

Ontwerp Vlotterinlaat Bovensas – KDU04571

Dit object is niet meegenomen in de "Beoordeling Waterkende Kunstwerken – Tweede Ronde Toetsing Regionale Waterkeringen (2019)" omdat het kunstwerk al gepland was voor vervanging. In dit document wordt het nieuwe kunstwerk ontworpen op basis van de faalmechanismes hoogte, piping, betrouwbaarheid sluiten, sterkte constructie onderdelen en stabiliteit constructie en grondlichaam. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van de Werkwijzer Ontwerpen Waterkerende Kunstwerken (WOWK) en de "Beoordeling Waterkende Kunstwerken – Tweede Ronde Toetsing Regionale Waterkeringen (2019)". In Tabel 1 zijn de belangrijkste gegevens van het kunstwerk te vinden. De nieuwe duiker krijgt dezelfde afmetingen en ligging als de oude duiker (zie Figuur 2).

Binnen het project 800658 – Verbeteren Kunstwerken Regionale Keringen is direct naast de vlotterinlaat Bovensas een oud gewelf ontdekt (zie Figuur 1). Het oude gewelf lag begraven in de regionale waterkering. Het is de verwachting dat het object geen cultuurhistorische waarde heeft en daarom in zijn geheel verwijderd wordt. Dit uitgangspunt wordt aangehouden in dit ontwerp document.

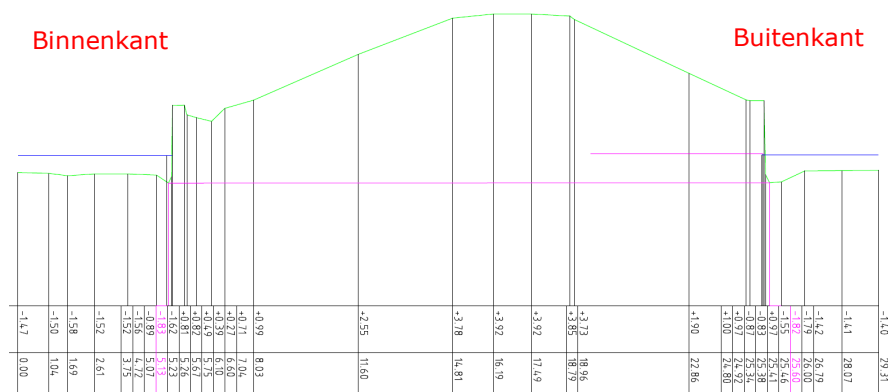
Opvallend is dat het huidige kunstwerk geen keermiddelen in de regionale waterkering heeft. Het keermiddel bevindt zich bij de duiker KDU30004 die in een kade/overige kering ligt. Dit is niet conform de veiligheidseisen. Voor het ontwerp wordt als uitgangspunt gesteld dat het kunstwerk in de regionale waterkering opzichzelfstaand moet voldoen aan de veiligheidseisen en dus niet afhankelijk is van KDU30004.



Figuur 1: Ligging objecten

Diameter	1,0 m
B.o.b.	NAP-1,83 m
Fundering	Op staal (uitgaande van gebruik segmenten)
T _{VZM,2050}	NAP+1,31 m
scheefstand	0,55 m
Klimaatopslag	0,2 m
Robuustheidsopslag	0,3 m
Ontwerp peil	NAP+2,36 m
Polderpeil	NAP-0,90 m
Verval	3,26 m

Tabel 1: Gegevens Vlotterinlaat Bovensas



Figuur 2: Huidige ligging Vlotterinlaat Bovensas

Uitgangspunten

- Diameter van de duiker is 1,0 m en de duiker wordt op staal gefundeerd.
- Het kunstwerk krijgt een nieuwe afsluiter in een put in de kruin. De put wordt geplaatst ter hoogte van de buitenkruinlijn.
- De lengte van het kunstwerk blijft ongewijzigd (20,47 m).
- De ligging van de duiker blijft ongewijzigd (dus net als Figuur 2).
 - o B.o.b. blijft dus op NAP-1,83 m.
- Het naastliggende gewelf wordt verwijderd.

Hoogte kunstwerk (HTKW)

De kerende hoogte ter plaatse van deze duiker wordt verzorgd door het dijklichaam, en dus niet door het kunstwerk. Daarom is dit faalmechanismen niet relevant voor het ontwerp van de Vlotterinlaat Bovensas.

