

3 Geohydrologische analyse van de waterstand in de dijk

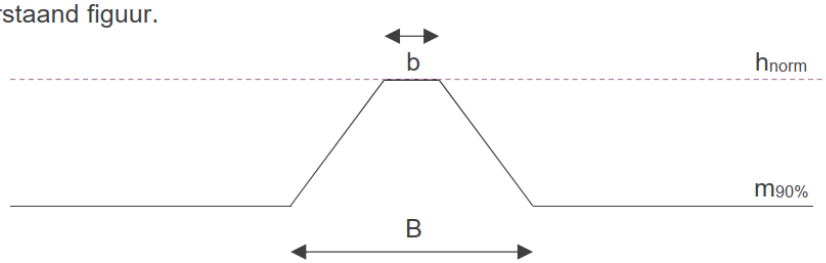
De Westdijk is een kleidijk, waarbij het enige tijd duurt totdat een hoge waterstand buitendijks leidt tot een compleet verzadigde dijk. Deze tijd kan worden gebruikt om maatregelen te treffen om een ontgraving achter de dijk zodanig aan te passen dat er sprake is van een stabiele waterveilige situatie.

Binnendijks

Binnendijks wordt een polderpeil gehandhaafd van NAP -1,0 m. Door het ontbreken van oppervlaktewatermetingen binnendijks wordt aangenomen dat het oppervlaktewater gelijk is aan het polderpeil. Bij een MHW-situatie is het waterpeil NAP -0,7 m.

Buitendijks

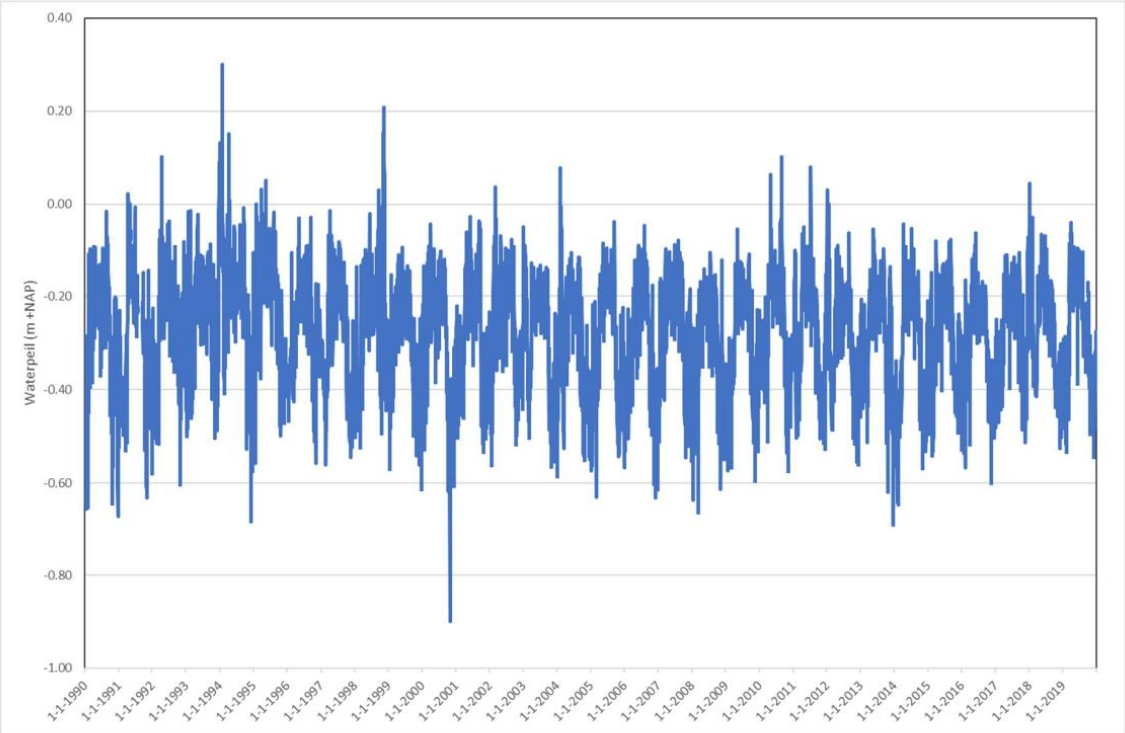
Voor de hoogwatersituatie wordt uitgegaan van een maximaal peil van NAP +2,13 m (h_{norm}). Daar bovenop moet rekening worden gehouden met golven tussen de 0,7 m en 1,2 m. Conform de leidraad mag voor de berekening gebruik worden gemaakt van een stationair verloop (constant NAP +2,13 m) of een hoger detailniveau door gebruik te maken van onderstaand figuur.



