Notitie / Memo

HaskoningDHV Nederland B.V.
Water & Maritime

Aan:	Martin de Kant
Van:	Paul Sinnema
Datum:	22 januari 2024
Kopie:	Click to enter "CopyTo"
Ons kenmerk:	20240705_BJ1000_W3420-3.11_Kasteel erosie aflag analyse buitentalud_C01
Classificatie:	Projectgerelateerd
Gecontroleerd door	Filip Schuurman

Onderwerp: **Kasteel erosie aflag analyse buitentalud**

---

1 Inleiding

Deze notitie maakt onderdeel uit van het voorontwerp Gebiedsontwikkeling Groene Rivier Well, en is een bijlage bij het technisch ontwerp waterkering kasteel (VO) [ref 1].

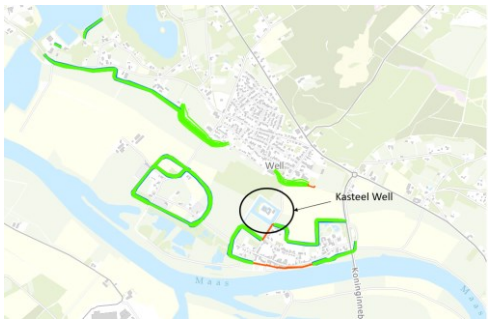
De dijken bij Well langs de Maas worden verlegd en versterkt, en er wordt een groene rivier gerealiseerd die voor waterstandsdaling zorgt. In de nieuwe situatie bevindt Kasteel Well zich buiten de bescherming van de primaire kering. Het kasteel wordt beschermd door een wal van zand die begroeid is met gras, bomen en struiken.

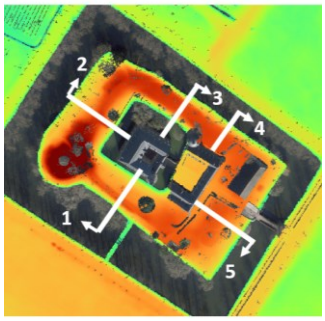
Tijdens hoogwater kan potentieel, als gevolg van golven en stroming, afkalving van de wal optreden. Om dit te voorkomen wordt er waar mogelijk een erosiebestendige grasbekleding op een kleilaag aangebracht. Aan de westzijde van de omwalling staan er veel bomen (soort bosje). Vanuit landschappelijk en cultuurhistorisch oogpunt is er de wens om de bossages te handhaven. Het behoud van de bomen gaat echter niet samen met de ontwikkeling en instandhouding van elke vorm van een grasbekleding, daarvoor is er te veel schaduw. Om deze reden is onderzocht wat er gebeurt als er geen maatregelen worden getroffen. Kan de erosie als gevolg van golfaanval uit westelijke richting zorgen voor falen van de waterkering?

In de voorliggende notitie is gebruikmakend van een numeriek erosiemodel en bij maatgevende condities een afslagprofiel berekend. Op basis hiervan is getoetst of de wal in deze situatie (na afslag) nog voldoende reststerkte biedt tegen overstromen.

2 Situatiebeschrijving

Het kasteel bevindt zich in de nieuwe situatie buiten de bescherming van de primaire kering in het stroomgebied van de rivier. In onderstaande afbeelding is de situatie weergegeven





Figuur 1 Situatiekaart
Figuur 2 Hoogtekaart op basis van AHN4, met de locaties van de in het VO gebruikte profielen.

De bescherming wordt als voldoende beschouwd als de zandwal bij een doorsnede eis voor GEBU (5% faalkansruimte) van 1/2000 standhoudt, zie TUN [ref 2]. Dit houdt in dat, ook na profielafslag, het niveau van de kruin gehandhaafd blijft en er minimaal een deel van de wal de kerende hoogte blijft behouden. Voor deze analyse zijn er twee maatgevende hoogteprofielen loodrecht op de wal gekozen: profiel west (doorsnede 2) en profiel noord (doorsnede 3). Profiel west is gekozen omdat hier de grootste golfaanval optreedt. Profiel noord is gekozen omdat dit het smalste profiel is, en is de aanwezige “buffer” om inundatie als gevolg van erosie te voorkomen het kleinst.