Piping Kunstwerk (PKW)

Bij dit object zijn twee boringen en twee sonderingen genomen (zie bijlage 1). Beide sonderingen laten zien dat de onderste meter van de deklaag bestaat uit een veenlaag. In sondering 1 ligt deze onderkant van de deklaag op NAP-3,50 meter. In sondering 2 ligt deze op NAP-3,00 meter. De deklaag verloopt dus en wordt dunner in oostelijke richting. De duiker Vlotterinlaat Bovensas ligt in het midden van deze twee sonderingen. Daarom wordt gesteld dat de onderkant van de deklaag ter hoogte van het kunstwerk op NAP-3,25 meter ligt. Gezien zowel het huidige kunstwerk, als het dieper gelegen oud gewelf worden verwijderd, is het niet aannemelijk dat er nog 1m deklaag (veen in dit geval) overblijft onder het kunstwerk. Het kwelscherm moet daarom worden ontworpen met Lane en Bligh.

Lengte kwelscherm

De duiker heeft een lengte van 20,47 m en is niet op palen gefundeerd. De horizontale kwelweglengte is daarmee dus $L_h = 20,47$ m. Er zijn bij dit object naast dit nieuwe kwelscherm geen andere constructie elementen aanwezig die voor een verticale kwelweg zorgen. Daarom is $L_v = 0$ m. De creepfactor $C_{w,creep} = 7$ (zie bijlage 1). Het kritieke verval en het verticale kwelweglengte tekort is daarmee:

$$\Delta H_c = \frac{\frac{1}{3} * L_h + L_v}{C_{w,creep}} = \frac{\frac{1}{3} * 20,47 + 0}{7} = 0,97 \text{ m}$$

$$L_v = (3,26 - 0,97) * 7 = 16,03 \text{ m}$$

Er is dus een tekort van 16,03 m aan verticale kwelweg. Dit betekent dat een kwelscherm met een lengte van 8,02 m onder de duiker moet worden geplaatst (in het ergste geval tot NAP-9,85 m). Kijkend naar de bodemopbouw in bijlage 1 kan dit echter worden geoptimaliseerd. Het zou afdoende zijn om de zandlaag tussen het veen en het klei af te sluiten met het kwelscherm. Een goede aansluiting wordt verkregen, conform [2] en [3], als een kwelscherm minimaal 1 meter in een slecht doorlatende laag staat. De bovenkant van de kleilaag ligt volgens de sonderingen op NAP-5,80 m. Het is daarom afdoende om de onderkant van het kwelscherm op NAP-6,80 m te plaatsen.

Breedte kwelscherm

De breedte van het kwelscherm wordt bepaald middels een berekening met Bligh. De aanwezige horizontale kwelweglengte (lengte duiker) is 20,47 meter. De creepfactor voor Bligh is bij fijn tot zeer fijn zand gelijk aan $C_{creep} = 18$. Het aanwezige kritiek verval en het kwelweglengte tekort is daarmee gelijk aan:

$$\Delta H_c = \frac{L_h}{C_{creep}} = \frac{20,47}{18} = 1,13 \text{ m}$$

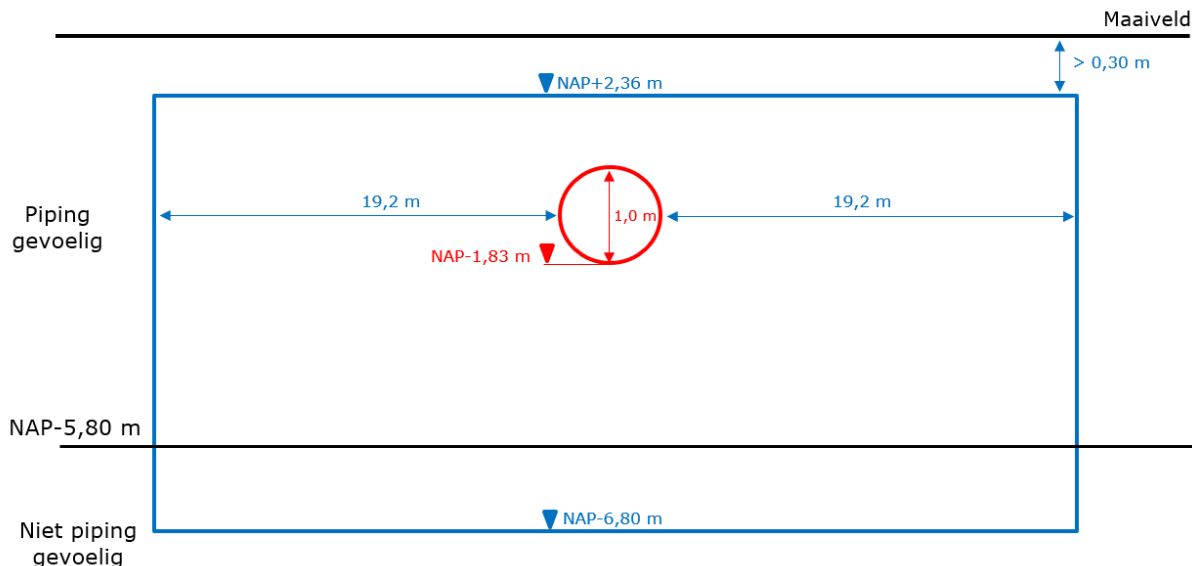
$$L_h = (3,26 - 1,13) * 18 = 38,4 \text{ m}$$

