

Notitie / Memo

HaskoningDHV Nederland B.V.
Water & Maritime

Aan: Martin de Kant
Van: Stanley Versteeg
Datum: 05 juli 2024
Kopie: [Click to enter "CopyTo"](#)
Ons kenmerk: 20240705_BJ1000_W3420-3.10_Advies grasbekleding Kasteel Well (GEKB en GEBU)_C01
Classificatie: Projectgerelateerd
Gecontroleerd door: Sander Post

Onderwerp: Advies grasbekleding Kasteel Well (GEKB en GEBU)

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].

In deze notitie worden de volgende mechanismen getoetst volgens de vigerende normen en conform de technische uitgangspuntennotitie (TUN) [2].

- Erosie van kruin en binnentalud van de omwalling als functie van het gekozen overslagdebiet (GEKB), zie hoofdstuk 3.
- Erosie van het buitentalud als gevolg van golfaanval en stroming (GEBU), zie hoofdstuk 4.

Voor de meer algemene gegevens achter deze maatwerklocatie wordt verwezen naar het hoofddrapport Technisch Ontwerp [1].

2 Uitgangspunten

Voor de erosie van de kruin en het binnentalud is van belang welke waterstanden en golfhoogtes optreden tijdens hoogwater; de uitgangspunten voor deze hydraulische randvoorwaarden worden hieronder als eerste besproken. Daarna wordt ingegaan op de stroomsnelheden langs de waterkering rond het kasteel, die relevant zijn voor de erosie van het buitentalud.

De maatregelen voor waterveiligheid van het kasteel wordt ontworpen op een 1/100^e beschermingsniveau, met een ontwerplevensduur van 50 jaar (zichtjaar 2075).

Hydraulische randvoorwaarden

De golfhoogten zijn bepaald per zijde van de omwalling, voor het zichtjaar 2075. Deze zijn gepresenteerd in onderstaande tabel.

Tabel 1 Golfhoogten bij zichtjaar 2075

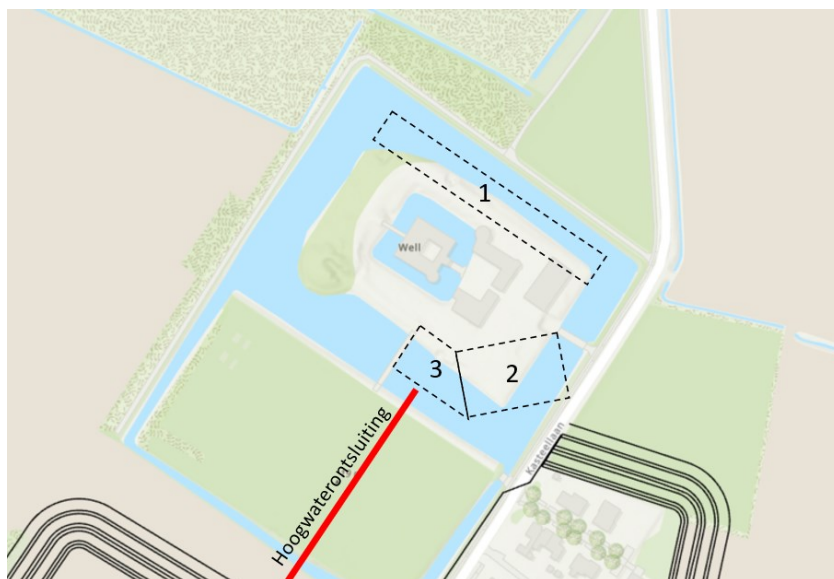
Zijde	Golfhoogte bij WBN	Maximale golfhoogte	Waterstand bij maximale golfhoogte
-------	--------------------	---------------------	------------------------------------

	[m]	[m]	[m+NAP]
Noord	0,23	0,32	+14,6
Oost	0,23	0,32	+15,0
Zuid	0,27	0,27	+15,7
West	0,35	0,47	+15,2

Bij het ontwerp wordt de standaard faalkansbegroting volgens OI2014 aangehouden, dit heeft zich vertaald naar de volgende hydraulische randvoorwaarden:

- HBN (ontwerp hoogte kruin) bij 0,1 l/s/m bedraagt NAP +16,34m
- HBN (ontwerp hoogte kruin) bij 1 l/s/m bedraagt NAP +16,19m
- WBN (Ontwerpwaterstanden) voor groene kering NAP +15,72m

De dieptegemiddelde stroomsnelheden van dit water zijn bepaald met WAQUA, zie notitie [ref 3]. Uit de WAQUA analyses volgt dat er drie aandachtslocaties zijn rondom Kasteel Well waar erosie door hoge stroomsnelheden zou kunnen optreden, zie figuur 1. Deze locaties zijn respectievelijk de gehele noordflank, de zuidelijke hoek vanaf de huidige brug tot aan de hoogwaterontsluiting en de regio rondom de brug in de hoogwaterontsluiting. Per locatie toont Tabel 2 de maximale stroomsnelheid waarmee rekening gehouden dient te worden in het ontwerp van de waterkeringen rondom Kasteel Well.