Figuur 3.1 Detailniveau hoogwatergolf

Hierin is de totale duur van storm B 40 uur en de piek b 2 uur. De waarde $m_{90\%}$ is het meerpeilniveau dat tijdens falen – in dit geval overschrijden door de waterstand van het beschouwde niveau h norm – met een kans van 90% wordt onderschreden. Oftewel, het is het meerpeilniveau dat tijdens overschrijden door de waterstand van niveau h_{norm} een kans heeft van slechts 10% om overschreden te worden. De waarde $m_{90\%}$ is tijdens dit falen dus een relatief hoog meerpeil.

Het stationair niveau van $m_{90\%}$ is afgeleid op basis van meetgegevens van Nijkerk West (periode 01-01-1990 tot en met 01-01-2020). Hierbij zijn de 10 minuten waarden omgerekend naar gemiddelde dagwaarden om zo de $m_{90\%}$ af te leiden. In figuur 3.2 zijn de dagwaarden weergegeven.



Figuur 3.2 Gemeten waterpeilen bij Nijkerk West (bron: www.Rijkswaterstaat.nl). In deze periode zijn geen extreme stormen opgetreden.

De $m_{90\%}$ is afgeleid op NAP -0,15 m ter plaatse van meetpunt Nijkerk West. De gemiddelde waterstand bedraagt NAP -0,28 m.

3.1 Neerslag

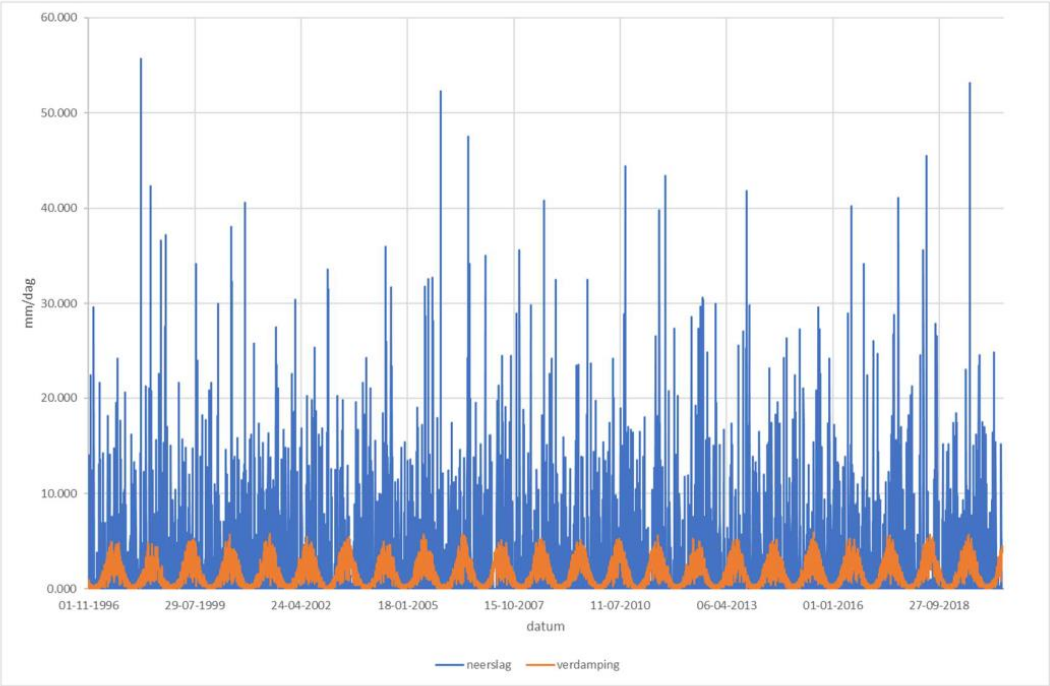
De neerslag tijdens een superstorm is in de regel ook ruimschoots aanwezig.
Om een beeld te krijgen van de gevoeligheid van het dijklichaam voor het optreden van neerslag, is nagegaan welke mate van verzadiging optreedt bij verschillende hoeveelheden neerslag. Hiervoor zijn berekeningen uitgevoerd bij een geringe stationaire neerslagintensiteit en een gemiddelde neerslagintensiteit. Deze situaties geven voldoende inzicht om de gevoeligheid voor het ontstaan van een verzadigde situatie in het dijklichaam te bepalen.

