



Kunstwerkrapport Scheepvaartsluis Kanaal door Voorne

Normtraject 20-4 – Haringvlietdam – Bernisse



waterschap
**Hollandse
Delta**

Definitief 3.0

10 januari 2020

Samenvatting

In het kader van de beoordeling van normtraject 20-4 (onderdeel van dijkkring 20) is Scheepvaartsluis Kanaal door Voorne beoordeeld op basis van het WBI2017. Naast deze schutsluis zijn er nog 9 kunstwerken in dit normtraject.

Op basis van de beoordeling is geconcludeerd dat scheepvaartsluis Kanaal door Voorne niet voldoet aan 2 van de 4 toetsporen waar het kunstwerk op beoordeeld dient te worden. Op basis van de gedetailleerde beoordeling valt het toetspoor Hoogte binnen categorie I_v , Betrouwbaarheid Sluiten binnen categorie III_v en toetspoor Piping binnen categorie V_v . Op basis van een toets op maat valt toetspoor Sterkte en Stabiliteit binnen categorie V_v .

Het eindoordeel van dit kunstwerk is: "Voldoet niet aan de ondergrens", categorie V_v .

Inhoudsopgave

1	Inleiding	1
1.1	Aanleiding en doel	1
1.2	Leeswijzer	1
2	Beschrijving van het kunstwerk	2
2.1	Locatie en functie kunstwerk	2
2.2	Beschrijving constructie	4
2.2.1	Opbouw	4
2.2.2	Standzekerheid	6
2.3	Beschrijving keermiddelen	11
2.4	Gebruik en bediening	11
2.5	Ervaring beheerder	11
2.6	Faalkansbegroting	11
2.7	Toetsoordeel	12
2.8	Hydraulische Randvoorwaarden	12
2.9	Beoordelingsmethodiek	13
3	Beoordeling Hoogte (HTKW)	14
3.1	Eenvoudige beoordeling	14
3.2	Gedetailleerde toets per vak	14
3.2.1	Algemeen	14
3.2.2	Invoerparameters Riskeer	15
3.2.3	Onderbouwing invoer Riskeer	16
3.2.4	Resultaat gedetailleerd toets per vak	16
3.3	Veiligheidsoordeel	16
4	Beoordeling Betrouwbaarheid sluiting (BSKW)	17
4.1	Eenvoudige beoordeling	17
4.2	Gedetailleerde toets per vak	17
4.2.1	Algemeen	17
4.2.2	Invoerparameters Riskeer	19
4.2.3	Onderbouwing invoer Riskeer	19
4.2.4	Resultaat gedetailleerd toets per vak	20
4.3	Veiligheidsoordeel	21
5	Piping (PKW)	22
5.1	Eenvoudige beoordeling	22
5.2	Gedetailleerde toets per vak	22
5.2.1	Algemeen	22
5.2.2	Grondopbouw	23
5.2.3	Maatgevende verval	24
5.2.4	Onderloopsheid	24
5.2.5	Achterloopsheid	25
5.3	Veiligheidsoordeel	26
6	Beoordeling Sterkte en stabiliteit (STKW)	27
6.1	Gedetailleerde toets per vak	27
6.2	Toets op maat	27
6.2.1	Algemeen	27
6.2.2	Beoordeling toets op maat	29
6.3	Veiligheidsoordeel	29
7	Conclusies en aanbevelingen	30
7.1	Oordeel	30
7.2	Conclusies	30
7.3	Aanbevelingen	30

8	Referenties	31
	Bijlagen	
	Bijlage I - Tekeningen	32
	Bijlage II – Berekeningen Piping	33

1 Inleiding

1.1 Aanleiding en doel

Sinds 1 januari 2017 is het WBI2017 van kracht. Alle primaire waterkeringen in Nederland dienen voor 2023 beoordeeld te zijn conform dit instrumentarium. De kunstwerken die de keringen kruisen vormen een onderdeel van de primaire waterkering. Daarom dienen deze te worden beoordeeld conform het WBI2017.

Deze rapportage gaat in op de beoordeling van scheepvaartsluis Kanaal door Voorne. De scheepvaartsluis is één van de 10 kunstwerken in dit normtraject.

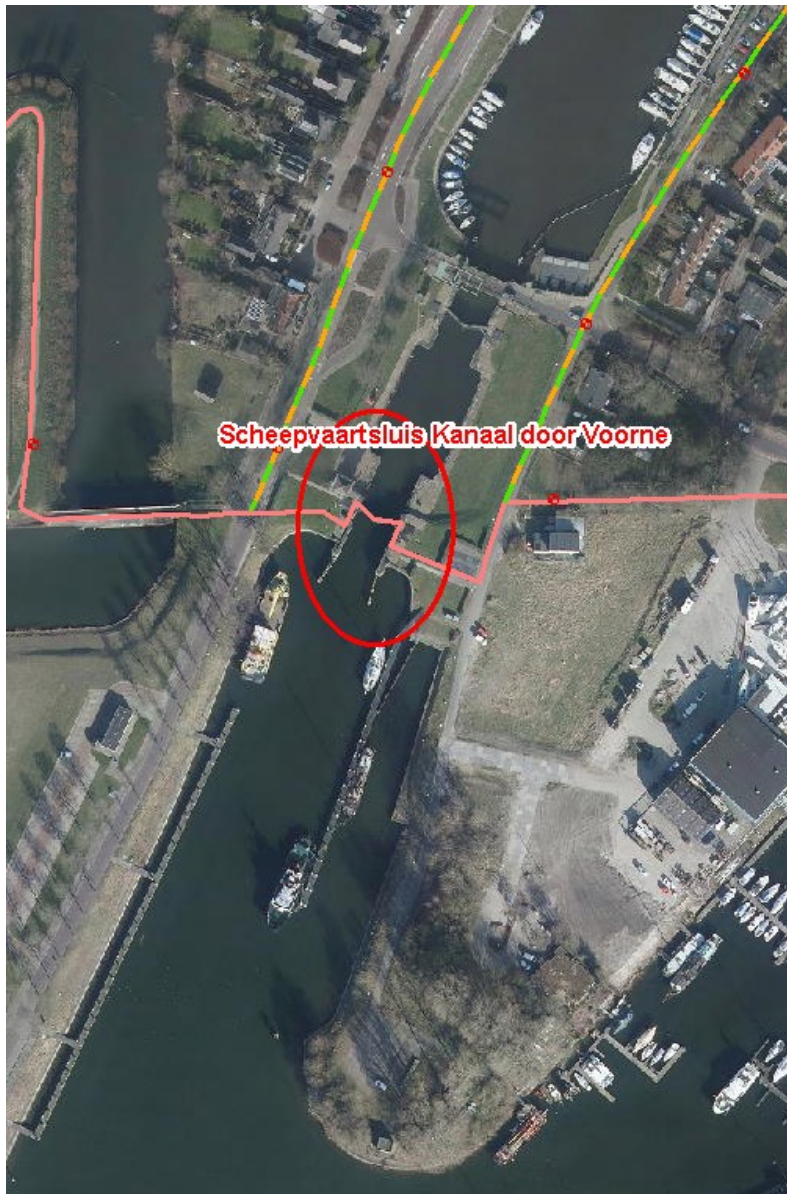
1.2 Leeswijzer

Deze beoordelingsrapportage start in hoofdstuk 1 met de inleiding. Vervolgens is in hoofdstuk 2 een beschrijving van het kunstwerk gegeven. De hoofdstukken 3 t/m 6 bevatten de beoordelingen van het kunstwerk per kunstwerkspoor. In hoofdstuk 7 zijn de conclusies en aanbeveling opgenomen, waaronder het algehele veiligheidsoordeel van het kunstwerk. De gebruikte referenties zijn opgenomen in hoofdstuk 8.

2 Beschrijving van het kunstwerk

2.1 Locatie en functie kunstwerk

Scheepvaartsluis Kanaal door Voorne is onderdeel van normtraject 20-4 en bevindt zich aan de zuidzijde van het eiland Voorne-Putten (dijkring 20). De sluis is gelegen aan het Haringvliet nabij hectometer 4,4 en net ten westen van gemaal Gorzeman (zie figuur 2-1). In figuur 2-2 zijn enkele foto's opgenomen van het kunstwerk.



Figuur 2-1 Locatie scheepvaartsluis Kanaal door Voorne



Figuur 2-2

De functie van de sluis is het schutten van scheepvaartverkeer vanaf het kanaal door Voorne naar het Haringvliet en andersom. Het huidige scheepvaartverkeer door de sluis bestaat vooral uit recreatievaartuigen.

Het beheer van de schutsluis is in handen van gemeente Hellevoetsluis. De code van de sluis in het beheerregister en legger van WSHD is 05676SL.

Doordat het kunstwerk de waterkering kruist, is het een onderdeel van de primaire waterkering normtraject 20-4. Normtraject 20-4 heeft een signaleringswaarde van 1/1.000 per jaar en een ondergrens van 1/300 per jaar.