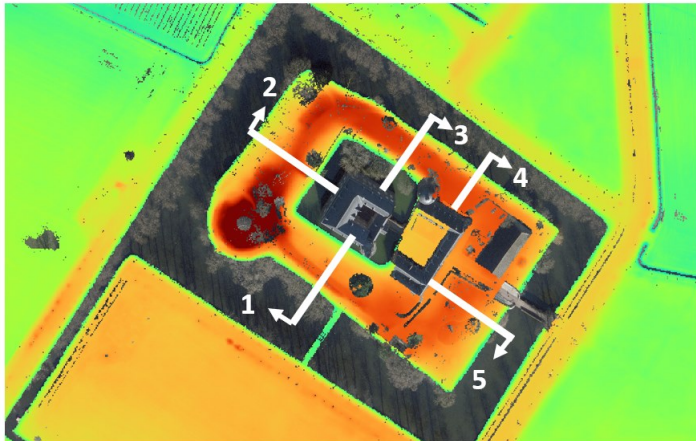
Figuur 1: Aandachtslocaties rondom Kasteel Well met hoge stroomsnelheden.

Tabel 2: Maximale stroomsnelheid per aandachtslocatie (figuur 2).

Locatie	Maximale stroomsnelheid (m/s)
1	0,9
2	1,4 - 2,0
3	0,8 - 1,2

Geometrie van de omwalling

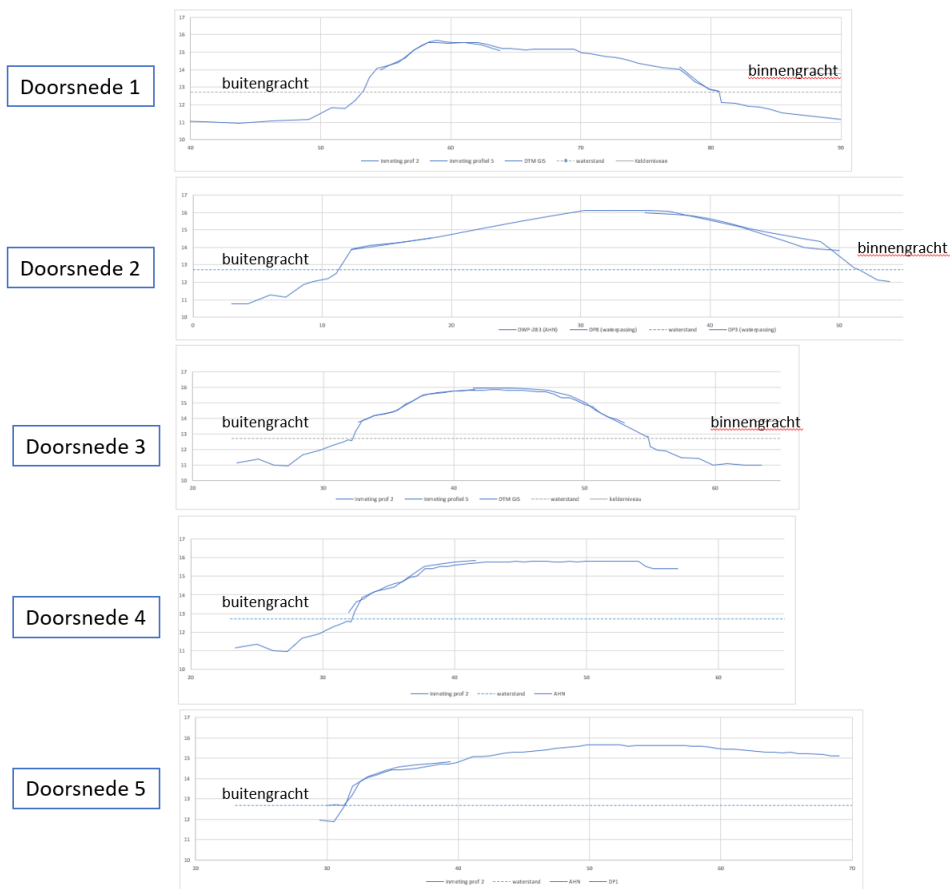
Op basis van AHN4 en hoogtemetingen is de volgende situatie af te leiden. Tussen de buiten en binnengracht van het kasteel is er sprake van een omwalling waarvan de hoogte en breedte varieert. Het hoogste punt per doorsnede ligt tussen NAP+15,6m en NAP+16,1m. De waterbodem van de binnen-gracht varieert tussen NAP+10,8 en NAP+11,8m. Voor de analyse is gebruik gemaakt van 5 kenmerkende doorsneden, zie Figuur 2 en Figuur 3.