Voor deze analyse zijn gegevens van meteostation Eemnes opgevraagd over de periode van 1996 tot en met mei 2020. In figuur 3.3 zijn de gemeten waarden weergegeven.

Daarnaast zijn ook de verdampingsgegevens opgevraagd om de netto grondwater-aanvulling te kunnen inschatten. In tabel 3.1 zijn de karakteristieken van de gemeten waarden weergegeven.

Tabel 3.1 Karakteristieken meteogegevens

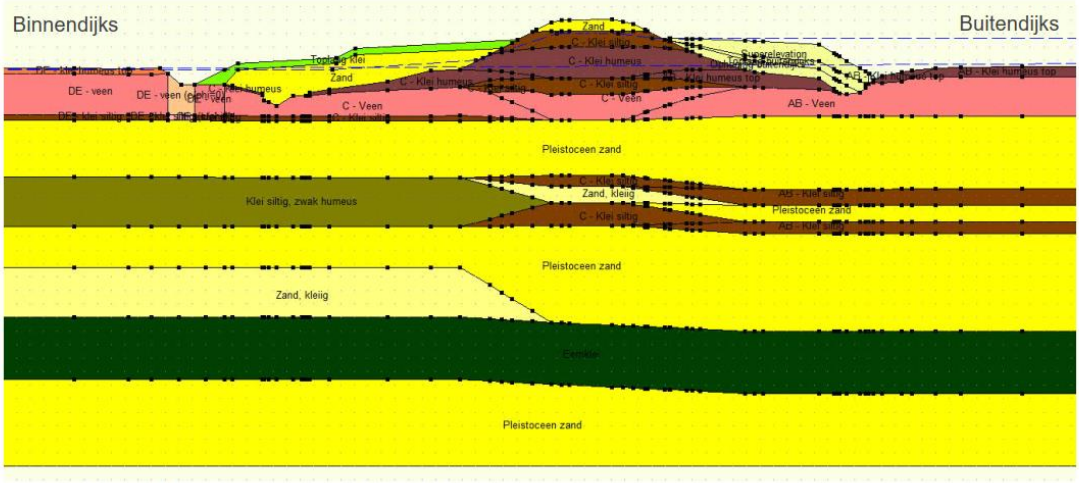
	Eenheid	Neerslag	verdamping	Grondwater aanvulling
Gemiddeld	mm/dag	2.57	1.59	0.97
Standaard deviatie	mm/dag	4.99	1.36	5.40
2x Standaard deviatie	mm/dag	12.55	4.32	11.77
Maximaal	mm/dag	55.70	5.90	55.50



Figuur 3.3 Gemeten neerslag en verdamping

3.2 Bodemopbouw

De bodemopbouw ter plaatse van kilometer 146 is overgenomen uit het geotechnisch advies (zie bijlage 1). Deze is in figuur 3.4 weergegeven.