2.2 Beschrijving constructie

2.2.1 Opbouw

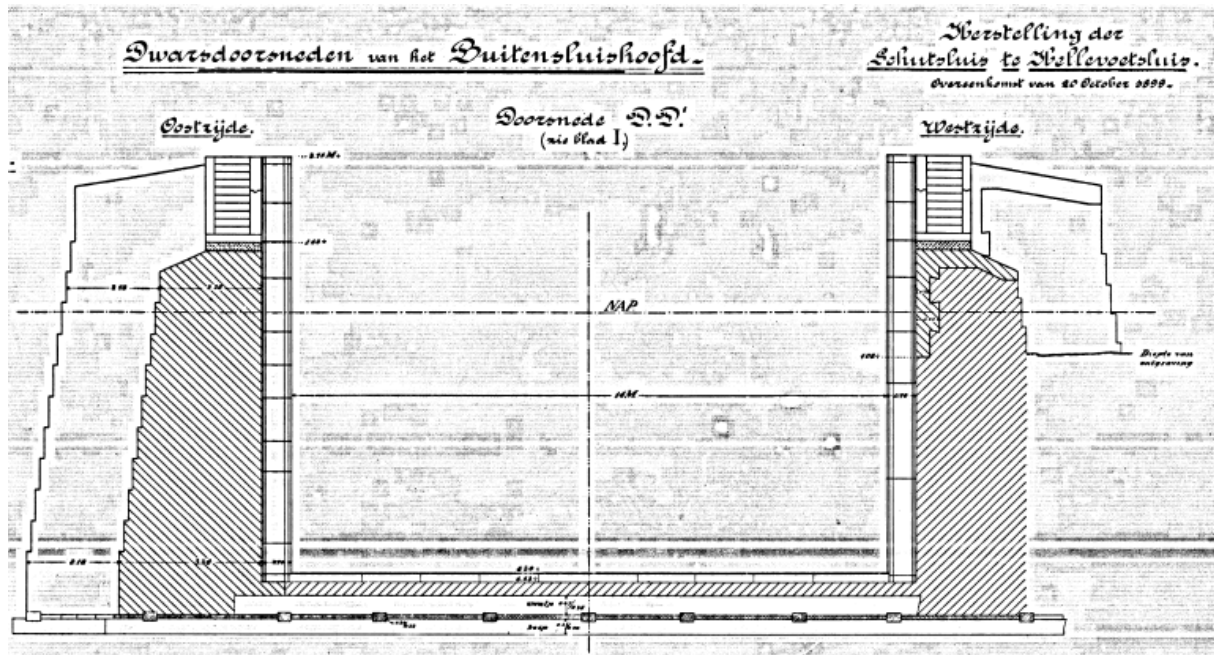
De sluis is in 1830 gebouwd. Uit een notitie over de toestand van de sluis [1] blijkt dat reparaties zijn uitgevoerd omstreeks 1900. De sluis is toen volledig afgedamd en drooggezet, waarna het oostelijk deel van het buitenhoofd is afgebroken en opnieuw opgebouwd. Ook de westelijke muur van het buitenhoofd is verzwaaard. Daarnaast is het buitenhoofd destijds verlengd en verhoogd. In 1980 zijn een aantal bewegingswerken van de sluis gerenoveerd

De schutsluis bestaat uit een buitenhoofd, een binnenhoofd en een kolk. Het buitenhoofd is het waterkerende deel van de constructie. Van het buitenhoofd van de schutsluis zijn diverse tekeningen uit omstreeks 1900 beschikbaar. Hierop staan een aantal afmetingen van het buitenhoofd. De fundering is hier niet specifiek op aangegeven. Zes kwelschermen zijn aangegeven op de tekeningen (zie fig. 2.3), maar er worden geen afmetingen of materiaalsoorten aangegeven.

In het document over de staat van de schutsluis [1] wordt de funderingsopbouw van het buitenhoofd beschreven. Op de fundering van palen is een funderingsbedding aanwezig voor de twee wanden van het buitenhoofd. Deze bestaat uit een vloerconstructie van kespen en zwalpen. Tussen de kespen en zwalpen bevindt zich een 10 cm dikke houten vloer, met daarop een laag metselwerk van onbekende dikte. Ter plaatse van de deuren is een hardstenen dorpel aanwezig (bijlage I). Op de funderingsbedding zijn de wanden van het buitenhoofd gemetseld. De oostelijke muur verloopt van ca 1,7m dik bovenin tot ca 2,2m onderin (Bijlage I - tekening HSH4A). De westelijke muur was deels verzwaaard in 1900, maar de dikte en het verloop is niet duidelijk omdat de diverse tekeningen (Bijlage I - HSH4A, 6 en 7) elkaar tekenspreken. Bovendien was deze muur niet in het geheel ontgraven in 1900, dus was het toen ook niet mogelijk om de dikte te meten. Per muur zijn ook zes contreforts aanwezig. De diktes van de muur + contrefort wordt niet consistent en duidelijk aangegeven op de tekeningen. Ze zullen waarschijnlijk minimaal 3,3m dik zijn aan de bovenkant en minimaal 4,4m dik aan de onderkant van de muur. Aan beide zijden van het buitenhoofd zijn vleugelwanden aanwezig. Van deze vleugelwanden zijn geen tekeningen beschikbaar.

Op tekeningen HSH 5 en 9 (Bijlage I) wordt de opbouw van het verlengde deel van de oostelijke en westelijke muur weergegeven. Deze verlenging van enkele meters was noodzakelijk omdat er toen ook stormvloeddeuren zijn geplaatst. Uit de tekeningen blijkt dat het verlengde deel gefundeerd is op palen van 10m lang. Buiten het verlengde deel zijn er geen tekeningen waarop de palen staan weergegeven die zijn aangebracht in 1830 onder de rest van het buitenhoofd. Tijdens veldinspectie zijn geen grote scheuren geconstateerd, dus zullen er geen grote verschilzettingen zijn tussen het deel aangebracht in 1830 en het deel aangebracht in 1900.

De bovenkant van het buitenhoofd heeft een hoogte van ca N.A.P. +3,75m. De bovenkant van de vloer heeft een hoogte van ca N.A.P. -6,5m. De doorvaartopening in het buitenhoofd is 14 m breed.



Figuur 2.3

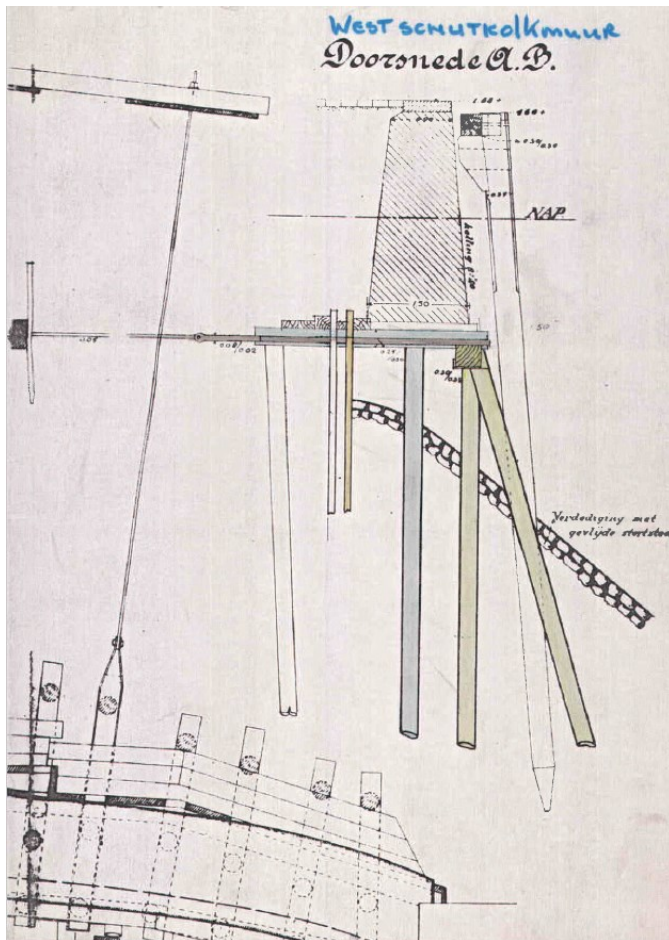
2.2.2 Standzekerheid

De sluis is gefundeerd op houten palen blijkt uit de notitie van RWS [1]. Ook zijn er 6 kwelschermen aangelegd (figuur 2.3). Deze zijn in 1830 aangelegd en zijn dus 190 jaar oud. Het is niet duidelijk in wat voor conditie de palen en kwelschermen zijn. De kwelschermen zijn ook niet gevonden tijdens de duikinspecties. Om de conditie van de palen en de kwelschermen te kunnen bepalen, moet de sluis worden afgestempeld, drooggezet, de vloer moet worden uitgebroken en een ontgraving moet plaats vinden onder de muur om de palen en kwelschermen bloot te leggen. Het is niet duidelijk of zo'n ontgraving mogelijk is omdat de constructie dan mogelijk instort. Ook zal dit een zeer kostbare operatie zijn.

De funderingspalen zijn dus niet zichtbaar en niet te inspecteren zonder groot destructief onderzoek. Om toch iets te kunnen zeggen over de conditie van de fundering is gekeken naar de conditie van de naast liggende fundering onder de kolkwanden die ook aangelegd is in 1830. Deze ligt namelijk bloot en is dus niet omgeven met grond. Deze fundering is diverse keren geïnspecteerd door duikers. Ook kan worden gerekend met degradatiesnelheden uit de SBRCURnet publicatie 'Binnenstedelijke Kademuren' [2].

Conditie fundering kolkwanden

De kolkwand is gefundeerd op een houten vloer met daaronder een raamwerk van kespen en zwalpen op palen zoals weergegeven in figuur 2.4. De kespen en het bovenste deel van de palen zijn niet afgedekt met grond en staan permanent onder water. Een dubbele plankenwand keert de grond tussen de kolkwand en de onderliggende basalt steenkleding.



Figuur 2.4

In 1977 is de fundering van de kolkwanden geïnspecteerd door duikers [1]. In figuur 2.5 zijn de resultaten weergegeven:

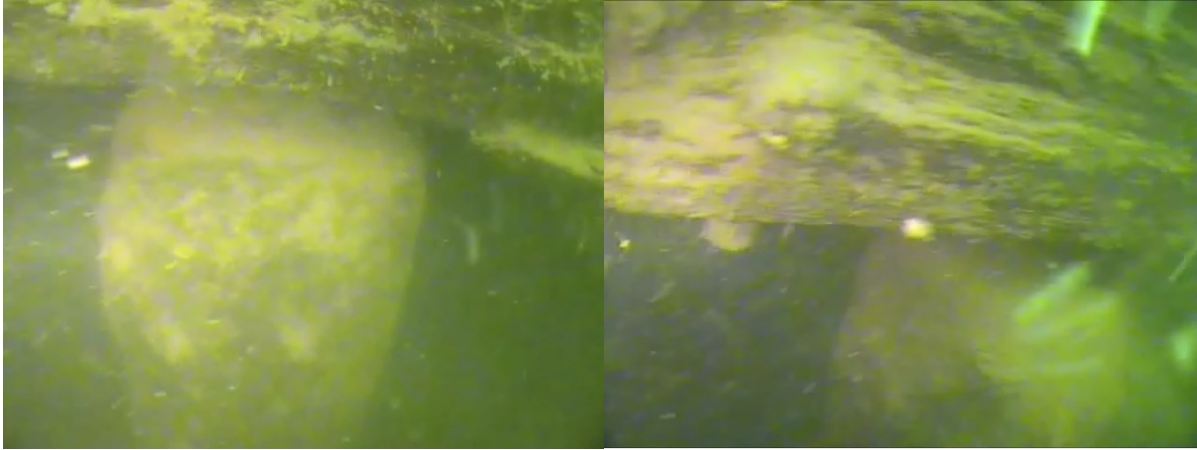
Schutkolk.