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

De taluds aan de binnenzijde zijn over het algemeen vrij steil opgezet; gemiddeld ongeveer 1:2 over de onderste meters tot ongeveer 1,5m boven grachtpeil. Bij profiel 3 loopt het steile talud tot een hoger niveau door. Bij de profielen 1 en 2 is er boven het steile deel sprake van een flauw oplopend talud met hellingen 1:5 á 1:7.

Aan de zuid- en noordzijde (profielen 1, 3 en 4) is het buitentalud steil opgezet; gemiddeld 1:2, maar lokaal steiler dan 1:1. Aan de west- en oostzijde zijn de taluds veel flauwer.



Figuur 3 In het VO gebruikte doorsneden, de doorsneden zijn gebaseerd op AHN4 en inmetingen

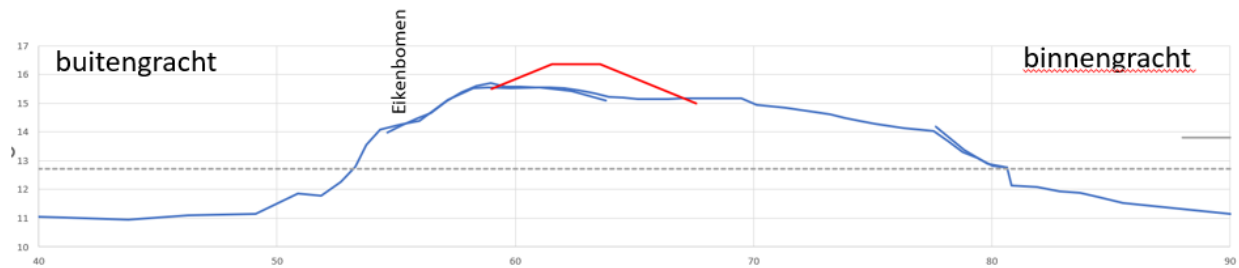
3 Noodzaak grondverbetering binnenberm (GEKB)

De grondwal rondom het kasteel is waterkerend gedurende hoog water in de groene rivier. De kering wordt versterkt door het opbrengen van een grondlichaam met beperkte breedte op het bestaande grondlichaam. Om de versterkingsopgave te verkleinen bestaat de wens om een overslagdebiet van 1 l/s per meter toe te staan na opbrengen van de nieuwe kruin. Omdat de huidige omwalling bestaat uit gras op zand (zonder gesloten zode), is het mogelijk nodig om het binnentalud van de omwalling te verbeteren door toepassing van een nieuwe toplaag met betere grasmat. Dit vraagstuk wordt behandeld per doorsnede als weergegeven in Figuur 3.

Doorsnede 1

Voor doorsnede 1 wordt een kruinverhoging toegepast, waarbij een grondlichaam wordt aangebracht over een gedeelte van de huidige omwalling. De mogelijke positie van de kruinverhoging is in rood aangegeven in onderstaande figuur. De kruinverhoging zal meer glooiend in het profiel worden ingepast, dan hier getekend.

De onderste 1,5 meter van het binnentalud heeft een helling van 1:2, daarboven is het talud gemiddeld 1:5 tot 1:7.

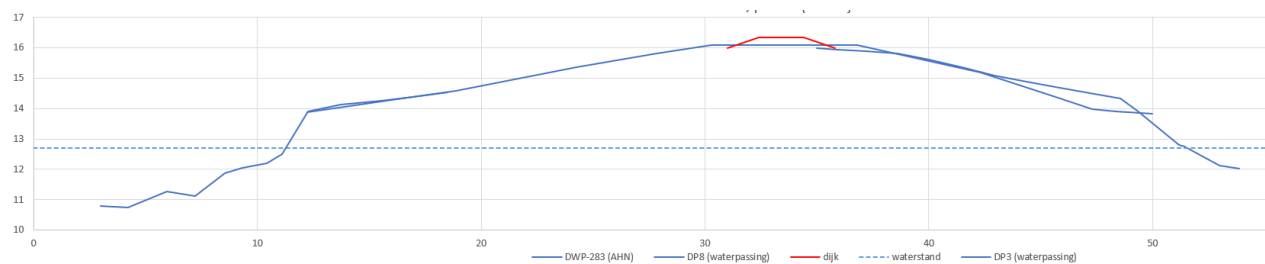


Figuur 4 Dwarsdoorsnede zuidzijde omwalling met technische profiel

Doorsnede 2

Voor doorsnede 2 wordt een kruinverhoging toegepast, waarbij een grondlichaam wordt aangebracht over een gedeelte van de huidige omwalling. De kruinverhoging is in rood aangegeven in onderstaande figuur. De kruinverhoging zal meer glooiend in het profiel worden ingepast, dan hier getekend.