Figuur 3.4 Dwarsdoorsnede bodemopbouw

De volgende bodemparameters zijn aan de verschillende bodemsoorten toegekend:

Tabel 3.2 Doorlaatfactoren bodemlagen

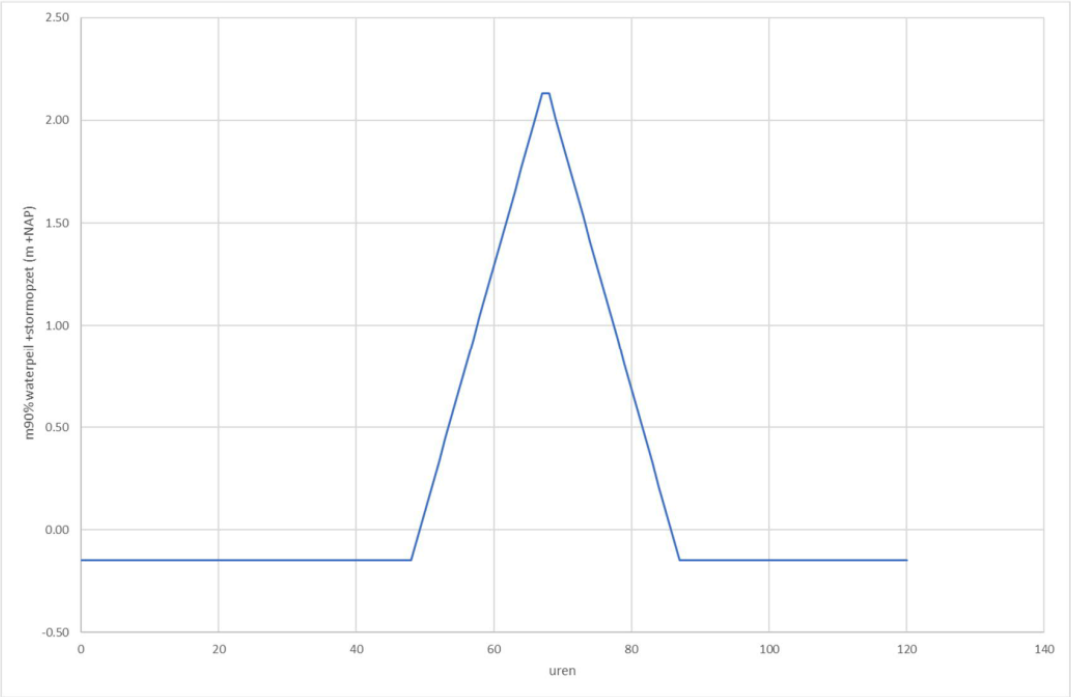
Bodemsoort	Horizontale doorlaatfactor (m/dag)	Verticale doorlaatfactor (m/dag)
Toplaag klei	0,15	0,075
Zand	5,50	1,10
Veen	0,15	0,075
Klei, siltig	0,01	0,002
Klei, humeus	0,05	0,005
Klei, siltig, zwak humeus	0,02	0,004
Zand, kleiig	0,10	0,02
Eemklei	0,001	0,0002
Pleistoceen zand	26,0	10,4

3.3 Uitgangspunten

Bij de berekeningen zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De neerslag bedraagt gemiddeld 0,97 mm/dag.
- De bodemopbouw is geschematiseerd conform figuur 3.4 en tabel 3.2.
- Het oppervlaktewaterpeil staat in open verbinding met het pleistocene zand. Er is geen weerstand opgenomen (worstcase benadering).
- De volgende varianten zijn doorgerekend:
  - stationair met een oppervlaktewaterpeil van NAP +2,13 m en neerslaghoeveelheid 0,97 mm/dag;
  - niet-stationair gedurende 5 dagen met een waterpeil conform figuur 3.1 en constante neerslaghoeveelheid van 0,97 mm/dag (48 uur voor en tot 32 uur na de storm opzet).
  - niet-stationair gedurende 5 dagen met een waterpeil conform figuur 3.1 en constante neerslaghoeveelheid van 11,77 mm/dag (48 uur voor en tot 32 uur na de storm opzet).