Dit betekent dat er een tekort aan horizontale kwelweglengte (achterloopsheid) is van 38,4 m. Het kwelscherm moet daarom aan iedere kant van de duiker $38,4/2 = 19,2$ m uitsteken.

Ontwerp kwelscherm

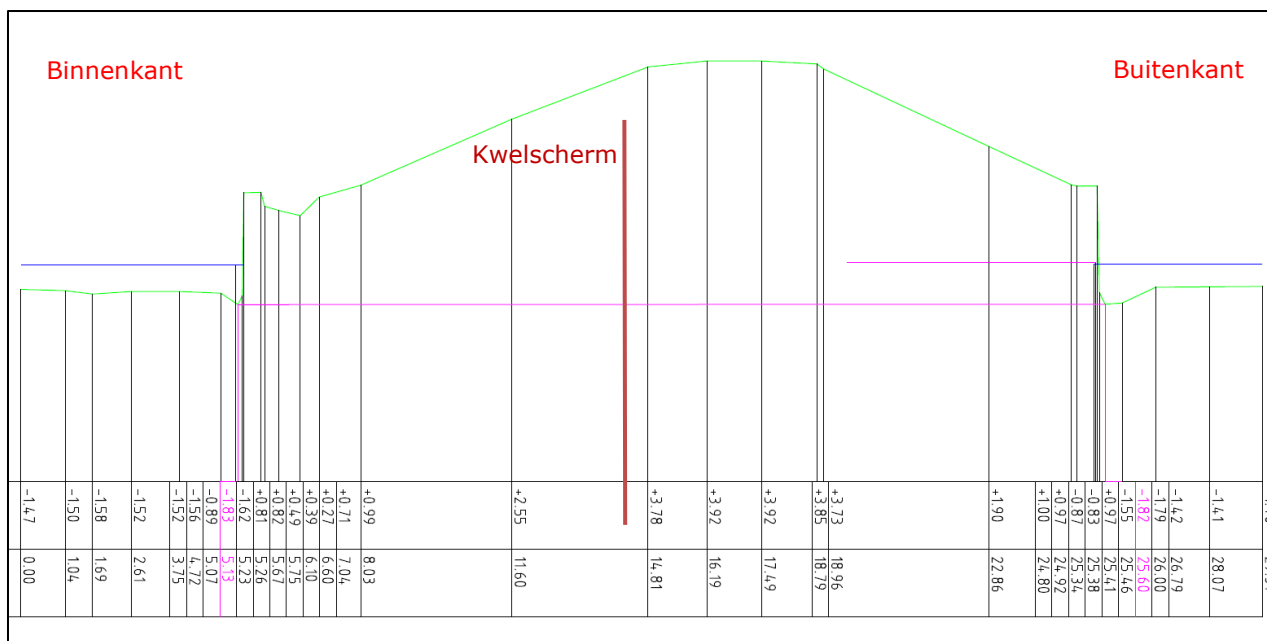
Voor het ontwerp van het kwelscherm zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Voor een goede aansluiting op een niet piping gevoelige laag moet een kwelscherm minimaal 1 meter in deze laag staan. [2] [3]
- Het kwelscherm moet worden opgetrokken tot minimaal de hoogte van de ontwerpwaterstand [1].
- Kwelschermen moeten minimaal 30 cm onder maaiveld worden aangebracht zodat dit in de toekomst niet voor problemen kan zorgen tijdens onderhoud.