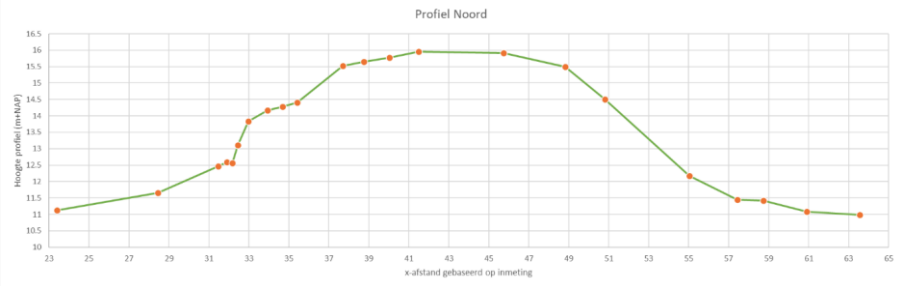




Figuur 3, situatie profiel West
Figuur 4, situatie bij profiel Noord



Figuur 5, dwarsprofiel West, buitenzijde links en binnenzijde rechts



Figuur 6, dwarsprofiel noord, buitenzijde links en binnenzijde rechts

3 Modellering

Voor het bepalen van het afslagprofiel is gebruik gemaakt van simulaties met het softwarepakket MIKE Litpack. Dit model is ontworpen voor deterministische simulaties van sedimenttransport en het voorspellen van oeverafslag onder verschillende golf- en waterstandsscenario's. Het model integreert de simulatie van golfvoortplanting met voorspellingen van erosie en sedimentatie binnen een vooraf gedefinieerd dwarsprofiel. De uitvoer wordt beschreven in termen van erosiebreedte en erosievolume. De erosiebreedte is de breedte waarin de erosie plaatsvindt in het dwarsprofiel en geeft een visuele weergave van het erosievolume. Dit volume geeft aan hoeveel kubieke meter zand er per strekkende meter weggeslagen wordt door de golfaanval.

De bescherming wordt als voldoende beschouwd als de zandwal bij een doorsnede eis van 1/2000 standhoudt. Dit houdt in dat het niveau van de kruin gehandhaafd blijft en er minimaal een deel van de wal op de kerende hoogte blijft behouden, zodanig dat geen inundatie optreedt.

Modelsituaties
Voor het beschouwen van de mate van erosie zijn er bij rivieren twee situaties mogelijk:

- **Afvoer gedomineerd:** Er is sprake van een maatgevende hoogwater en afvoerdebiet. In deze situatie zijn er (lokale) hoge stroomsnelheden die erosie kunnen veroorzaken. De golfhoogten in deze situatie zijn laag.

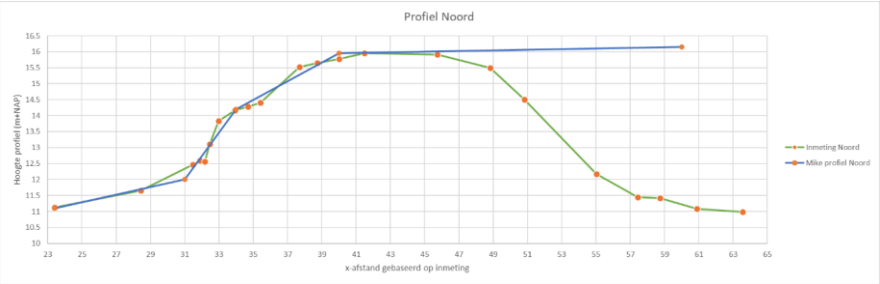
- **Storm gedomineerd:** Er is sprake van hoge windsnelheden waardoor er golfgroei plaatsvindt. Er is sprake van hogere golven en meer impact op de bekleding op het buitentalud.