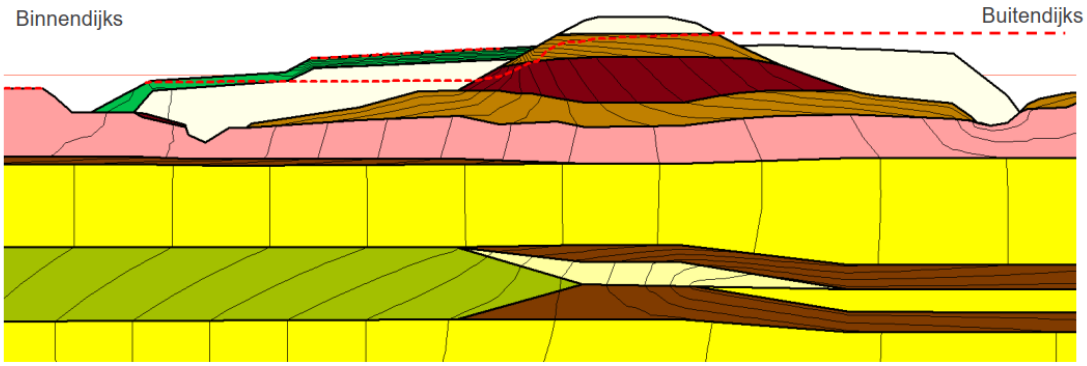
- Bij de niet-stationair waterpeilen in het randmeer zijn de volgende waterpeilen buitendijks zijn opgegeven:



Figuur 3.5 Gehanteerde waterpeilen (m +NAP) Eemmeer

3.4 Stationaire hoogwatersituatie

In figuur 3.6 is de grondwaterstand weergegeven bij een stationaire hoogwatersituatie van NAP +2,13m.

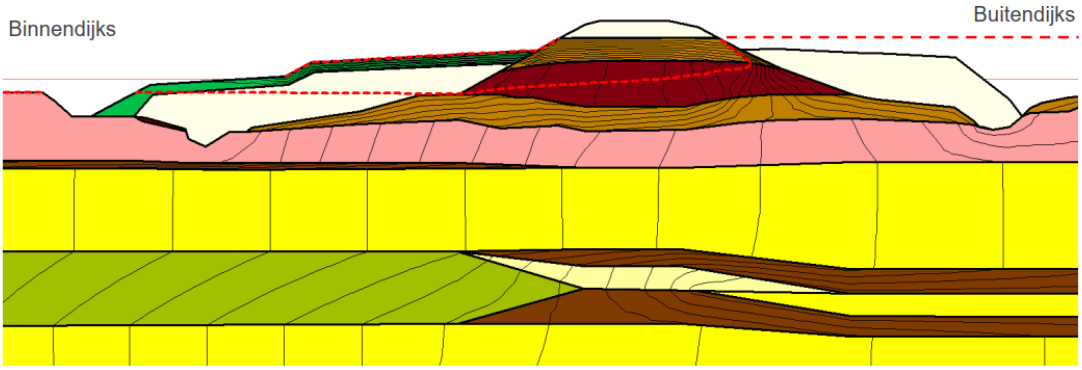


Figuur 3.6 Grondwaterstand (rode lijn) bij stationaire situatie

Zichtbaar is hoe de grondwaterstand in de dijk relatief vlak is en aan de binnendijkse zijde en nabij het binnentalud relatief snel daalt. Het dijklichaam is in deze situatie deels verzadigd.

3.5 Niet-stationaire situatie met gemiddelde neerslag

Met het model is ook de grondwaterstand in de dijk berekend als het waterpeil buitendijks stijgt en daalt conform figuur 3.5. De maximale grondwaterstand is weergegeven in figuur 3.7 (na 68 uur).