- Oostelijke kolkwand
- voorste palenrij van goede kwaliteit
 - achterste palenrij staat over gehele lengte (in verticale zin) ± 4 cm vrij van gording, kwaliteit goed
 - gordingen boven palen redelijk goed
 - in de zuidelijke hoek zijn de verbindingen tussen palen en gordingen ingerot.
- Westelijke kolkwand
- voorste palenrij redelijk goed, hier en daar de koppen ingerot, 1e paal zuid verrot
 - achterste palenrij staat over gehele lengte (in verticale zin) ± 4 cm vrij van gording, kwaliteit goed
 - gordingen van goede kwaliteit.
- Kolkvloer met taluds
- basaltbekleding taluds grotendeels verdwenen
 - op de vloer veel rommel, kwaliteit moeilijk na te gaan.

Figuur 2.5

Op basis van het duikeronderzoek van 1977 kan worden geconcludeerd dat het hout nog in redelijke staat was en dat de basalt steenbekleding grotendeels verdwenen is.

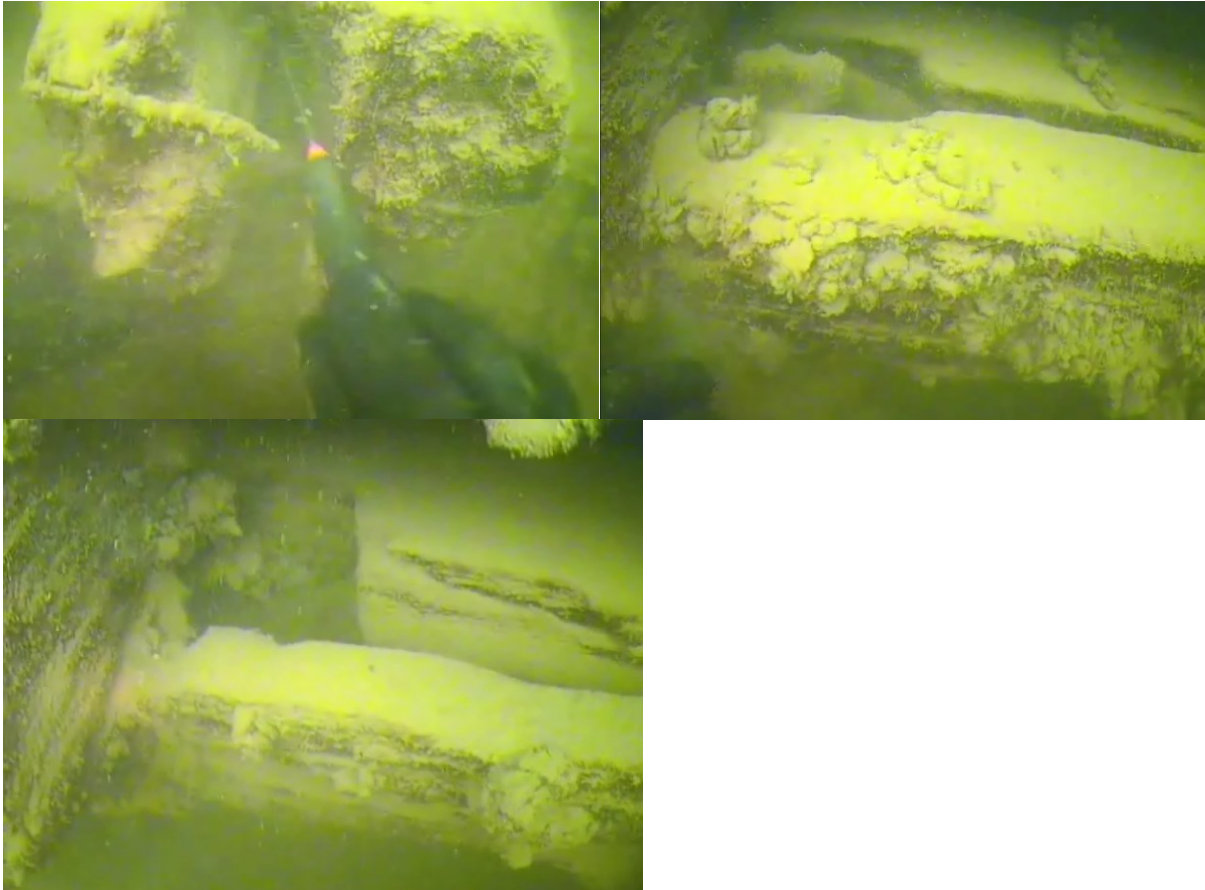
In 2011 is de fundering nog een keer geïnspecteerd door duikers. De beelden waren opgenomen met een videocamera. Hieronder is een impressie te vinden met screenshots van de video met daaronder een toelichting:



Minuut van video 1:59, 5:41 – ruimte tussen kesp en paal



Minuut van video 20:58, 22:20 – paal, kesp, zwalp – verbinding weggerot



Minuut van video 22:47, 25:06, 25:40 – gespleten kessen en zwalpen



26:15, 27:45 – dubbele plankenwand weggerot

Samenvatting van duiker inspectie 2011:

Palen:

- de diameter varieert per paal. In de videorapportage wordt aangegeven dat er palen zijn met een diameter van 20cm;
- conditie varieert van nog in goede staat tot helemaal weggerot.

Kespen en zwalpen:

- conditie varieert van nog in goede staat tot uitelkaar gespleten en/of weggerot.

Aansluiting tussen palen, kespen en zwalpen:

- tussen sommige palen en kespen is ruimte ontstaan. Soms ter grote van een hand (duiker kon zijn hand er tussen steken).

Planken achterwand:

- plankenwand was niet overal te inspecteren omdat deze achter de palen staat. De wand was weggerot waar wel inspectie mogelijk was. Achter de plankenwand is de grond weggespoeld en is holle ruimte aanwezig.

De afgelopen 10 jaar zijn vaak gaten ontstaan in het maaiveld naast de muur. Daardoor zakte de bestrating weg. Vervolgens werd de weggezakte ondergrond aangevuld en herstraat. Oorzaak was dat de grond achter de plankenwand wegspoelt. Begin 2018 zijn de gaten van bovenaf opgevuld met doek, klei en zand. Daarna zijn er geen gaten meer ontstaan in het maaiveld tot dit schrijven.

Conclusie: de conditie van het hout van de fundering van de schutkolk is verslechterd over de periode van 1977 tot 2011.

Conditie op basis van degradatiesnelheden

In de SBRCURnet publicatie 'Binnenstedelijke kademuuren' [2] worden de onderstaande degradatiesnelheden beschikbaar gesteld:

Tabel 1: Degradatiesnelheden van houten paalfunderingen onder constructies

Materiaal	Degradatiesnelheid	Constructie
Hout (vuren)	0,1 mm/jaar	Waterbouwkundige constructies
Hout (grenen)	0,3 mm/jaar	Waterbouwkundige constructies
Hout (vuren)	0,2 mm/jaar	Gebouwen
Hout (grenen)	0,4 mm/jaar	Gebouwen

De sluis is een waterbouwkundige constructie. Het houtsoort is niet bekend, dus wordt uitgegaan van grenen hout. Ook is de diameter van de palen en de dikte van de kwelschermen niet bekend. Voor de palen wordt uitgegaan van een diameter van 15cm wat een gangbare paaldiameter is bij dergelijke historische kunstwerken. Voor de dikte van de kwelschermen kan worden uitgegaan van 10cm. Dat is vrij fors. De plankwand in de fundering van de kolk lijkt enkele centimeters dik te zijn. Bij historische kunstwerken zijn soms ook 4cm dikke kwelschermen toegepast [3^{de} vlronde].

Na 190 jaar zal 5,7cm van de houtwand zijn gedegradeerd. Dat betekent een resterende paaldiameter van $15 - 2 \times 5,7 = 3,6$ cm. De kwelschermen zullen compleet zijn vergaan.

Conclusie standzekerheid van de fundering:

Op basis van de aangetroffen conditie van de naastliggende fundering van de schutkolk en op basis van kengetallen t.a.v. degradatiesnelheid kan worden geconcludeerd dat de fundering van het buitenhoofd voor een groot deel vergaan is. De kwelschermen zullen hun functie geheel verloren zijn.

2.3 Beschrijving keermiddelen

Het buitenhoofd van de schutsluis bevat een stel houten vloeddeuren en een stel houten stormvloeddeuren. In het verleden was er ook een stel ebdeuren aanwezig, maar deze zijn verwijderd. De stormvloeddeuren zijn in 2006 vervangen en de vloeddeuren zijn in 2009 vervangen. De deuren zijn ruim 10m hoog en 8m breed. De bovenkant van de deuren hebben een hoogte van N.A.P. +3,61m.

2.4 Gebruik en bediening

De functie van de sluis is het schutten van scheepvaartverkeer vanaf het kanaal door Voorne naar het Haringvliet en andersom. Het huidige scheepvaartverkeer door de sluis bestaat vooral uit recreatievaartuigen.

De schutdeuren worden bediend vanaf het bedieningsgebouw aan de westzijde van de schutsluis. Door middel van hydraulische cilinders worden de deuren geopend en gesloten. De stormvloeddeuren worden met behulp van een lierconstructie en elektrische motor bediend vanuit het bedieningsgebouw. De deuren kunnen niet met de hand worden bediend.

Vanaf 1 april tot 30 september wordt er gemiddeld 1 keer per uur geschut van 8 uur s 'ochtends tot 9 uur s 'avonds. In de winter wordt er gemiddeld 2 keer per dag geschut. Of en hoe vaak er wordt geschut is afhankelijk van het weer. De bemensing in het bedieningshuis wordt hierop afgestemd. In de zomer draaien twee sluismeesters dienst. In de winter één.