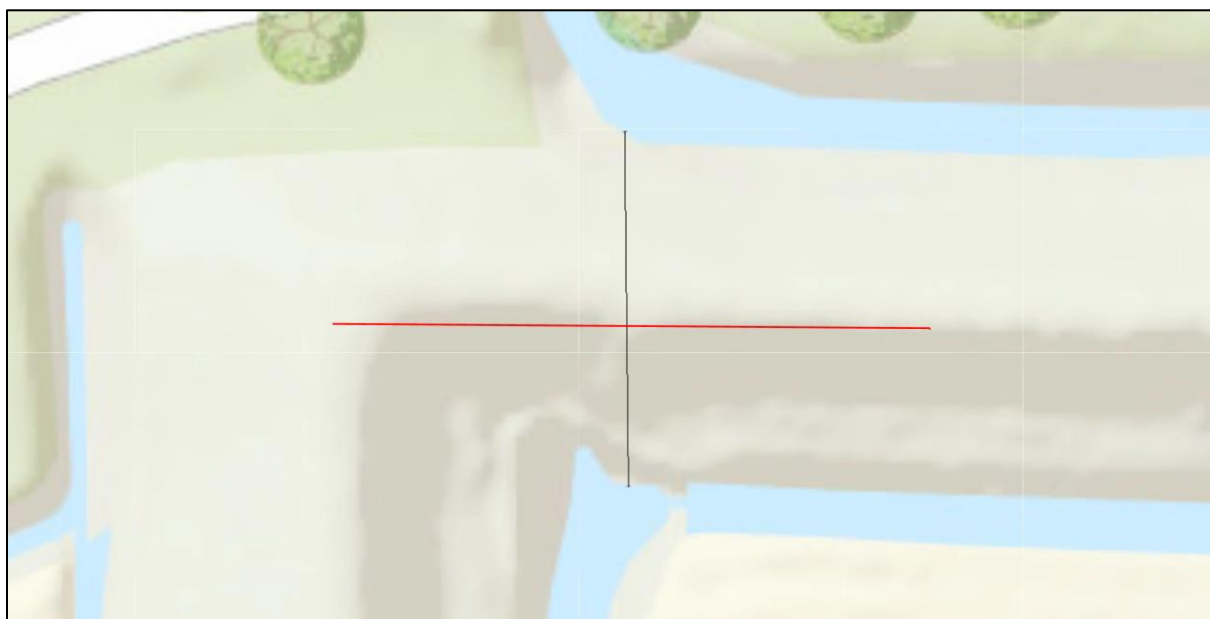


- Hoogte scherm = ontwerpwaterstand = NAP+2,36 m
 - o Het maaiveld moet meer dan 30 cm hier boven zitten (NAP+2,66 m of hoger).
- Onderkant van het kwelscherm = NAP-6,80 m
 - o Bij NAP-6,80 m staat het scherm 1 m in niet piping gevoelige kleilaag en is de zandlaag afgesloten.
- Breedte van kwelscherm is 19,2 m aan beide zijde van de duiker.
 - o Zie breedte kwelscherm berekening met Bligh.
- Vertrapping is bij het kwelscherm van de Vlotterinlaat Bovensas niet toereikend. Dit levert minimale materiaalwinst op (<2,5%) en vermoeilijkt de uitvoering.

Er wordt geadviseerd om het kwelscherm zo ver mogelijk binnendijks te plaatsen. Op deze manier kan een eventueel pijp het minst ver doorgroeien. Daarnaast verhoogt dit de weerstand tegen heave. Gezien het profiel van de waterkering en de benodigde afmetingen van het kwelscherm wordt verwacht dat het kwelscherm ter hoogte van de binnenkruinlijn kan worden geplaatst (zie figuur 3 en 4). Indien het sterk de voorkeur heeft is het ook toegestaan om het kwelscherm aan de put te bevestigen (ter hoogte van de buitenkruinlijn).



Figuur 3: Indicatieve locatie kwelscherm



Figuur 4: Indicatieve locatie kwelscherm

Betrouwbaarheid sluiten (BSKW)

Op het moment heeft dit object geen keermiddelen. Het keermiddel bevindt zich in de duiker in de overige waterkering. Om te voldoen aan de veiligheidseisen moet de Vlotterinlaat Bovensas zelf keermiddelen hebben in de regionale waterkering. Daarom wordt er beschouwd welke keermiddelen noodzakelijk zijn om aan de faalkanseis voor betrouwbaarheid sluiten te voldoen. Hiervoor wordt gekeken naar één handbediende schuif, twee handbediende schuiven en één AUMA schuif.