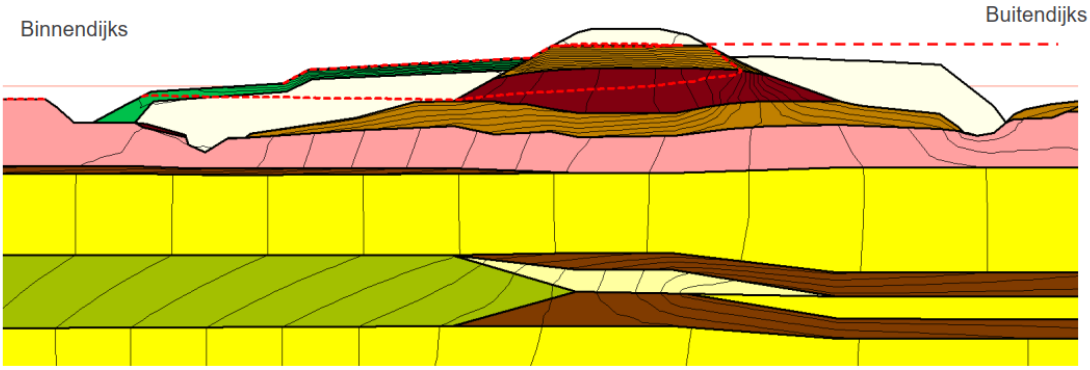


Figuur 3.7 Grondwaterstand (rode lijn) in het dijklichaam na 68 uur

In figuur 3.7 is de grondwaterstand weergegeven. De grondwaterstand in de dijk is lager dan bij een stationaire situatie (vergelijk figuur 3.6).

3.6 Niet-stationaire situatie met gemiddelde neerslag

In een stormperiode is de ervaring dat er relatief veel neerslag valt, waardoor de dijk deels verzadigd is. In deze variant is gedurende de gehele periode (5 dagen) een constante neerslaghoeveelheid van 11,77 mm/dag opgegeven. De berekende grondwaterstand in de dijk is weergegeven in figuur 3.8.



Figuur 3.8 Grondwaterstand (rode lijn) in het dijklichaam na 68 uur met verhoogde neerslag

Zichtbaar is dat, als gevolg van de neerslag meer water in de zandige toplaag van de dijk blijft staan en binnendijks wateroverlast kan veroorzaken in de toplaag. In deze situatie is er sprake van een deels verzadigde situatie.

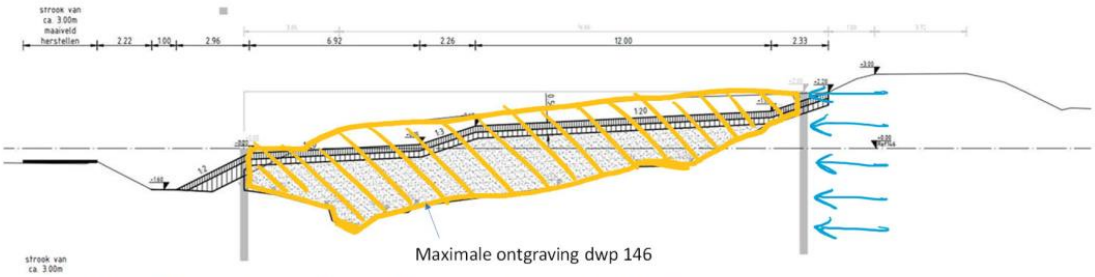
4 Geotechnische analyse

Ten behoeve van de geotechnische analyse is een uitgebreide analyse opgenomen in bijlage 1. In dit hoofdstuk zijn de belangrijkste uitkomsten opgenomen.

4.1 Worst-case analyse bij een verzadigde waterkering

Om ook bij een ontgraving van de ruimte achter de damwand in de waterkering een waterveilige situatie te kunnen handhaven, is nagegaan wat in de 'worst-case' situatie hiervoor nodig is.

Hiervoor is uitgegaan van een optredende waterstand tot NAP +2,13 m wat net iets onder de kop van de damwand ligt.

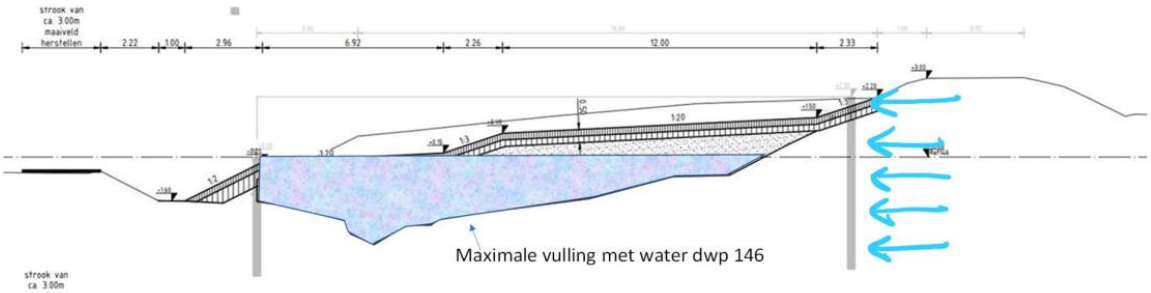


Figuur 4.1 Situatie bij volledige ontgraving (dwarsprofiel 146)