De onderste 1,5 meter van het binnentalud heeft een helling van 1:2, daarboven is het talud gemiddeld 1:5 tot 1:7.

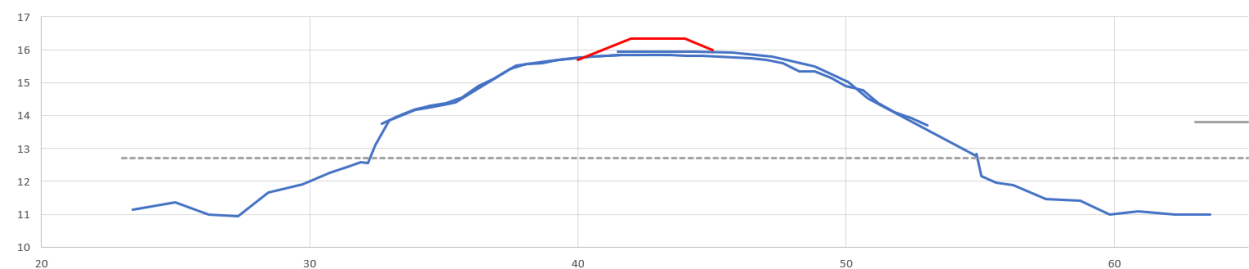


Figuur 5 Dwarsdoorsnede westzijde omwalling met technische profiel

Doorsnede 3

Voor doorsnede 3 wordt een kruinverhoging toegepast, waarbij een grondlichaam wordt aangebracht over een gedeelte van de huidige omwalling. De kruinverhoging is in rood aangegeven in onderstaande figuur. De kruinverhoging zal meer glooiend in het profiel worden ingepast, dan hier getekend.

Het gehele binnentalud heeft een helling van 1:2 (de helling is lokaal 1:1) en is daarmee steil.



Figuur 6 Dwarsdoorsnede noordzijde omwalling met technische profiel

Advies met betrekking tot grondverbetering

Wanneer een overslagdebiet van 0,1 l/s per m wordt aangehouden na ophoging van de omwalling van het kasteel is grondverbetering van het talud achter de nieuwe kruin niet nodig. Een overslagdebiet van 0,1 l/s per m is verwaarloosbaar klein en zal niet tot schade leiden, zelfs niet op een slecht onderhouden grasmat [ref 5].

Voor hogere overslagdebieten is gekeken naar de recente literatuur. In 2010 en 2020 zijn langs de Vecht in Overijssel golfoverslagproeven uitgevoerd voor gras op zanddijken, en analyse hiervan is uitgevoerd in het kader “Eindadvies beoordeling gras op zandbekledingen” [ref 5]. In deze analyse wordt gesteld dat de kans op falen van de toplaag onder invloed van overslagdebiet voor gras op zanddijken verloopt volgens de kansverdeling als gepresenteerd in Tabel 3 en Bijlage 1.

Tabel 3 Faalkans tegenover overslagdebiet voor golven tussen 0,0 en 0,4 meter

Faalkans [%]	Overslagdebiet [l/s/m]
1	2,79
10	12,75
20	24,17
50	82,10

Bij de metingen op de Vechtdijk (2010) en IJsseldijk (2020) is vastgesteld dat de grasmat een 1% faalkans heeft voor een overslagdebiet van 2,79 l/s per m. Het betreft hier gesloten zode onder een helling tussen 1:3 en 1:4,5. Dit betekent dat 1% van de beschikbare faalkansruimte binnen het faalmechanisme GEKB in dit geval wordt gebruikt voor het falen van de grasmat door overtopping. In de regel wordt hiervoor 5% van de faalkansruimte gereserveerd. Met 1% wordt dus voldaan.

De verdeling van Tabel 3 is van toepassing voor situaties die vergelijkbaar zijn met de genoemde dijken; een taludhelling en een grasbekleding (met onderlaag) zoals in deze proeven getest. Om 1 l/s/m toe te staan dient onderzoek te worden uitgevoerd naar de toplaag. Voor informatie over de geteste bodemopbouw van de Vechtdijk en IJsseldijk wordt verwezen naar Bijlage A van [ref 5].