2.5 Ervaring beheerder

De constructie is ondergebracht in het onderhoudsprogramma van de beheerder. Enkele keren per jaar is er een storing in het hydrauliek systeem. Dan wordt een monteur gebeld en duurt het meestal enkele uren tot een halve dag voordat het hydrauliek systeem gerepareerd is. Als het niet lukt om de storing te verhelpen is het mogelijk om de deuren met een kraan dicht te trekken. Daarbij is het wel mogelijk dat er schade ontstaat aan het aandrijfsysteem en is niet met zekerheid te stellen dat de kraan de deuren dicht krijgt, dus alleen in uiterste nood kan dit worden toegepast. Dit wordt niet geoefend dus wordt het ook niet meegenomen als aandrijfsysteem bij de beoordeling. De sluiting van alle keermiddelen via de reguliere manier wordt jaarlijks getest en geïnspecteerd.

2.6 Faalkansbegroting

In Tabel 2-2 is de faalkansbegroting weergegeven voor Scheepvaartsluis Kanaal door Voorne binnen traject 20-4. De volgende lengte-effectfactoren (N_{dsn}) zijn voor de verschillende sporen gehanteerd:

Tabel 2-1 - Gebruikte lengte-effectfactoren

Spoor	N_{dsn}	Verklaring
Hoogte kunstwerk (HTKW)	2	Conform Bijlage III [3] is de N-waarde terug te vinden in de S.H. Grasbekleding [4];
Betrouwbaarheid sluiting (BSKW)	1	Het traject telt 1 kunstwerk waarvan de faalkans niet verwaarloosbaar klein is voor betrouwbaarheid sluiten, zie par. 18.2 van Bijlage III [3] (Scheepvaartsluis Kanaal door Voorne);
Piping bij kunstwerk (PKW)	1	Voor piping wordt geen gebruik gemaakt van een N-waarde;
Sterkte en stabiliteit puntconstructies (STKWp)	3	Zie par. 20.1 Bijlage III [3].

De faalkanseisen voor het kunstwerk zijn volgens onderstaande formule bepaald [3] en weergegeven in Tabel 2-2.

$$P_{eis;dsn} = \frac{\omega P_{eis}}{N_{dsn}}$$

Tabel 2-2 - Faalkansbegroting voor Scheepvaartsluis Kanaal door Voorne binnen traject 20-4

Naam spoor	Bijdrage faalkans	Signaalwaarde (1/1.000)	Ondergrens (1/300)
Kunstwerken - Hoogte kunstwerk (HTKW)	24%	1/8.333	1/2500
Kunstwerken - Betrouwbaarheid sluiting kunstwerk (BSKW)	4%	1/25.000	1/7.5000
Kunstwerken - Piping bij kunstwerk (PKW)	2%	1/50.000*	1/15.000*
Kunstwerken - Sterkte en stabiliteit puntconstructies (STKWp)	2%	1/150.000	1/45.000

*de beoordeling van piping vindt buiten riskeer plaats. Deze beoordeling vindt plaats o.b.v. de waterstand bij de signaalwaarde van het traject (1/1000)

2.7 Toetsoordeel

Per toetsspoor kan het oordeel worden uitgedrukt in categorieën conform Tabel 2-3.

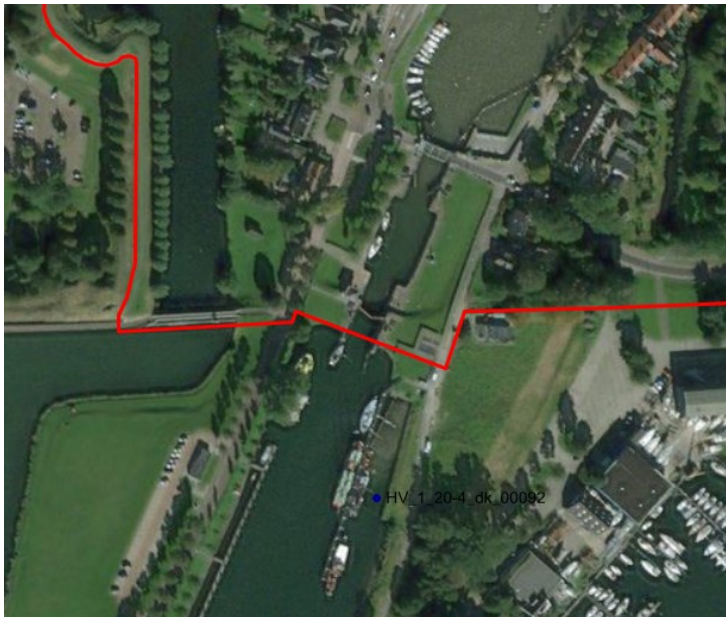
Tabel 2-3 - Categorieën toetsoordeel per kunstwerk per toetsspoor

categorie	oordeel per vak per toetsspoor	begrenzing categorie
I _v	voldoet ruim aan de signaleringswaarde	$P_{f;dsn} < \frac{1}{30} P_{eis;sig;dsn}$
II _v	voldoet aan de signaleringswaarde	$\frac{1}{30} P_{eis;sig;dsn} < P_{f;dsn} < P_{eis;sig;dsn}$
III _v	voldoet aan de ondergrens en mogelijk aan de signaleringswaarde	$P_{eis;sig;dsn} < P_{f;dsn} < P_{eis;sig;dsn}$
IV _v	voldoet mogelijk aan de ondergrens en/of aan de signaleringswaarde	$P_{eis;ond;dsn} < P_{f;dsn} < P_{eis;ond}$
V _v	voldoet niet aan de ondergrens	$P_{eis;ond} < P_{f;dsn} < 30 P_{eis;ond}$
VI _v	voldoet ruim niet aan de ondergrens	$P_{f;dsn} > 30 P_{eis;ond}$

$P_{f;dsn}$	Faalkans per doorsnede [1/jaar]
$P_{eis;sig}$	Signaleringswaarde van het dijktraject [1/jaar]
$P_{eis;ond}$	Ondergrens van het dijktraject [1/jaar]
$P_{eis;sig;dsn}$	Faalkanseis per doorsnede [1/jaar]

2.8 Hydraulische Randvoorwaarden

De gebruikte hydraulische randvoorwaarden zijn verkregen uit Riskeer, hiertoe zijn de gegevens van illustratiepunt HV_1_20-4_dk_00092 gebruikt (zie onderstaande figuur). Dit illustratiepunt is vermeld in de hydraulische dataset WBI2017_Benedenrijn_20-4_v03.



Figuur 2-5 Ligging illustratiepunt HV_1_20-4_dk00092 ten opzichte van de sluis

Als uitgangspunt zijn de hydraulische randvoorwaarden uit de WBI2017 dataset aangehouden (Hs voor signaleringswaarde en ondergrens in Tabel 2-4). De gebruikte gegevens zijn weergegeven in Tabel 2-4. De binnenwaterstand is conform de vigerende legger.

Tabel 2-4 Hydraulische Randvoorwaarden maatgevende situaties

Parameter	Waarde
Toetspeil (signaalwaarde) [NAP+m]	2,81
Toetspeil (ondergrens) [NAP+m]	2,65
Golfhoogte H_s (signaalwaarde) [m]	0,98
Golfhoogte H_s (ondergrens) [m]	0,88
Binnenwaterstand/polderpeil [NAP+m]	-0,40

2.9 Beoordelingsmethodiek

De beoordeling van de 4 faalmechanismen vindt plaats conform de methodes zoals beschreven in de Bijlage III – Sterkte en veiligheid van de Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017 [3] en de Schematiseringshandleidingen voor de kunstwerksporen [5], [6], [7] & [8]. Hiertoe worden onderstaande niveaus van beoordelen in volgorde (van grof naar fijn) doorlopen:

- Eenvoudige toets (beoordeling o.b.v. vastgestelde beslisregels);
- Gedetailleerde toets per vak (beoordeling o.b.v. schematisatie en resultaten uit Riskeer);
- Toets op maat (beoordeling o.b.v. locatie specifieke analyse).

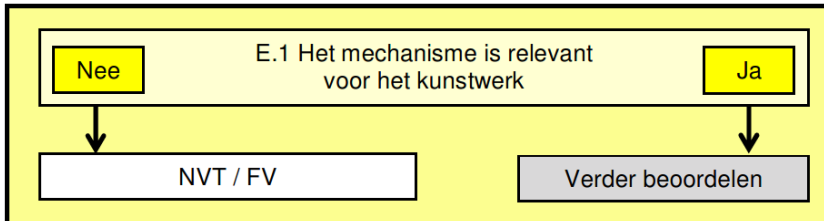
De beoordeling stopt als het oordeel in één van de toetslagen resulteert in het oordeel “voldoende” of indien alle toetslagen zijn doorlopen en het oordeel na de laatste toetslaag als “onvoldoende” is gekenmerkt.

Het spoor Sterkte en Stabiliteit kent geen Eenvoudige toets, bij dit spoor wordt begonnen met de Gedetailleerde toets per vak.

3 Beoordeling Hoogte (HTKW)

3.1 Eenvoudige beoordeling

De eenvoudige toets verloopt volgens het schema zoals vermeldt in Figuur 3-1. In dit schema wordt vastgesteld of het faalmechanisme relevant is voor dit kunstwerk.



Figuur 3-1 Schema eenvoudige toets hoogte kunstwerk (HTKW) [3]

Antwoorden op stappen uit de eenvoudige toets:

E.1) *Antwoord: Ja*; Het kunstwerk verzorgt de kerende hoogte van de waterkering.