Dit kunstwerk is een inlaat en staat tijdens het gesloten seizoen dicht. Tijdens het open seizoen wordt het kunstwerk vaak bediend. Afhankelijk van het aantal beregeningsverzoeken schat de peilbeheerder in dat het 20-30x per jaar wordt bediend. Er wordt gekozen voor een conservatieve sluitvraag van 50x per jaar. Vanwege klimaatverandering bestaat er namelijk een reële kans dat het kunstwerk in de toekomst vaker moet worden gesloten, voor zowel droogte als hoogwater. Dit komt overeen met een terugkeertijd van 0,02 jaar. De faalkanseis voor betrouwbaarheid sluiten bij

regionale waterkeringen is 0,1 * norm. Voor deze regionale waterkering (T100) geldt dus een faalkanseis van $1,00 \times 10^{-3}$.

	Sluitvraag	Faalkans per sluitvraag ¹	P _{open} ²	Faalkans	Voldoet?
1 handbediende schuif	50x per jaar	$10^{-2,5}$	0,5	$7,91 \times 10^{-2}$	O
2 handbediende schuiven	50x per jaar	$10^{-3,5}$	0,5	$7,91 \times 10^{-3}$	O
1 AUMA schuif	50x per jaar	10^{-7}	0,5	$2,50 \times 10^{-6}$	V

¹Faalkansen per sluitvraag conform de tweede ronde toetsing

²Reductie factor omdat kunstwerk tijdens open seizoen dicht staat

Uit de bovenstaande tabel kan worden geconcludeerd dat de het plaatsen van één of twee handbediende schuiven niet voldoende is om aan de faalkanseis te voldoen. Daarom is het noodzakelijk dat er een AUMA schuif met peilregistratie wordt geplaatst. Deze AUMA schuif moet in een put in de kruin komen te staan. Het automatiseren van dit keermiddel zal ook de bedieningsinspanning aanzienlijk verlagen en wordt daarom als een doelmatige oplossing gezien.

Sterkte Constructie Onderdelen (STCO)

De AUMA schuif in de put in de kruin moet voldoende sterk zijn om het ontwerp verval bij hoogwater te kunnen keren. Dit ontwerpverval is 3,26 m. Daarom is het advies om een schuif te plaatsen met minimaal 0,5 bar werkdruk (= 5 meter water kolom).

De leiding moet zelf sterk genoeg zijn om de bovenliggende grond en water druk te weerstaan. Daarnaast moet rekening worden gehouden met eventuele belastingen door onderhoudsmaterieel van het waterschap. De opdrachtnemer moet op basis van de gekozen leiding type een sterkte berekening aanleveren die dit aantoont.

Stabiliteit van constructie en Grondlichaam (STCG)

Conform de "Beoordeling Waterkende Kunstwerken – Tweede Ronde Toetsing Regionale Waterkeringen (2019)" is horizontaal afschuiven en kantelen niet aan de orde bij duikers. Dit vanwege de grote lengte (= schuifspanning) en het relatief kleine oppervlak (horizontale kracht werkt op de doorsnede van de duiker). De nieuwe Vlotterinlaat Bovensas zal dus niet kunnen kantelen of horizontaal afschuiven.

Het andere risico bij dit faalmechanisme zit in het opdrijven van de putten. Conform de "Beoordeling Waterkende Kunstwerken – Tweede Ronde Toetsing Regionale Waterkeringen (2019)" kunnen vierkante putten tot 1,5x1,5 m² met een wanddikte van 0,2 m nooit opdrijven. Er wordt dus geadviseerd om de put bij de nieuwe Vlotterinlaat Bovensas te plaatsen conform deze specificaties.

Specifieke ontwerpisen voor de Vlotterinlaat Bovensas:

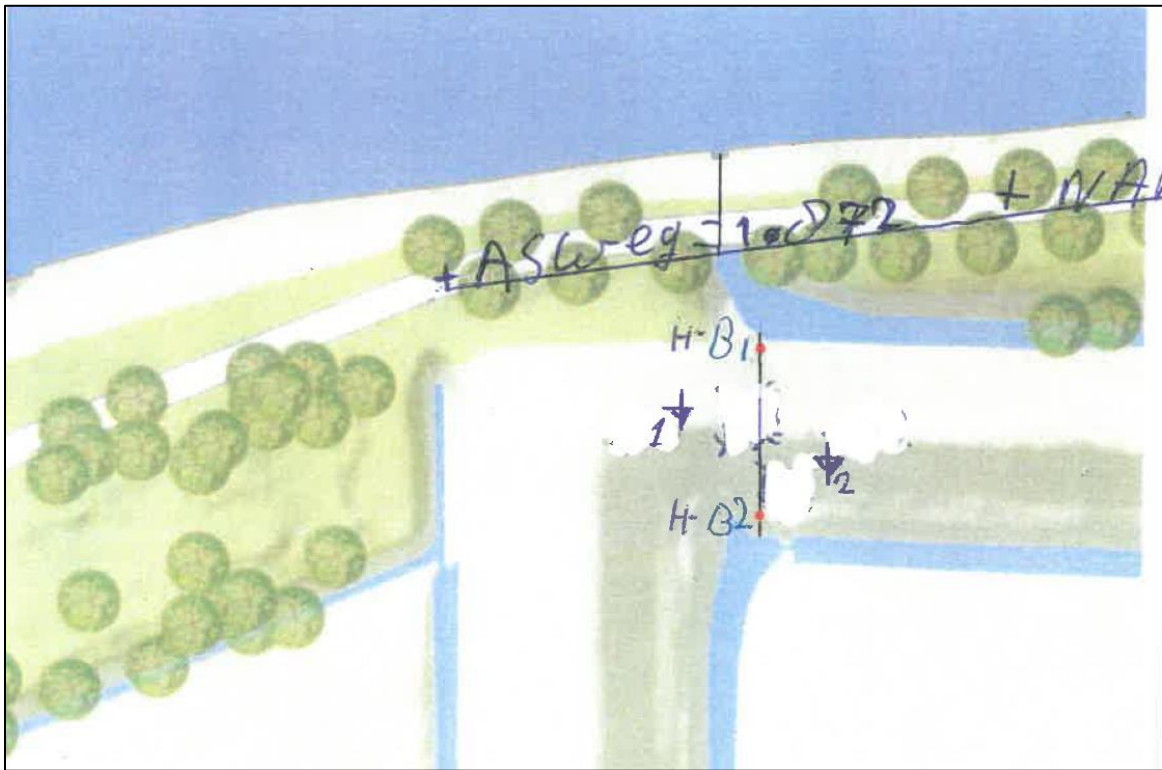
- Duiker met diameter van 1,0 m.
- B.o.b. van de duiker komt op NAP-1,83 meter (dezelfde hoogte als huidige duiker).
- Als hoogwaterkeermiddel wordt er een AUMA schuif in een put in de kruin geplaatst. De put wordt geplaatst ter hoogte van de buitenkruinlijn.
- De schuif wordt aan de binnendijkse zijde van de put gezet, zodat deze bij hoogwater tegen de put wordt aangedrukt.
- De schuif heeft een werkdruk van 0,5 bar of hoger.
- De betonnen put is vierkant en kleiner dan 1,5 m x 1,5 m. De wanddikte van de put is 0,2 m.
- Er moet een kwelscherm worden geplaatst conform de bepaalde afmetingen, ter hoogte van de binnenkruinlijn. Indien sterk gewenst is het ook toegestaan om het kwelscherm aan de put te bevestigen.
- Het kwelscherm moet waterdicht worden verbonden met de duiker.
- Het kwelscherm moet minimaal 30 cm dekking hebben.
- De leiding moet sterk genoeg zijn op bovenliggende belastingen (grond, water en onderhoudsmaterieel) te kunnen weerstaan. Dit moet de opdrachtnemer aantonen middels een sterkteberekening.

Bronnen

- [1] *Werkwijzer Ontwerp Waterkerende Kunstwerken – Ontwerpverificaties voor de hoogwatersituatie, Rijkswaterstaat (2018)*
- [2] *Schematiseringshandleiding Piping bij Kunstwerk, WBI 2017, Rijkswaterstaat (2021)*
- [3] *Beoordeling Waterkerende Kunstwerken, Tweede Ronde Toetsing Regionale Waterkeringen, Waterschap Brabantse Delta, Antea (2019)*
- [4] *Leidraad toetsen op Veiligheid Regionale Waterkeringen, Module D: Beoordeling Veiligheid (2015-15), STOWA.*
- [5] *Memo berekening piping B097C_b, 2^e ronde toetsing regionale keringen, Antea Group.*

Bijlage 1: Grondonderzoek

Bij de Vlotterinlaat Bovensas zijn twee sonderingen genomen in de kruin en twee handboringen ter hoogte van de binnenteen en buitteen van de regionale waterkering. Er wordt aangenomen dat de tussenzandlaag bestaat uit matig fijn tot zeer fijn zand ($C_{w,creep} = 7$, $C_{creep} = 18$).