De taluds direct achter de kruinverhoging van doorsneden 1 en 2 zijn minder steil dan getest op de Vechtdijk en IJsseldijk. Dit resulteert in een lagere belasting op de grasbekleding. Wanneer door gericht beheer een gesloten grasmat kan worden gegarandeerd hoeft de toplaag van doorsneden 1 en 2 op de flauwe gedeelten direct achter de kruinverhoging hierdoor niet te worden vervangen om een 1 l/s per m overslagdebiet te kunnen weerstaan.

Voor doorsnede 3 en de lage delen van doorsneden 1 en 2, is het talud steiler dan op de testlocaties. Hier is de kans op erosie groter. Voor deze locaties wordt geadviseerd een gerichte grondverbetering toe te passen, en materiaal te vervangen door minimaal 0,5m goed verdichte erosie bestendige klei (categorie A of B, zie [ref 1]) en een leeflaag.

Daarnaast wordt het volgende geadviseerd:

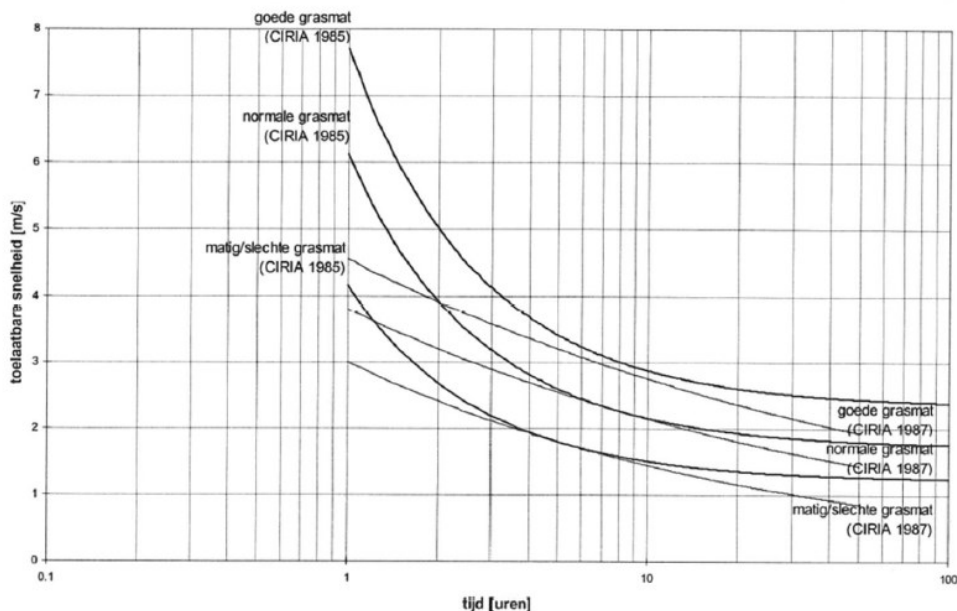
- De ophoging wordt bekleed met 0,5m erosie bestendige klei (categorie A of B, zie [ref 1]) en een leeflaag om de ontwikkeling van de grasmat te bevorderen.
- Om erosie op de overgang tussen kruinverhoging en achterliggend talud te voorkomen moet de overgang tussen deze twee grondlichamen zonder harde knik (zo afgerond mogelijk) worden aangebracht.

- Bij kale plekken rondom bomen en begroeiing (daar waar een gesloten grasmat niet kan worden gegarandeerd, ongeacht beheer) dienen erosiebestendige maatregelen te worden genomen om zo erosie door overslag tegen te gaan. Denk hierbij aan calamiteitenbeheer in de vorm van een tijdelijk geotextiel gecombineerd met krammen of zandzakken.

4 Toets buitentalud op langs stroming (GEBU)

De waterkering rond het kasteel wordt tijdens hoogwater belast met langsstromend water uit de groene rivier met een hoge stroomsnelheid. De waterkering is opgebouwd uit zand met een grasbekleding. De vraag is hoeveel stroming zo'n waterkering kan weerstaan.

Er zijn uit de vakliteratuur geen stromingsproeven bekend waarbij gras op zand is beproefd. Voor stromend water over een grasbekleding op klei worden de CIRIA-krommes gebruikt, welke zijn weergegeven in Figuur 7 hieronder. De figuur geeft een samengevoegd beeld weer van de CIRIA-krommes uit zowel 1985 als 1987, waarbij laatstgenoemden conservatief zijn ingestoken. Benadrukt moet worden dat deze krommes gelden voor gras op klei en dus niet voor gras op zand, dit vraagt om enig conservatisme.