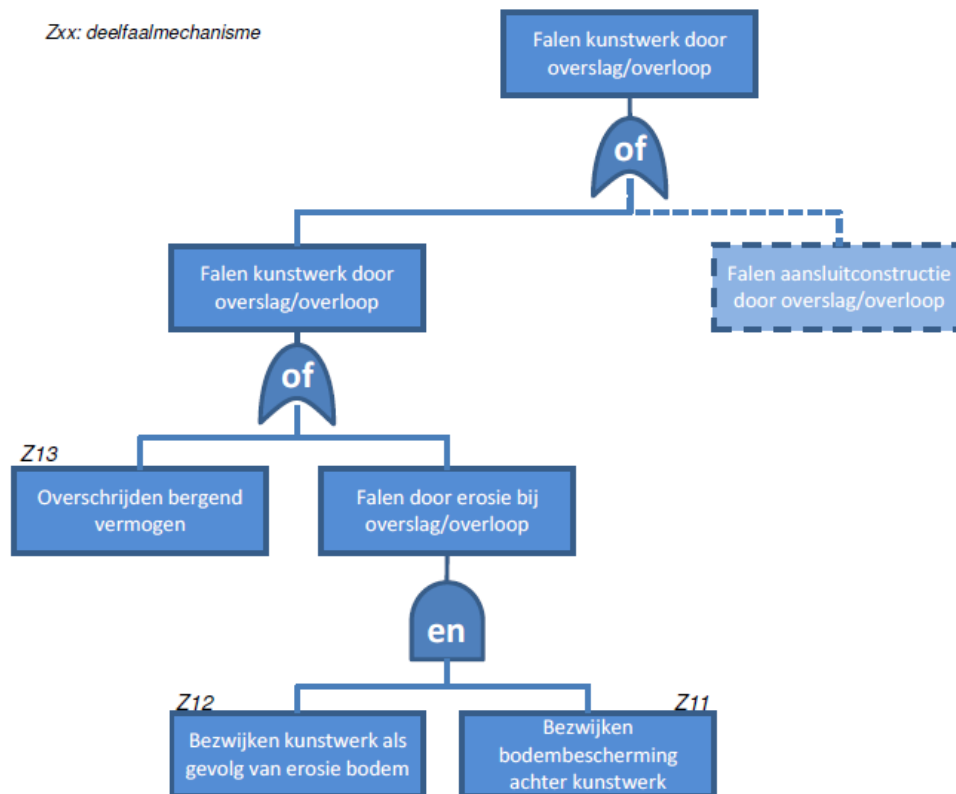
Het mechanisme Hoogte is relevant voor het kunstwerk. Daarom kan geen oordeel worden geveld op basis van de eenvoudige toets. In paragraaf 3.2 wordt overgegaan naar de gedetailleerde toets.

3.2 Gedetailleerde toets per vak

3.2.1 Algemeen

In de gedetailleerde toets hoogte kunstwerk wordt falen gedefinieerd als: het door golfoverslag dan wel overloop over het hoogwaterkerend kunstwerk (gesloten keermiddelen) optreden van significante overstromingsgevolgen in het achterland of het bezwijken van de bodembescherming achter het kunstwerk.

Voor de gedetailleerde toets per vak van hoogte kunstwerk wordt een probabilistische toets met een faalkanseis per kunstwerk uitgevoerd. In Figuur 3-2 is de modellering van het toetspootspoor hoogte in de vorm van een foutenboom weergegeven. De foutenboom geeft aan hoe uit de kansen op de onderscheiden gebeurtenissen kan worden gekomen tot de kans op de topgebeurtenis: de kans op falen van het waterkerend kunstwerk door overslag of overloop.



Figuur 3-2 Foutenboom toetsspoor hoogte kunstwerk (HTKW) [3]

De volgende deelmechanismen worden beoordeeld:

- Z11: Bezwijken van de bodembescherming achter het kunstwerk als gevolg van het overslaande of overlopende water, dat uiteindelijk leidt tot het ontstaan van erosiekuilen.
- Z12: Bezwijken van het kunstwerk (onderuit gaan) als gevolg van ontgrondingskuilen ontstaan na bezwijken bodembescherming. In de gedetailleerde toets per vak wordt aan deze tak een faalkans 1 toegekend.
- Z13: Falen van het kunstwerk als gevolg van onvoldoende waterbergend vermogen in het achterland doordat er te veel water overslaat/overloopt gedurende een hoogwatergolf.

Voor de analyse wordt gebruik gemaakt van de WBI 2017-software.

3.2.2 Invoerparameters Riskeer

Voor het doen van een gedetailleerde toets is gebruik gemaakt van het softwareprogramma Riskeer (versie 17.3.1). De parameters die zijn ingevoerd, zijn het resultaat van het schematisatieproces conform de Schematiseringshandleiding hoogte kunstwerk (SH-HT) [5]. De invoergegeven voor Riskeer zijn weergegeven in Tabel 3-1.

Tabel 3-1 - Invoer voor Riskeer

Symbol	Naam	Stochast	St. afwijking / variantie	Bron
ψ_{kw}	Oriëntatie normaal van het kunstwerk [°]	195	-	-
h_{kr}	Kerende hoogte kunstwerk [NAP+m]	3,61	$\sigma = 0,05$	Zie par. 3.2.3
B_{sv}	Stroomvoerende breedte bodembescherming [m]	14,0	$\sigma = 0,05$	Zie par. 3.2.3
q_c	Kritiek instromend debiet [m ³ /s/m]	0,65	$V_f = 0,15$	Zie par. 3.2.3
B	Breedte doorstroomopening [m]	14,0	$\sigma = 0,05$	Zie par. 3.2.3
$P_{f,kw}$ erosie bodem	Faalkans kunstwerk gegeven erosie bodem [1/jaar]	1	-	Zie par. 3.2.3
A_{kom}	Kombergend oppervlak [m ²]	345.738	$V_f = 0,10$	Zie par. 3.2.3
Δh_{kom}	Toegestane peilverhoging komberging [m]	0,40	$\sigma = 0,10$	Zie par. 3.2.3

3.2.3 Onderbouwing invoer Riskeer

KW HOOGTE1: Oriëntatie normaal kunstwerk t.o.v. het noorden

De oriëntatie van het kunstwerk bedraagt 195 graden ten opzichte van het noorden.

KW HOOGTE2: Kerende hoogte kunstwerk

De bovenkant van de muren van buitenhoofd en het omliggend maaiveld ligt op N.A.P. +3,75m. De hoogte van de bovenkant van de stormvloeddeuren is 14cm lager gelegen dan de muur van het buitenhoofd. De kerende hoogte van het kunstwerk is dus N.A.P. +3,61m.

KW HOOGTE3: Stroomvoerende breedte bodembescherming

De breedte van de bodembescherming is de breedte van de kolk direct achter het buitenhoofd. De bodembescherming is daar 14 meter breed.

KW HOOGTE4: Kritiek instromend debiet

De bodembescherming (vloer van buitenhoofd) is metselwerk op een houten vloer.

Verticale stroming:

Een kritiek debiet van 4,1 m³/s/m is berekend bij een overstortende straal. Omdat bij meer dan 1,0 m³/s/m trillingen kunnen zorgen voor instabiliteit geldt een maximaal debiet van 1,0m³/s/m voor een overstortende straal in deze situatie (SH-tabel 7-4).

Horizontale stroming:

Achter het buitenhoofd in de kolk zal een horizontale stroming aanwezig zijn. Daar is geen bodembescherming aanwezig en is de ondergrond zandig. Bij een ondergrond van fijn zand is de kritieke stroomsnelheid 0,10 m/s (tabel 7-3). Bijbehorende kritiek debiet bij 6,5m waterdiepte is 0,65 m³/s/m wat ook het maatgevend debiet is.

KW HOOGTE5: Breedte doorstroomopening

De doorvaartbreedte in het buitenhoofd is 14m.

KW HOOGTE6: Faalkans kunstwerk gegeven erosie bodem

Is 1,0 conform de SH par 7.4.1.

KW HOOGTE7: Kombergend oppervlak

Achterliggende komberging is het kanaal door Voorne. Oppervlakte hiervan is 345.738 m².

KW HOOGTE8: Toegestane peilverhoging komberging

Vast peil is -0,40 NAP en het toelaatbare peil t.a.v. de boezemwaterkeringen is +/- 0,0 NAP (op basis van eerdere opgetreden waterstanden).

3.2.4 Resultaat gedetailleerd toets per vak

Aan de hand van bovenstaande invoerparameters is met Riskeer de faalkans voor Hoogte bepaald. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 3-2. Uit de resultaten blijkt dat de faalkans voor zowel de ondergrens als de signaalwaarde ruim voldoet aan de faalkanseis (zie ook tabel 2-2).

Tabel 3-2 - Resultaten geavanceerde toets per vak

	Faalkanseis [1/jaar]	Faalkans [1/jaar]
Signaalwaarde	1/ 8.333	1/6,7 x 10 ⁶
Ondergrens	1/ 2.500	1/6,7 x 10 ⁶

3.3 Veiligheidsoordeel

Het oordeel voor het toetspoor Hoogte kunstwerken voor het kunstwerk Scheepvaartsluis Kanaal door Voorne is: "voldoet ruim aan de signaleringswaarde, cat I_v".

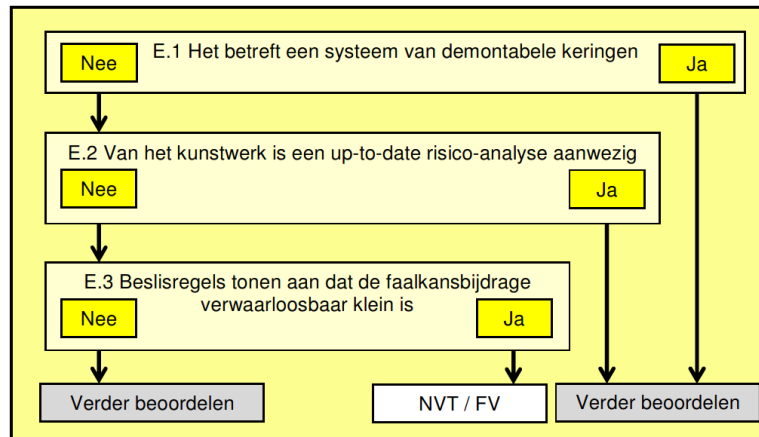
4 Beoordeling Betrouwbaarheid sluiting (BSKW)

4.1 Eenvoudige beoordeling

De eenvoudige toets verloopt volgens het schema zoals vermeldt in Figuur 4-1. In dit schema wordt vastgesteld of het spoor Betrouwbaarheid Sluiten op eenvoudige wijze als "voldoende" kan worden beoordeeld of dat op verdere toetslagen overgegaan dient te worden.