De situatie met volledige ontgraving ter plaatse van kilometer 146 is opnieuw geanalyseerd. Uit de analyse blijkt dat een damwand AZ40 nodig is in plaats van een AZ28. In tonnage (en ook kosten) betekent dit nagenoeg een factor 1,5 ten opzichte van het toepassen van een AZ28. Als alternatief kan ook worden gekozen voor een verlengde damwand AZ28 door deze circa 3 m te verlengen. In beide gevallen kan hiermee de maximale vervorming van 10 cm worden gerealiseerd.

4.2 Situatie bij aanvulling met water

Om mogelijk een minder zwaar profiel damwand te moeten toepassen, is nagegaan wat de situatie is als de ruimte in de ontgraving wordt opgevuld met water. Dit kan tot maximaal het laagste niveau van de damwand op NAP 0,00 m. In dat geval wordt tegendruk gerealiseerd, zoals schematisch weergegeven in onderstaande figuur.



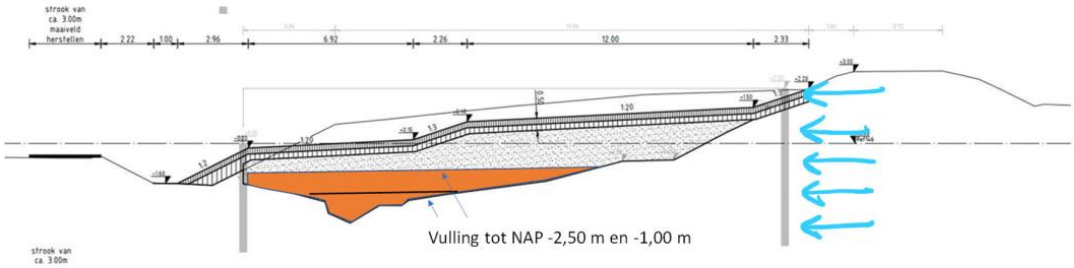
Figuur 4.2 Aanvulling met water tot NAP 0,00 m. Optrekken van damwanden tot hoger niveau is niet beschouwd, aangezien dit op voorhand al leidt tot hogere kosten en meer vervuild water dat na gebruik gezuiverd moet worden, met als gevolg daarvan hogere kosten.

Uit de geotechnische berekeningen blijkt echter dat ook dan een zwaar profiel damwand nodig is (AZ40) of een verlengde damwand van het type AZ28. Dit levert dus geen besparing op ten opzichte van een volledige ontgraving.

4.3 Situatie bij aanvulling met grond

Met grond kan wel voldoende tegendruk worden gerealiseerd om een waterveilige situatie te realiseren. Hiervoor zijn aanvullende analyses uitgevoerd om het omslagpunt te bepalen, waarbij voldoende gewicht aan de binnendijkse zijde is aangebracht. Uit de analyses blijkt dat vooral het diepere deel van de ontgraving instabiliteit oplevert en opgevuld moet worden om een stabiele situatie te creëren. Tot een niveau van NAP -2,5 m is aanvulling met vast materiaal nodig om een vervorming van maximaal 10 cm te realiseren. Als we de maximale vervorming terugbrengen tot maximaal 5 cm, dan is vast materiaal noodzakelijk tot een niveau van NAP – 1,0 m. Beide niveaus zijn schematisch weergegeven in figuur 4.3. Deze situatie doet zich voor als de ontgraving wordt gestopt op dit niveau.

Als er sprake is van een diepere ontgraving en materiaal weer moet worden aangebracht, dan moet worden uitgegaan van los gestort materiaal. Om geen vervorming van niet meer dan 10 cm te realiseren, zou dan van het niveau tot NAP -1,00 m moeten worden uitgegaan (expert oordeel op basis van voorgaande analyses).