Figuur 7 CIRIA-krommen voor de toelaatbare langs stroomsnelheid voor grasbekleding

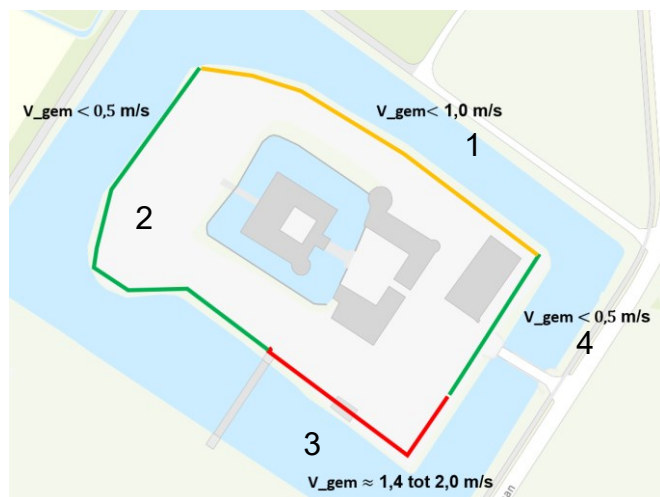
Bij de Vechtdijk en de IJsseldijk, waar ook sprake is van een grasbekleding (zie vorige paragraaf), is aangenomen dat de verhouding tussen toelaatbare overtopping voor gras op kleidijken en gras op zanddijken ook de verhouding is voor de toelaatbare langsstroomsnelheid voor deze twee typen dijken. Voor de Vechtdijk en IJsseldijk ligt de verhouding tussen deze twee getallen op 3 (zie [ref 4]), de toelaatbare langsstroomsnelheid voor gras op zanddijken is dan een factor 3 lager dan voor gras op kleidijken (als weergegeven in Figuur 7).

Bij hoog water op de Maas stroomt er ook water door de groene rivier bij Well. In dat geval wordt de gehele omwalling rondom het kasteel van Well waterkerend, met een langsstroming in westelijke richting. Een hoogwatergolf op de Maas kan enkele dagen duren, een situatie van stromend water in de groene rivier ook. Hierdoor moet worden gekeken met de toelaatbare stroomsnelheid bij 100 uur (maximaal bereik van de CIRIA-krommen en aangenomen als asymptoot).

Voor een goede grasmat (gesloten zode) leidt dit tot een toelaatbare langsstroomsnelheid van ongeveer 0,8 m/s voor gras op zand.

Advies over grasbekleding op de omwalling van kasteel Well

De stroomsnelheden rondom kasteel Well zijn lokaal een stuk hoger dan de slechte grasmat op de zanddijk aan kan, zie onderstaande figuur.



Figuur 8 Segmenten van de omwalling van het kasteel met bijbehorende belastingssituatie door langsstroming

Noordelijke wal (segment 1 in Figuur 8 Segmenten van de omwalling van het kasteel met bijbehorende belastingssituatie door langsstroming Figuur 8)

Langs de noordelijke wal treedt (mede door turbulente effecten) een stroming op die hoger is dan de huidige grasmat op de wal aan kan. De stroomsnelheden zijn dusdanig hoog dat ook een gesloten zodelaag op zand zal eroderen onder de invloed van langdurig hoog water. Om deze reden wordt aangeraden de toplaag van de wal te verbeteren door het aanbrengen van een kleilaag (erosie bestendige klei (categorie A of B, zie [ref 1]) met een dikte van minimaal 0,5m plus een leeflaag (in combinatie met gesloten zode door gericht beheer).

Noordwest wal (segment 2 in Figuur 8 Segmenten van de omwalling van het kasteel met bijbehorende belastingssituatie door langsstroming Figuur 8)

De stroomsnelheden aan de noordwestzijde van het kasteel zijn laag. Als de grasmat van deze wal verbeterd kan worden tot een goed gesloten zode, hoeft de toplaag van deze wal niet vervangen te worden.