De te doorlopen stappen in de eenvoudige toets zijn:

- de toets op beslisregels (stap E.1 t/m E.2);
- de toets op eenvoudige kenmerken voor specifieke constructietypen (stap E.3).



Figuur 4-1 Schema eenvoudige toets betrouwbaarheid sluiting (BSKW) [3]

Antwoorden op stappen uit de eenvoudige toets:

- E.1) *Antwoord: Nee*; Het kunstwerk betreft geen systeem van demontabele keringen omdat het kunstwerk geen mobiele waterkering betreft die bij naderend hoogwater opgebouwd dient te worden.
- E.2) *Antwoord: Nee*; Er is geen up-to-date risico-analyse aanwezig.
- E.3) *Antwoord: Nee*; Het kunstwerk voldoet aan geen van de beslisregels voor specifieke constructietypen.

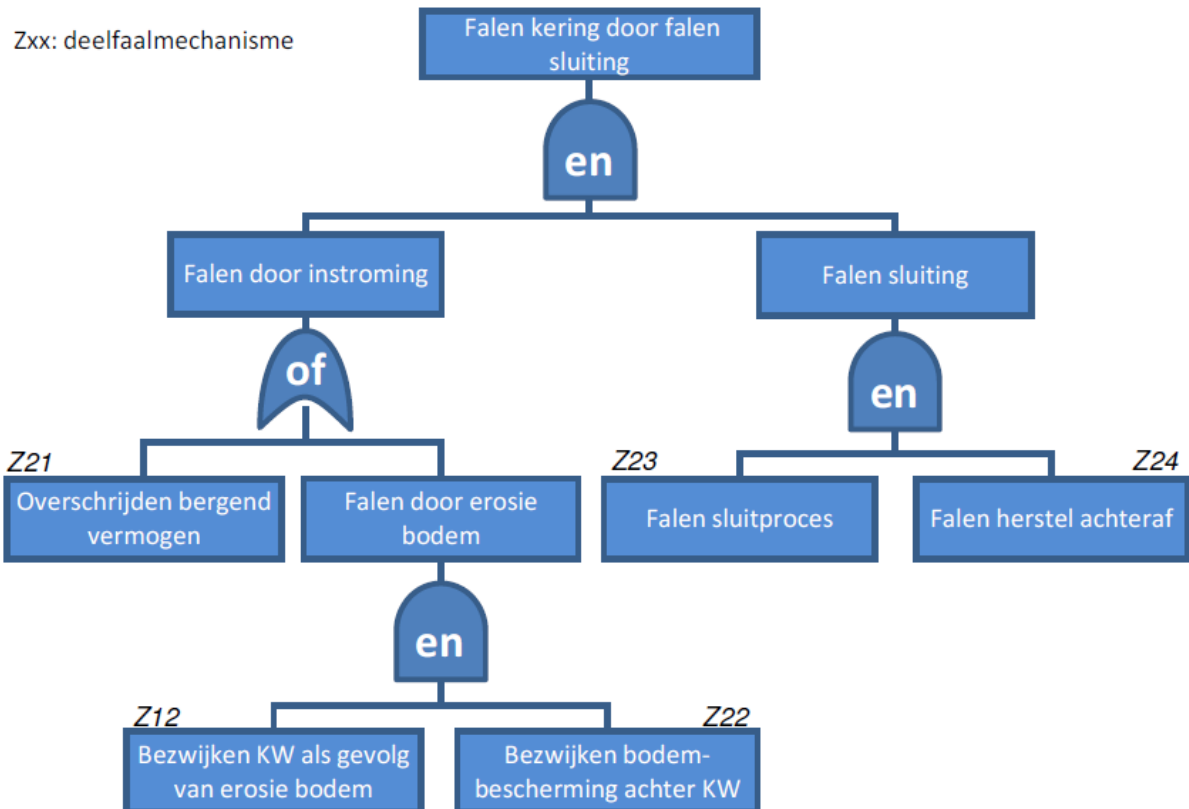
Het kunstwerk voldoet niet aan de toets op beslisregels en kenmerken uit de eenvoudige toets. Daarom wordt overgegaan naar de gedetailleerde toets per vak.

4.2 Gedetailleerde toets per vak

4.2.1 Algemeen

In de gedetailleerde toets betrouwbaarheid sluiting kunstwerk wordt falen gedefinieerd als het moment waarop de kritische stroomsnelheid van de bodembescherming wordt overschreden, danwel het moment waarop er in het achterland significante overstromingsgevolgen optreden als gevolg van het water dat door het niet gesloten kunstwerk gaat.

Voor de gedetailleerde toets van betrouwbaarheid sluiting wordt een probabilistische toets met een faalkanseis per kunstwerk uitgevoerd. In Figuur 18-2 is de modellering van het toetspoor betrouwbaarheid sluiting in de vorm van een foutenboom weergegeven.



Figuur 4-2 - Foutenboom toetspoor betrouwbaarheid sluiting (STBS) [3]

De volgende deelmechanismen worden beoordeeld:

- Z12: Kans dat het kunstwerk als geheel bezwijkt (onderuit gaat) gegeven het feit dat bezwijken van de bodembescherming heeft plaatsgevonden. Heeft betrekking op het eroderen van de onbeschermde bodem, het ontstaan van ontgrondingskuilen en het bezwijken van het kunstwerk na bezwijken bodembescherming. In de gedetailleerde toets wordt aan deze tak een faalkans 1 toegekend.
- Z21: Falen van het kunstwerk als gevolg van onvoldoende waterbergend vermogen in het achterland, doordat er te veel water instroomt gedurende een hoogwatergolf.
- Z22: Bezwijken van de bodembescherming achter het kunstwerk als gevolg van het instromende water.
- Z23 Falen van het sluitproces van de (hoog)waterkerende keermiddelen, waardoor het kunstwerk niet gesloten is.
- Z24: Falen van het herstel van een falende sluiting.

Voor de analyse wordt gebruik gemaakt van de WBI 2017-software.

4.2.2 Invoerparameters Riskeer

Voor het doen van een gedetailleerde toets is gebruik gemaakt van het softwareprogramma Riskeer (versie 17.3.1). De parameters die zijn ingevoerd zijn het resultaat van het schematisatieproces conform de Schematiseringshandleiding betrouwbaarheid sluiting (SH-BS) [6]. De invoergegeven voor Riskeer zijn weergegeven in Tabel 3-1.

Tabel 4-1 - Invoer voor Riskeer

Symbool	Naam	Stochast	St. afwijking / variantie	Bron
A_{kom}	Kombergend oppervlak [m ²]	345.738	$V_r = 0,10$	Zie par. 3.2.3
Δh_{kom}	Toegestane peilverhoging komberging [m]	0,40	$\sigma = 0,10$	Zie par. 3.2.3
ψ_{kw}	Oriëntatie normaal van het kunstwerk [°]	195	-	-
B	Breedte doorstroomopening [m]	14,0	$\sigma = 0,05$	Zie par. 3.2.3
h_{kr,NS}	Kerende hoogte bij niet hoogwatergesloten zijn van kunstwerk [NAP+m]	1,60	$\sigma = 0,05$	Zie par. 4.2.3
h_{bi}	Binnenwaterstand [NAP+m]	-0,40	$\sigma = 0,10$	Zie par. 3.2.3
h_{dr}	Drempelhoogte niet gesloten kering (NAP+m)	-6,50	$\sigma = 0,10$	Zie par. 4.2.3
A	Doorstroomoppervlak doorstroomopeningen [m ²]	nvt	$\sigma = 0,01$	Zie par. 3.2.3
q_c	Kritiek instromend debiet [m ³ /s/m]	0,65	$V_r = 0,15$	Zie par. 3.2.3
B_{sv}	Stroomvoerende breedte bodembescherming [m]	14,0	$\sigma = 0,05$	Zie par. 3.2.3
P_{open}	Kans op open staan bij naderend hoogwater [1/jaar]	1/114	-	Zie par. 3.2.3
P_{ns}	Faalkans sluiting geopend kunstwerk [1/jaar]	1/90	-	Zie par. 3.2.3
n	Aantal identieke doorstroomopeningen [-]	1,0	-	Zie par. 3.2.3
P_{f,herstel}	Faalkans herstel van gefaalde situatie [1/jaar]	1,0	-	Zie par. 3.2.3
	Instroommodel	Verticale wand		Zie par. 3.2.3

4.2.3 Onderbouwing invoer Riskeer

KW BETSLUIT1: Kombergend oppervlak

Achterliggende komberging is het kanaal door Voorne. Oppervlakte hiervan is 345.738 m².

KW BETSLUIT2: Toegestane peilverhoging komberging

Vast peil is -0,40 NAP en het toelaatbare peil t.a.v. de boezemwaterkeringen is +/- 0,0 NAP (op basis van eerdere opgetreden waterstanden).

KW BETSLUIT3: Oriëntatie normaal kunstwerk t.o.v. het noorden

De oriëntatie van het kunstwerk bedraagt 195 graden ten opzichte van het noorden.

KW BETSLUIT4: Breedte doorstroomopening

De doorvaartbreedte in het buitenhoofd is 14m.

KW BETSLUIT5: Kerende hoogte bij niet hoogwatergesloten zijn van kunstwerk Binnenwaterstand

Hoogte van de bovenkant van de vloeddeuren in het binnenhoofd. Bij het schutten zijn deze altijd dicht als de deuren in het buitenhoofd open staan.

KW BETSLUIT6: Binnenwaterstand

De binnenwaterstand is N.A.P. -0,40m.

KW BETSLUIT7: Drempelhoogte niet gesloten kering of hoogte onderkant wand/drempel

De bodem van doorvaartopening in buitenhoofd.

KW BETSLUIT8: Doorstroomoppervlak doorstroomopeningen

Is niet van toepassing bij instroommodel Verticale wand conform SH par 7.3.7.

KW BETSLUIT9: Kritiek instromend debiet

De bodembescherming (vloer van buitenhoofd) is metselwerk op een houten vloer.

Verticale stroming:

Een kritiek debiet van 4,1 m³/s/m is berekend bij een overstortende straal. Omdat bij meer dan 1,0 m³/s/m trillingen kunnen zorgen voor instabiliteit geldt een maximaal debiet van 1,0m³/s/m voor een overstortende straal in deze situatie (SH-tabel 7-4).