Overzicht locaties grondonderzoek

De sonderingen laten de volgende bodemopbouw zien:

Van	Tot	Bodemsoort
Maaiveld	NAP+1,00 m	Kleilig zand/zanderige klei
NAP+1,00 m	NAP-2,50 m	Klei
NAP-2,50 m	NAP-3,50 m	Veen
NAP-3,50 m	NAP-5,80 m	Zand
NAP-5,80 m	NAP-10,0 m	Klei
NAP-10 m	-	Pleistoceen zand

Sondering 1

Van	Tot	Bodemsoort
Maaiveld	NAP-2,00 m	Klei
NAP-2,00 m	NAP-3,00 m	Veen
NAP-3,00 m	NAP-5,80 m	Zand
NAP-5,80 m	NAP-10,0 m	Klei
NAP-10,0 m	-	Pleistoceen zand

Sondering 2

Boorstaat HB-1

Steenbergen KDU 04571
Grondwaterstand= 3.00m mv-
2.08+N.A.P.

Diepte boorstaat in m mv-;

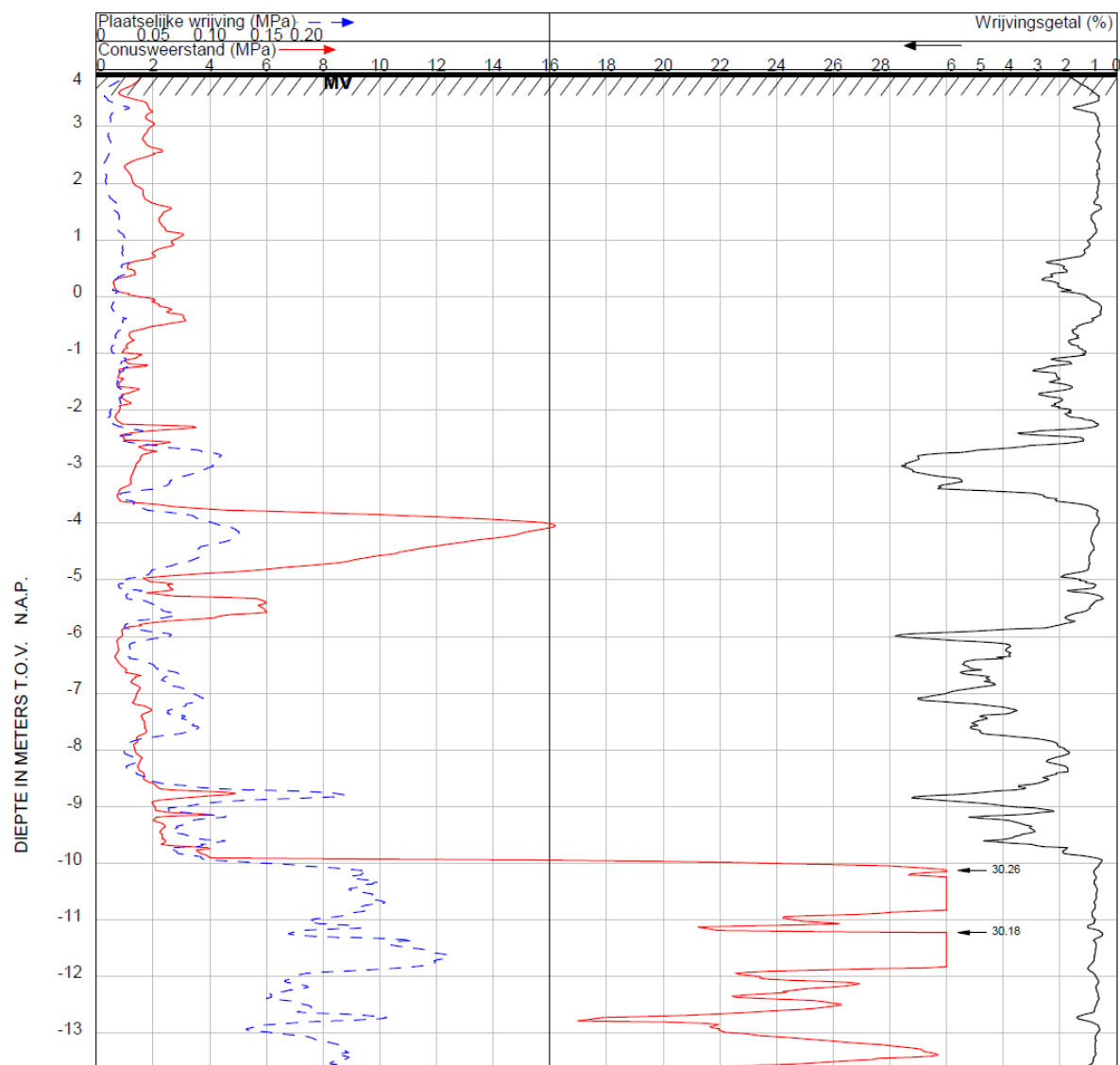
0.00 - 0.30	Teelaarde.
0.30 - 1.20	Klei
1.20 - 2.00	Zand
1.00 - 2.20	Klei
2.20 - 3.00m	Zand