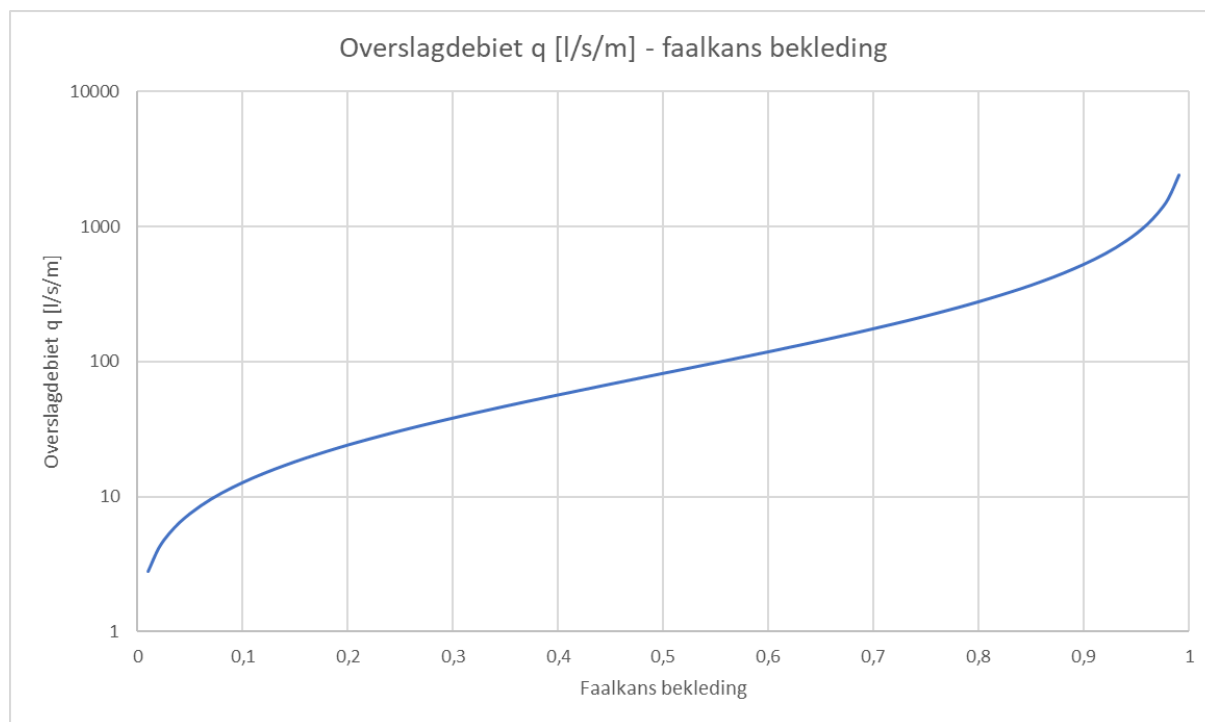
Zuidelijke wal (segment 3 in Figuur 8 Segmenten van de omwalling van het kasteel met bijbehorende belastingssituatie door langsstroming Figuur 8)

Langs de zuidelijke wal treedt een stroming op die veel hoger is dan de huidige grasmat op de wal aan kan. Ook een gesloten zodelaag op zand zal eroderen onder de invloed van langdurig hoog water. Om deze reden wordt aangeraden de toplaag van de wal te verbeteren door het aanbrengen van een kleilaag (erosie bestendige klei (categorie A of B, zie [ref 1]) met een dikte van minimaal 0,8m plus een leeflaag (in combinatie met gesloten zode door gericht beheer).