Door het WL is afgeleid dat een storm gedomineerde situatie (uit westnoordwest (WNW)) maatgevend is voor de zandwal. Hierbij vinden de hoogste golven plaats met tevens de meeste golfenergie. Dit is maatgevend voor het falen van de aanwezige grasmat en het eroderen van het zandige buitentalud van de zandwal.

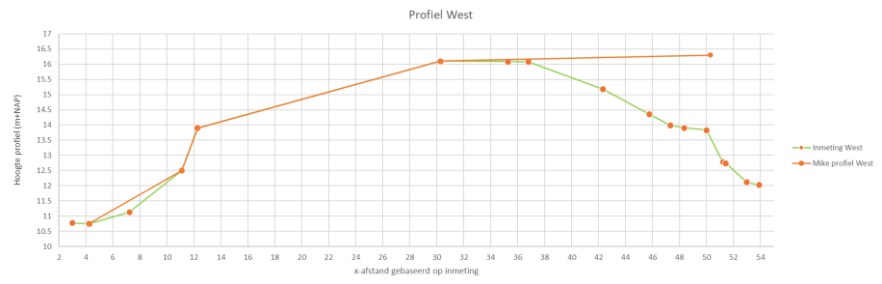
3.1 Profielen

De inmetingen die benoemd zijn in Hoofdstuk 2 zijn omgezet naar een MIKE profiel. Dit is een versimpelde schematisatie waarmee het model rekent. Deze zijn in onderstaande figuren opgenomen. Vanaf de buitenkruinlijn is het profiel met een fictieve breedte verlengd met een 1/100 helling. Dit maakt het mogelijk om het model uit te voeren zonder dat deze een stopt in het geval van overslag.

Onderstaande profielen vormen het uitgangspunt voor de berekeningen. Per profiel zijn er specifieke instellingen van toepassing. Deze zijn opgenomen in hoofdstuk 0.



Figuur 7, Inmeting noord omgezet naar Mike profiel



Figuur 8, inmeting West omgezet naar Mike profiel

3.2 Uitgangspunten

Vanuit Hydra-NL zijn de belastingen bepaald voor de zichtjaren 2050 en 2100. Hiertussen is lineair geïnterpoleerd om zo tot de belastingen voor het jaar 2075 te komen. De belastingen voor de 1/2000^{e}

situatie is vastgesteld op basis van de hoogste golfhoogte. Deze data is hieronder samengevat en vormt het uitgangspunt voor de belastingssituatie in MIKE.

Tabel 1 Input parameters golfklimaat bij 1/2000

Profiel	Golfhoogte [m]	Golfperiode [s]	Golfsteilheid [%]	Golfrichting [°N]	Waterstand [m+NAP]
Noord	0,32	1,86	6,0%	67,5	14,5
West	0,47	2,25	5,9%	270	15,2

Om tot deze waarden te komen zijn berekeningen uitgevoerd in Hydra-NL, die zijn gebaseerd op de volgende sqlite bestanden en HR-locaties:

- Profiel noord:
  - 060-01_0152_MA_km0133
  - HOB_Bovenmaas_hk_Well_OI2050W_v01.sqlite
  - HOB_Bovenmaas_hk_Well_OI2100W_v01.sqlite
- Profiel west:
  - 060-01_0150_MA_km0133
  - HOB_Bovenmaas_hk_Well_OI2050W_v01.sqlite
  - HOB_Bovenmaas_hk_Well_OI2100W_v01.sqlite

Golfrichting
Als conservatief uitgangspunt wordt aangenomen dat de golven een loodrechte aanval op de dijk vormen. In de berekeningen zal dit worden opgenomen als een golfrichting van 90°.