Horizontale stroming:

Achter het buitenhoofd in de kolk zal een horizontale stroming aanwezig zijn. Daar is geen bodembescherming aanwezig en is de ondergrond zandig. Bij een ondergrond van fijn zand is de kritieke stroomsnelheid 0,10 m/s (tabel 7-3). Bijbehorende kritiek debiet bij 6,5m waterdiepte is 0,65 m³/s/m wat ook het maatgevend debiet is.

KW BETSLUIT10: Stroomvoerende breedte bodembescherming

De breedte van de bodembescherming is de breedte van de kolk direct achter het buitenhoofd. De bodembescherming is daar 14 meter breed.

KW BETSLUIT11: Kans op open staan bij naderend hoogwater

Uitgangspunten op basis van gesprek met sluismeester:

Open seizoen

- 13 keer per dag open voor 15 minuten per keer
- Reparatie tijd – 1/2 dag

Gesloten seizoen

- 2 keer per dag open voor 15 minuten per keer
- Reparatie tijd – 1/2 dag

10% van de hoogwaters vindt plaats in open seizoen conform schematiseringshandleiding par 7.5.1, pag. 78.

KW BETSLUIT12: Faalkans sluiting geopend kunstwerk

De faalkans is bepaald met de Werkwijze bepalen kans op niet sluiten per sluitvraag met scoretabellen [9] conform de schematiseringshandleiding. De sluis is niet handmatig te sluiten. Dit heeft grote invloed op het resultaat omdat er daardoor ook geen tweede aandrijfsysteem is en omdat het tweede keermiddel niet onafhankelijk van het eerste keermiddel te sluiten is. Beide keermiddelen zijn afhankelijk van het elektriciteitsnet.

KW BETSLUIT13: Aantal identieke doorstroomopeningen

Er is één doorvaartopening en dit is de enige doorstroom opening.

KW BETSLUIT14: Faalkans herstel van gefaalde situatie

Conform schematiseringshandleiding par 7.6.1 is de standaardwaarde voor de parameter '1,0'. Dit impliceert dat een herstel poging van het reguliere sluitproces altijd faalt. Dit is een realistische benadering omdat de doorvaartopening dusdanig diep en breed is dat deze zeer moeilijk dicht te krijgen is bij naderend hoogwater.

KW BETSLUIT15: Instroommodel kunstwerk

Verticale wand conform schematiseringshandleiding par 7.3.7.

4.2.4 Resultaat gedetailleerd toets per vak

Aan de hand van bovenstaande invoerparameters is met Riskeer de faalkans voor betrouwbaarheid sluiting bepaald. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 3-2. Uit de resultaten blijkt dat het kunstwerk voldoet aan de faalkanseisen van beide de signaleringswaarde als de ondergrenswaarde. (zie ook tabel 2-2).

Tabel 4-2 - Resultaten geavanceerde toets per vak

	Faalkanseis [1/jaar]	Faalkans [1/jaar]
Signaalwaarde	1/25.000	1/30.602
Ondergrens	1/7.5000	1/30.602

De sluis heeft een relatief hoge faalkans bij dit toetspoor omdat de sluisdeuren niet handmatig te sluiten zijn. Als de sluis wel handmatig te sluiten is dan wordt een faalkans van 1/203.205 berekend. In par. 7.3 is deze aanpassing opgenomen als aanbeveling.

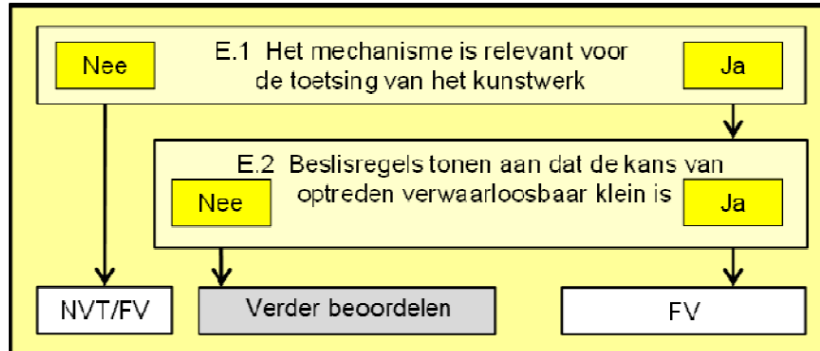
4.3 Veiligheidsoordeel

Het oordeel voor het toetspoor Betrouwbaarheid sluiting voor het kunstwerk Scheepvaartsluis Kanaal door Voorne is: "voldoet aan de signaleringswaarde, cat II_v".

5 Piping (PKW)

5.1 Eenvoudige beoordeling

De eenvoudige toets verloopt volgens het schema zoals vermeldt Figuur 5-1. In dit schema wordt vastgesteld of het spoor Piping bij kunstwerken op eenvoudige wijze als "voldoende" kan worden beoordeeld of dat op verdere toetslagen overgegaan dient te worden.



Figuur 5-1 - Schema eenvoudige toets bij piping bij kunstwerk (PKW) [3]

Antwoorden op stappen uit de eenvoudige toets:

- E.1) Antwoord: Ja; Het kunstwerk heeft geen filter en een leidingdiameter die groter is dan 0,50m.
- E.2) Als aan tenminste één van beslisregels wordt voldaan, dan is de kans van optreden van piping verwaarloosbaar klein.
Antwoord: Nee, op basis van de gebruikte gegevens is niet vast te stellen of het kunstwerk voldoet aan een van de beslisregels zoals deze zijn opgenomen in de schematisatiehandleiding [3]

Op basis van de eenvoudige toets kan geen oordeel worden geveld voor het mechanisme piping bij dit kunstwerk. Daarom wordt in paragraaf 5.2 overgegaan naar de gedetailleerde toets.

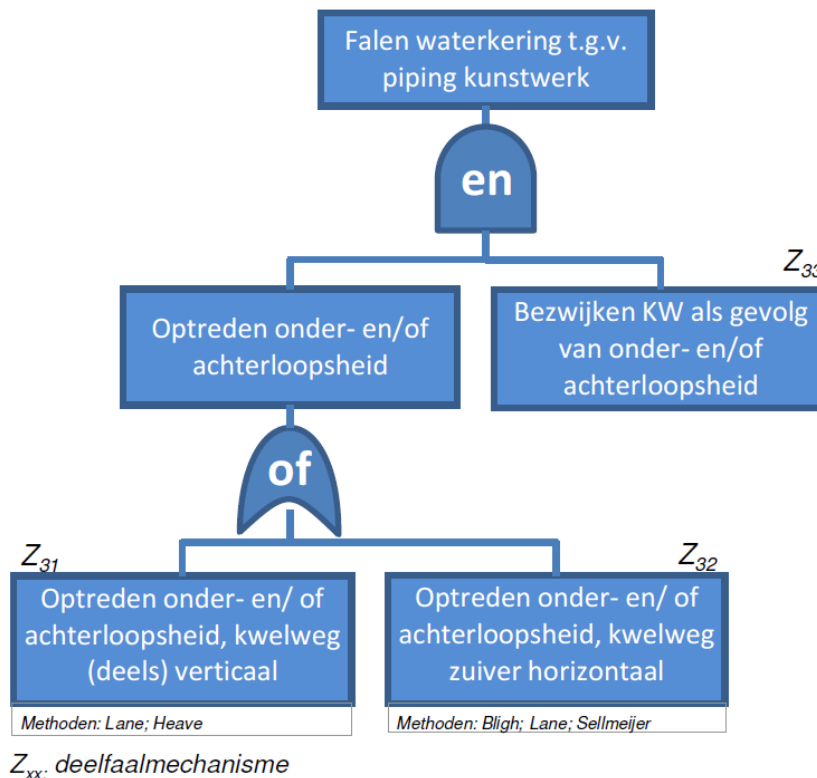
5.2 Gedetailleerde toets per vak

5.2.1 Algemeen

In de gedetailleerde toets piping bij kunstwerken wordt falen door onder- of achterloopsheid gedefinieerd als het overschrijden van het kritieke verval over het kunstwerk.

Het kritieke verval is het verval waarbij de terugschrijdende erosie nog net stopt. De terugschrijdende erosie is het aan de benedenstroomse zijde van het kunstwerk uitspoelen van gronddeeltjes ten gevolge van een geconcentreerde kwelstroom.

De foutenboom voor de toets van Piping is weergegeven in Figuur 5-2. Het kunstwerk faalt op het mechanisme piping als het volledige kunstwerk onderuit gaat ten gevolge van onder- en/of achterloopsheid (Z33). Onderloopsheid vindt plaats indien zich een kwelweg onder de constructie vormt (met horizontale en/of verticale componenten) en het kritieke verval overschreden wordt (Z31). Achterloopsheid vindt plaats indien zich een kwelweg langs de constructie vormt (met uitsluitend horizontale componenten) en het kritieke verval overschreden wordt (Z32).