Boorstaat HB-2

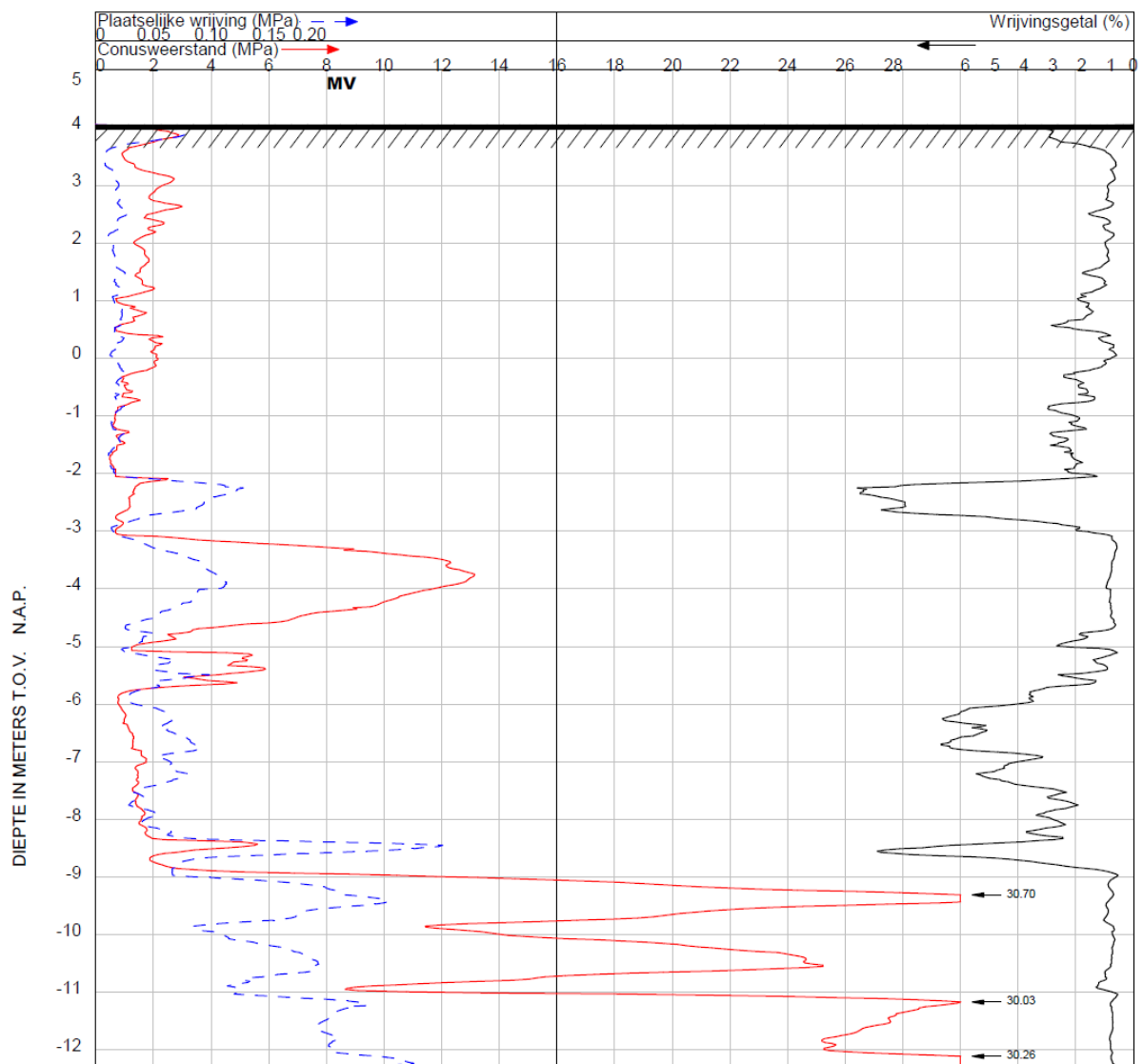
Grondwaterstand=2.80m mv-
2.34 + N.A.P.

Diepte boorstaat in m mv-.

0.00 - 0.40	Teelaarde
0.40 - 1.20	Klei
1.20 - 2.00	Zand
2.00 - 2.20	Klei.
2.20 - 3.00m	Zand



Sondering 1



Sondering 2