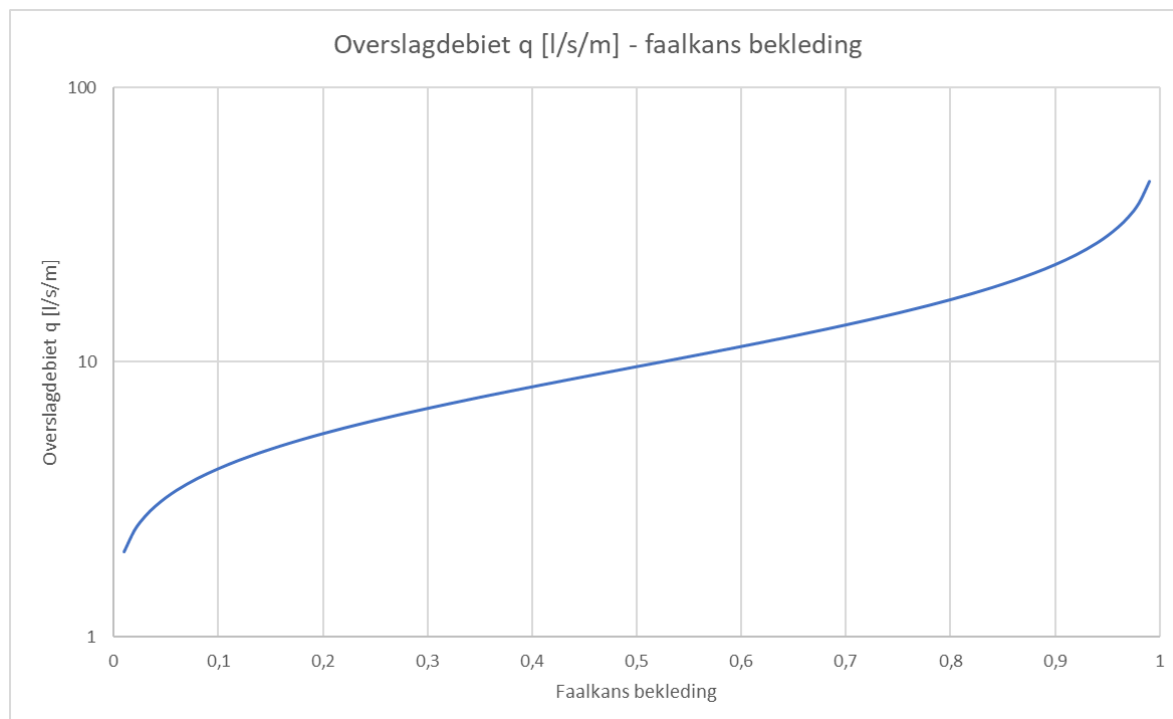
5 Referenties

- ref 1. Gebiedsontwikking Groene Rivier Well, Technisch ontwerp waterkering kasteel VO, BJ1000_W3420-3_Technisch ontwerp waterkering kasteel VO
- ref 2. Gebiedsontwikking Groene Rivier Well, Technische Uitgangspunten Notitie Waterkeringen, TUN BJ1000_W3210-2
- ref 3. Gebiedsontwikking Groene Rivier Well, Technisch ontwerp waterkering kasteel VO, BJ1000_W3420-3.5_Kasteel analyse stroomsnelheden
- ref 4. J. Van der Meer, N. Allsop, T. Bruce, J. De Rouck, A. Kortenhaus, T. Pullen, H. Schüttrumpf, P. Troch en B. Zanuttigh, „EurOtop: Manual on wave overtopping of sea defences and related structures,” 2018
- ref 5. Deltares, „Eindadvies beoordeling gras op zandbekledingen,” Delft, 2020.

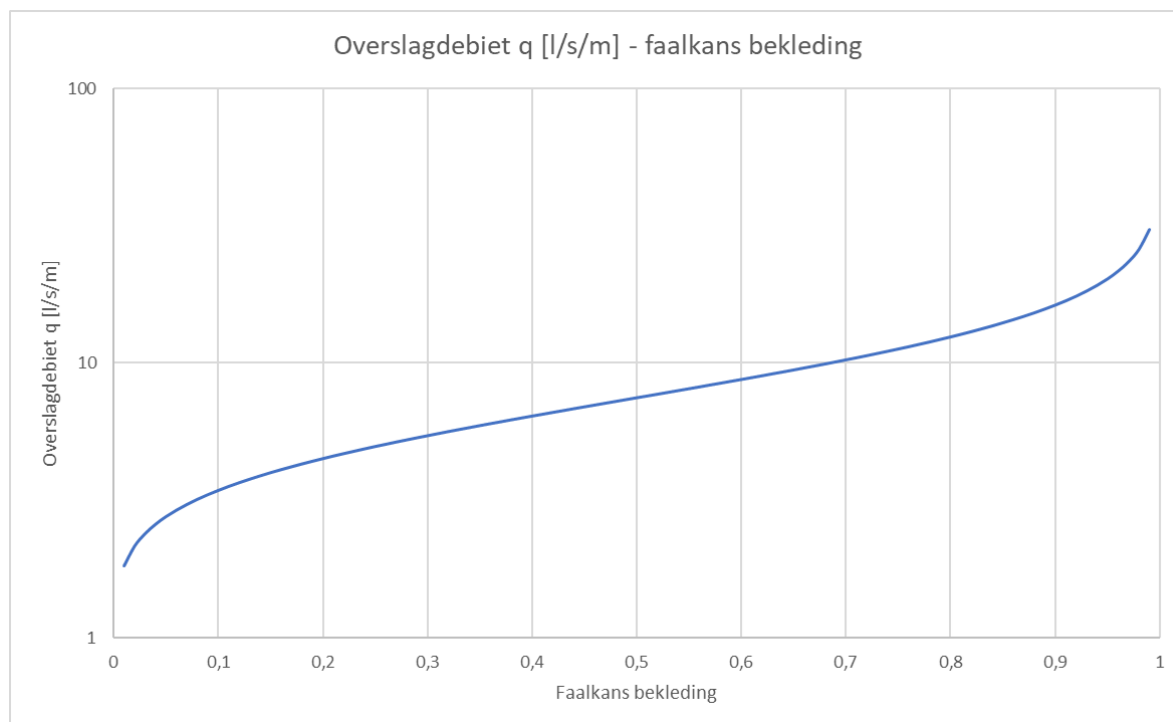
Bijlage 1: Grafieken vergelijking overslagdebiet tegenover faalkans



Figuur 9 Overslagdebiet [l/s/m] tegen de faalkans voor golven met H_{m0} tussen 0,0 en 0,4 meter



Figuur 10 Overslagdebiet [l/s/m] tegen de faalkans voor golven met H_{m0} tussen 0,4 en 0,8 meter



Figuur 11 Overslagdebiet [l/s/m] tegen de faalkans voor golven met H_{m0} tussen 0,8 en 1,5 meter