Golftheorie
Voor het genereren van de profile evolution tabel wordt de Vocoidal golftheorie toegepast. Hiervoor is gekozen omdat deze voor zowel diep als ondiep water kan worden toegepast. Hiermee wordt het model flexibel inzetbaar indien er andere scenario's doorgerekend dienen te worden.

Korrelgrootte
Vanuit grondonderzoek (korrelverdelingen uitgevoerd tijdens VO2) zijn de volgende korrelgroottes vastgesteld:

- Gemiddelde waarde (D50) =0.49 mm
- Karakteristieke puntwaarde ondergrens: 0.28 mm
- Karakteristieke puntwaarde bovengrens: 0.69 mm

Belastingssituatie
Om tot een conservatieve inschatting te komen van de erosiebreedte en erosievolume, is aangenomen dat de condities uit Tabel 1 gedurende 12-uur lang bij een gelijke waterstand de dijk loodrecht aanvallen. Hierbij worden de profielen getoetst aan de condities van een 1/2000^{e} situatie die storm gedomineerd is. Dit houdt in dat een situatie met windgolven maatgevend is, de waterstand lager is dan bij een afvoer gedomineerde situatie en de omwalling 12 uur wordt belast met de hoogste golven die in de praktijk in een kortere tijdsperiode plaatsvinden.

Gamma
In de rekeninstellingen beïnvloedt de Gamma 1 (γ1) waarde hoe gevoelig de golven zijn voor diepte geïnduceerd breken. Indien de standaardwaarde van γ=0.88 wordt toegepast worden de input

golfhoogten uit Tabel 1 niet behaald. Door middel van een iteratieve modellering is vastgesteld dat bij γ=1.00 de input golfhoogte wel wordt behaald. Deze waarde is vervolgens toegepast in de berekeningen.

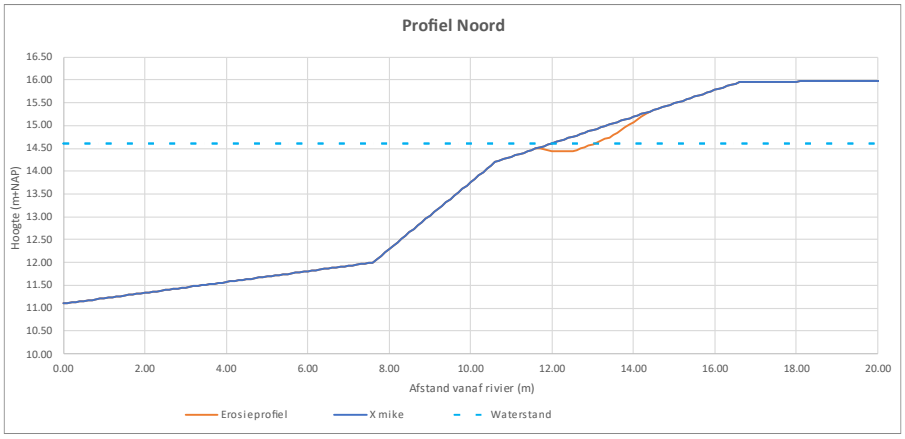
4 Resultaten

Profiel Noord en West zijn belast met de maatgevende condities in een storm gedomineerde situatie bij een doorsnede eis van 1/2000. Dit leidt tot de volgende resultaten.

Tabel 2, Resultaten erosie

Profiel	Erosiebreedte (m)	Erosievolume (m^3/m)
Noord	2.80	-0.57
West	10.0	-3.62

Profiel Noord
In onderstaand figuur is het erosieprofiel van profiel Noord, als resultaat van de Litpack modelberekeningen, geschematiseerd. De blauwe lijn geeft het dwarsprofiel van de dijk weer. De oranje lijn geeft de buitencontour van het geërodeerde volume weer.