Figuur 4.3 Aanvulling met vast materiaal, zoals vermeld in tabel 4.1 tot NAP -2,5 m en NAP -1,00 m en de bijbehorende vervorming, zoals aangegeven in tabel 4.1

Tabel 4.1 Vervorming damwand AZ28 bij ontgraving tot verschillende niveaus (daaronder vast materiaal)

Dwarsprofiel	Type damwand	Puntniveau [m NAP]	Lengte [m]	Ontgravingsniveau [m NAP]	M_{max} [kNm]	u_x [mm]	FoS_moment capacity [-]
146	AZ 28-700	-16,2	18,5	-2,5	666	95	1,12
146	AZ 28-700	-16,2	18,5	-3,3	860	132	1,03
146	AZ 28-700	-16,2	18,5	-1,0	380	53	1,74

Waarbij:

M_{max} = Maximaal buigend moment in damwand

U_x = Maximale horizontale vervorming van damwand

FoS_M = Veiligheidsfactor momentcapaciteit

5 Handelingsperspectief

5.1 Tijd tot opzet van de storm

Zoals in paragraaf 2.1.1 is beschreven, is er sprake van maximaal 10 uur om de ontgraving ter plaatse van de waterkering weer aan te vullen en op deze manier de waterveiligheid te waarborgen. Hierbij is uitgegaan van circa 4 uur reactietijd om op de plaats van het werk te komen. De resterende 6 uur is dan beschikbaar om voldoende handelingen te kunnen verrichten voor een waterveilige situatie.

5.2 Tijdsduur voor aanvulling van compartiment

Per dag wordt gemiddeld 400 m^3 ontgraven en weer aangebracht. Als we er van uitgaan dat maximaal een ontgraving open ligt van 4 dagproducties, dan bedraagt de maximale ontgraving circa 1.600 m^3. Hiervan moet voor een waterveilige situatie circa 40% (640 m^3) van het ontgraven volume weer worden aangebracht tot het niveau van NAP -1,00 m. Dit zou dan in worst-case situatie moeten worden aangevuld.
Door afgraven van de deklaag is er steeds minimaal 4.000 m^3 aan klei in depot aanwezig voor de afdeklaag. In een extreme situatie kan dit materiaal in het compartiment worden verwerkt om voldoende tegendruk te kunnen realiseren. Hiervoor is ingeschat dat dit maximaal 2 tot 4 uur in beslag neemt, afhankelijk van de transportafstand tot de compartimenten.

Het werken met big-bags als alternatief is in dat geval omslachtig (eerst vullen en dan per kraan plaatsen). Het aanvullen met klei kan ook gemarkeerd in een compartiment worden aangebracht zonder big-bags, zodat dit na de storm weer kan worden verwijderd.

6 Scenario's

6.1 Scenario 1: Handhaven AZ28 en waarborgen aanvulling bij kans op storm

Hierbij gaan we uit van aanvullen van de ontgraving tot NAP -1,00 m bij een voorspelling van windkracht 8 of meer uit noordelijke tot westelijke richting.

Voordeel
- Geen meerkosten voor toepassen zwaarder damwandprofiel in waterkering.
- Geen onnodige meerkosten als situatie van storm niet optreedt.

Nadeel
- Extra beheerinspanning vanuit waterschap om de voorspellingen en voortgang aannemer nauwgezet te volgen.
- Werkproces stagneert door tijdelijke ontgravingsstop / dempen open compartimenten.
- Materieel en materiaal noodzakelijk (ook in weekend/nacht) om binnen de tijdsduur van de aanloop van een storm te kunnen werken (na signalering binnen 12 uur is binnen een tijdsblok van 10 uur maximaal 4 uur nodig om met mens en materieel op locatie te komen en resteert 6 uur voor het aanbrengen van materiaal).
- Materiaal moet na aanbrengen weer worden verwijderd.

6.2 Scenario 2: Zwaarder damwandprofiel AZ40

Voordeel
- Geen hinder door storm; werkproces kan doorgaan.

Nadeel
- Circa € 1 tot € 1,25 miljoen extra benodigd voor extra zwaar profiel AZ40.
- Zwaarder materieel nodig voor inbrengen en uittrekken profiel.