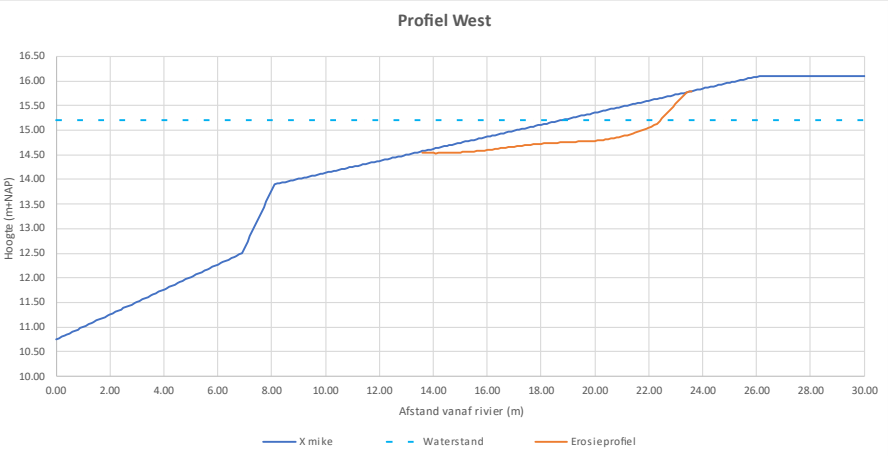


Figuur 9, erosieprofiel Noord

De modelberekeningen laten zien dat de golven breken op x=10 in het buitentalud van Profiel Noord. Hier wordt de waterdiepte te gering (ca. 0.50m) en is er sprake van diepte-geïnduceerd breken van de inkomende golven op het talud.

De modelresultaten laten ook zien dat de golfenergie hier voor beperkte erosie op- en net boven de waterlijn zorgt. Naar verwachting zal het geërodeerde zand door stroming wordt weggespoeld. Gezien de beperkte golfenergie (Hs 0.32m T=1.86s) en het diepte geïnduceerd breken van de golven op dezelfde locatie, volgt de uitkomst van deze berekening het verwachtte erosiebeeld.

Profiel West
In onderstaand figuur is het erosieprofiel van profiel West, als resultaat van de Litpack modelberekeningen, geschematiseerd. De blauwe lijn geeft het dwarsprofiel van de dijk weer. De oranje lijn geeft de buitencontour van het geërodeerde volume weer.



Figuur 10, erosieprofiel West

Vanuit de Litpack modelresultaten is af te leiden dat de golfenergie eerst aangrijpt op x=14 en er vervolgens progressieve erosie plaatsvindt. Dit is te verklaren doordat er bij het eerste punt van erosie (x=14) nog voldoende waterdiepte is, en er nog geen sprake is van diepte-geïnduceerd breken van de golven. Hierdoor blijven de golven verder het talud eroderen. Naar verwachting zal het geërodeerde zand door stroming wordt weggespoeld. Gezien de golfenergie hoger is dan in profiel Noord (Hs 0.47m T=2.25), en er sprake is van progressieve erosie, volgt de uitkomst van deze modelberekening de verwachting.

Gevoeligheidsanalyse korrelgroottes
Om de bovenstaande resultaten te valideren is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op het effect van de korrelgroottes waarmee in het model gerekend wordt. Dezelfde berekeningen zijn uitgevoerd met de onder- en bovengrens van de korrelgroottes zoals benoemd in 3.2. Onderstaande tabel toont de resultaten.

Tabel 3, resultaten gevoeligheidsanalyse korrelgrootte

Parameter	Profiel Noord			Profiel West		
	D 0.28	D50	D 0.69	D 0.28	D50	D 0.69
Totaal erosievolume [m3/m]	-0.58	-0.58	-0.58	-3.51	-3.62	-3.26
Verschil met D50	0.0%	x	0.0%	-3%	x	-11%

De gevoeligheidsanalyse geeft aan dat bij de overige korrelgroottes de erosie minder is dan bij de D50. Hiermee is de D50 berekening maatgevend voor de beschouwing van het erosieprofiel.

4.1 Discussie

Op basis van de Litpack modelresultaten

- Bij beide profielen is er een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd op het erosievolume/breedte bij verschillende korrelgroottes. Hierbij is gerekend met de onder- en bovengrens van de korrelgroottes die zijn benoemd in paragraaf 3.2. Het erosieprofiel verschilt ±3% in beide gevallen. Dit geeft aan dat de lokale verschillen in korrelgrootte niet leiden tot zwakke plekken.
- Eventuele aanwezigheid van klei in de zandwal is niet meegenomen in de modelberekeningen. In de praktijk kan zelfs een relatief laag kleigehalte de resistentie van de zandwal significant verhogen. Hierbij is dus een conservatieve aanname gedaan.
- Er wordt aangenomen dat de stroming in de rivier geen aanvullende erosie veroorzaakt, anders dan het wegspoelen van geërodeerd zand. In W3420-3.5_Kasteel stroomsnelheden wordt ingegaan op de stroomsnelheden. Aan de westzijde van de omwalling zijn de stroomsnelheden laag. Aan de noordzijde zijn de stroomsnelheden hoger maar worden maatregelen getroffen.
- Het effect van vegetatie kan niet worden opgenomen in de modelberekeningen. We weten dat er gras, bomen en struiken op het buitentalud aanwezig zijn. Gezien de erosie in de berekeningen uitgaat van weggeslagen grasbekleding en de erosie niet verder gaat dan de buitenkruinlijn, kan het effect van vegetatie in de berekeningen buiten beschouwing worden gelaten. Zowel de mogelijke golfdemping door vegetatie, als ook mogelijke turbulentie door de vegetatie worden dus buiten beschouwing gelaten. Echter, er zou een risico kunnen optreden van instabiliteit van de bomen en struiken als gevolg van de erosie of als direct gevolg van stroming, golven of wind.
- Voor de toekomstige situatie is er mogelijk sprake van het profileren van het buitentalud. De effecten hiervan zijn niet opgenomen in deze modelberekeningen.

5 Conclusies

Tijdens hoogwater kan potentieel, als gevolg van golven en stroming, afkalving van de wal optreden. Om dit te voorkomen wordt er waar mogelijk een erosiebestendige grasbekleding op een kleilaag aangebracht. Dit is niet overal mogelijk, enerzijds omdat de grondverbetering schade aan de bomen zou veroorzaken, anderzijds omdat de boomdichtheid lokaal zo groot is dat er geen grasbekleding kan worden ontwikkeld door schaduwwerking. Voor deze locaties is onderzocht wat er gebeurt als er geen maatregelen worden getroffen.

Uit berekeningen met overwegende conservatieve uitgangspunten blijkt dat er als gevolg van golfaanval een erosieprofiel kan ontstaan waarbij er voor de 2 beschouwde profielen bij een maatgevende storm respectievelijk 3 en 10m afslag op kan treden. In beide gevallen blijft de kruin behouden en is er nog voldoende buffer aanwezig zodat inundatie niet kan optreden.

6 Referenties

ref 1. Gebiedsontwikkling Groene Rivier Well, Technisch ontwerp waterkering kasteel VO, BJ1000_W3410-3

ref 2. Gebiedsontwikkling Groene Rivier Well, Technische Uitgangspunten Notitie Waterkeringen, TUN BJ1000_W3210-2_WPB TUN VO

Bijlage 1 - Modelarchitectuur

Met opmerkingen [DH1]: Volgens mij kan dit beter een bijlage genoemd worden. Hij komt na de Resultaten en Discussie.

De onderstaande figuur geeft de modelarchitectuur weer. Hierbij geldt dat de D50-berekeningen gebruikt zijn voor de uitwerking van de studie. De berekeningen met korrelgroottes 0.28 & 0.69 zijn gebruikt als gevoeligheidsanalyse. De uitwerking is opgeslagen als .Zip- file in de SharePoint omgeving van het project.