Figuur 5-2 – Foutenboom voor het mechanisme onder- en achterloopsheid [3]

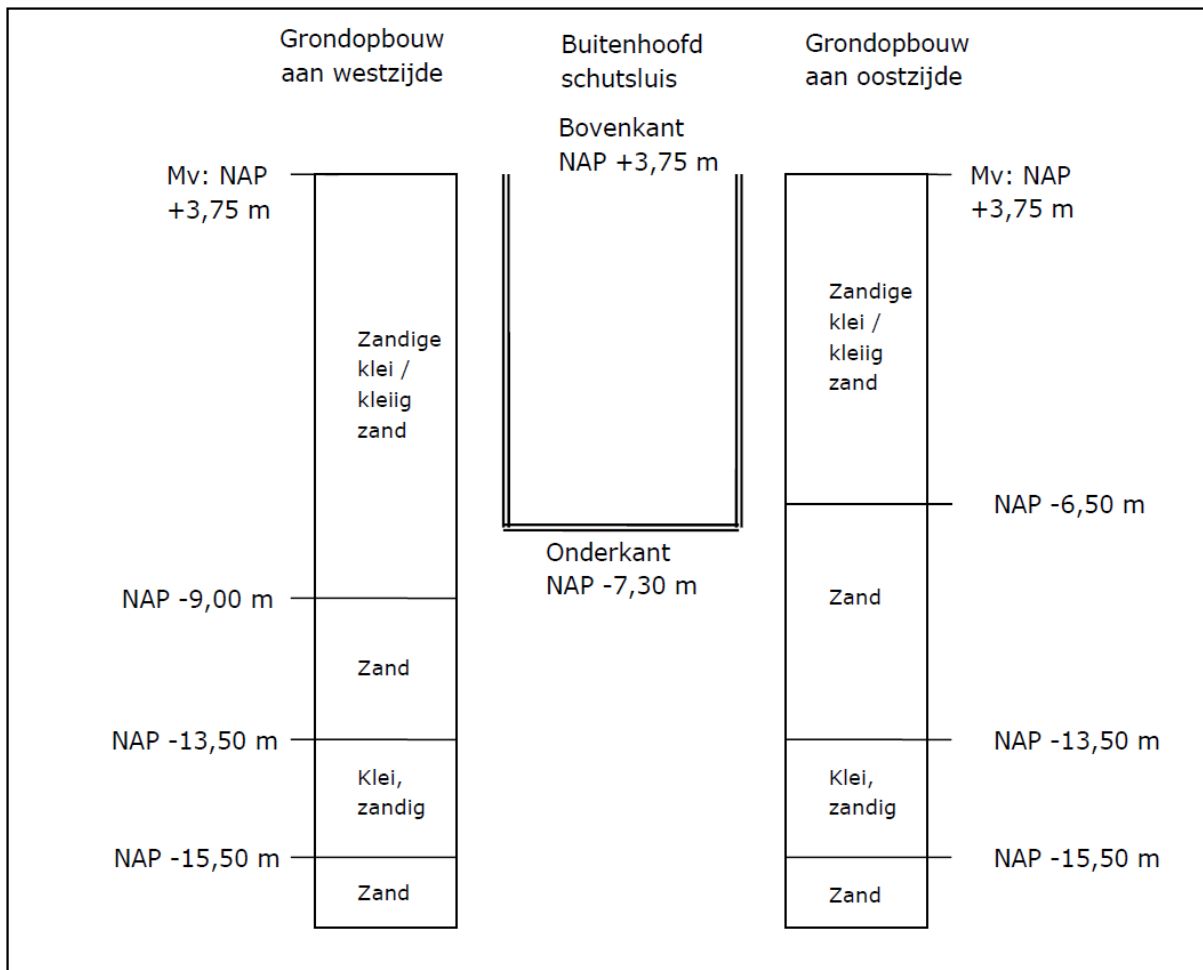
De gedetailleerde toets voor Piping vindt plaats buiten Riskeer. Voor de beoordeling van piping bij kunstwerken zijn de volgende methoden gebruikt [7]:

- Onderloopsheid: methode van Lane;
- Achterloopsheid: methode van Bligh.

5.2.2 Grondopbouw

De grondopbouw is bepaald aan de hand van boringen en sonderingen uit de DINO-database in de buurt van de schutsluis en aan de hand van sonderingen en handboringen die tijdens de 3^{de} verlengde toetsronde [10] direct naast de schutsluis zijn uitgevoerd. Er kan onderscheid gemaakt worden in de bodemopbouw direct naast de schutsluis en de bodemopbouw op enige afstand van de schutsluis. Uit sonderingen en handboringen direct naast de schutsluis blijkt dat er naast de schutsluis hoofdzakelijk zandige klei of kleilig zand aanwezig is. Op enige afstand van de schutsluis kunnen meerdere lagen worden onderscheiden. Zeer waarschijnlijk is tijdens de bouw van de schutsluis een bouwkuip gegraven, die grotendeels is aangevuld met zandige klei en kleilig zand.

Een schematische weergave van de grondopbouw is weergegeven in figuur 5-3. Op basis van de sonderingen die zijn verricht bevindt zich aan de westzijde van de schutsluis direct onder de vloer van de schutsluis een (zandige) kleilaag met een dikte van ca. 2 m. Aan de oostzijde bevindt zich onder de vloer een zandlaag met een dikte van ca. 6-7 m. Uit een boring op een afstand van ca. 50 m vanaf de oostzijde van het buitenhoofd van de schutsluis blijkt dat de kleilaag overgaat in een zandlaag op een diepte van ca. NAP -7,7 m. Uit een sondering op een afstand van ca. 20 m vanaf de westzijde het buitenhoofd van de schutsluis blijkt dat op een diepte van ca. NAP -8,50 de kleilaag overgaat in een zandlaag. Dit wijst er ook op dat er een verschil is in de diepte van de zandlaag tussen de oost- en westzijde van de schutsluis.



Figuur 5-3 – schematische weergave bodemopbouw bij schutsluis

5.2.3 Maatgevende verval

De maatgevende waterstand behorend bij de signaleringswaarde is N.A.P. +2,81m en bij de ondergrenswaarde N.A.P. +2,65m. Het binnenpeil is N.A.P. -0,4m. Dit resulteert in een ΔH van 3,21m bij de signaleringswaarde en 3,05m bij de ondergrenswaarde.

5.2.4 Onderloopsheid

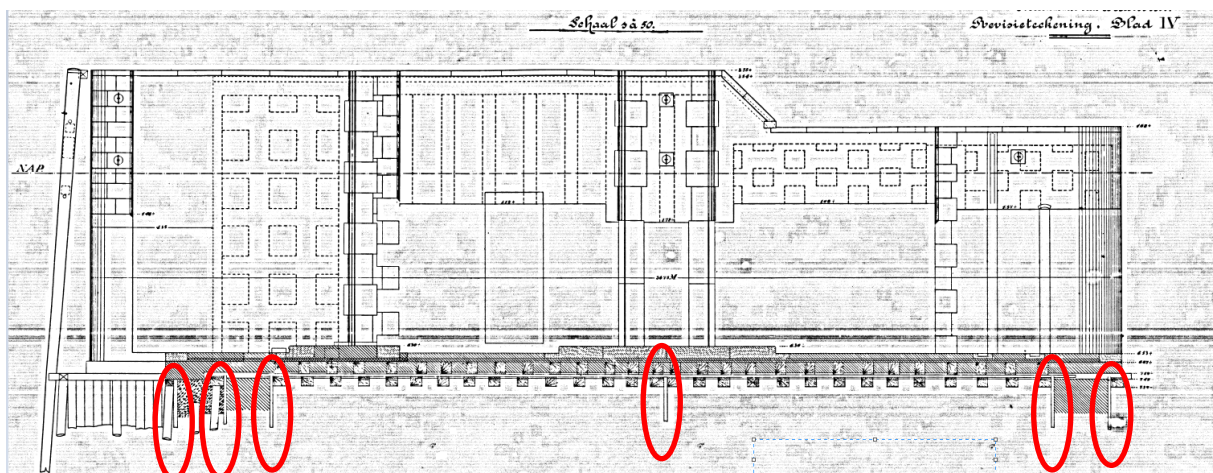
Bij de beoordeling wordt uitgegaan van een intredepunt bij de vloer aan de buitenkant van het buitenhoofd. Volgens het duikeronderzoek uitgevoerd in 1977 [1] is er een stortebed aanwezig. Het stortebed zal niet zanddicht zijn aangezien geotextiel nog niet bestond in 1830 of 1900. Er wordt uitgegaan van een uittredepunt op de locatie waar de vloer eindigt bij de kolk aan de binnenkant van het buitenhoofd. Er is geen vloer of filterconstructie aanwezig in de kolk.

Scheepvaartsluis Kanaal door Voorne heeft zes onderloopsheidschermen. Deze schermen zijn weergegeven in figuur 5-4. Zoals beschreven in par 2.2.2 kan ervan uit worden gegaan dat de schermen zijn vergaan. Het is ook niet met zekerheid te stellen dat de houten vloer van het buitenhoofd nog in functionele staat is. Ten behoeve van deze berekening wordt aangenomen dat de vloer nog in functionele staat is omdat er tijdens dagelijkse omstandigheden geen indicatie is dat er een pijp aanwezig is. De houten vloer staat op palen. Dat wordt zo meegenomen in de berekening voor de horizontale kwelweglengte. Bij de buitenkant en binnenkant van het buitenhoofd is metselwerk zichtbaar tot ongeveer 2m onder de vloer (zie bijlage I). Dit wordt meegenomen voor de verticale kwelweglengte.

De benodigde kwelweglengte voor onderloopsheid wordt berekend met de empirische rekenregel van Lane. Op basis van een boring uit de DINO-database [10] blijkt dat de zandlaag onder de vloerconstructie uit zeer fijn zand bestaat. Daarom wordt een Creepfactor van 8,5 gehanteerd. Bij

deze uitgangspunten wordt een kritisch verval van 0,9m berekend. Volgens de waternormalen tabellen komt 1x per jaar een waterstand van N.A.P. +1,45m voor. In 2013 is er een waterstand opgetreden van N.A.P. +1,9m. Bij een binnenwaterstand in de kolk van -0,4m zou er dan een verval van 2,3m zijn geweest. Het is niet duidelijk of het peil in de kolk toen hoger stond. Omdat het niet duidelijk is wat het peil in de kolk is tijdens hoog buitenwater kan dit ook niet meegenomen worden in de uitgangspunten. De hoogte van de bovenkant van de binnenvloeddeuren is N.A.P. +1,60m. Bij een volledig opgezet kolkpeil zou er in 2013 een verval aanwezig zijn geweest van 0,3m. Op basis van de bewezen sterkte kan daarom niet geconcludeerd worden dat er geen onderloopsheid plaatsvindt bij een verval groter dan 0,9m. Ook is de oorzaak van het eventuele hogere binnenpeil in de kolk moeilijk te achterhalen. Lekkende deuren of onder/achterloopsheid kan een verhoogd binnenpeil in de kolk veroorzaken. Het eventuele extra water kan worden weg gepompt door de kolkpompen.

Daarom wordt gerekend met een verval behorend bij het standaard binnenpeil en de signaleringswaarde en de ondergrenswaarde van $\Delta H=3,21\text{m}$ en $3,05\text{m}$. Bij dit verval voldoet het kunstwerk niet aan het criterium $\Delta H \leq \Delta H_c$ voor achterloopsheid.



Figuur 5-4– Locatie onderloopschermen (zie ook bijlage I)

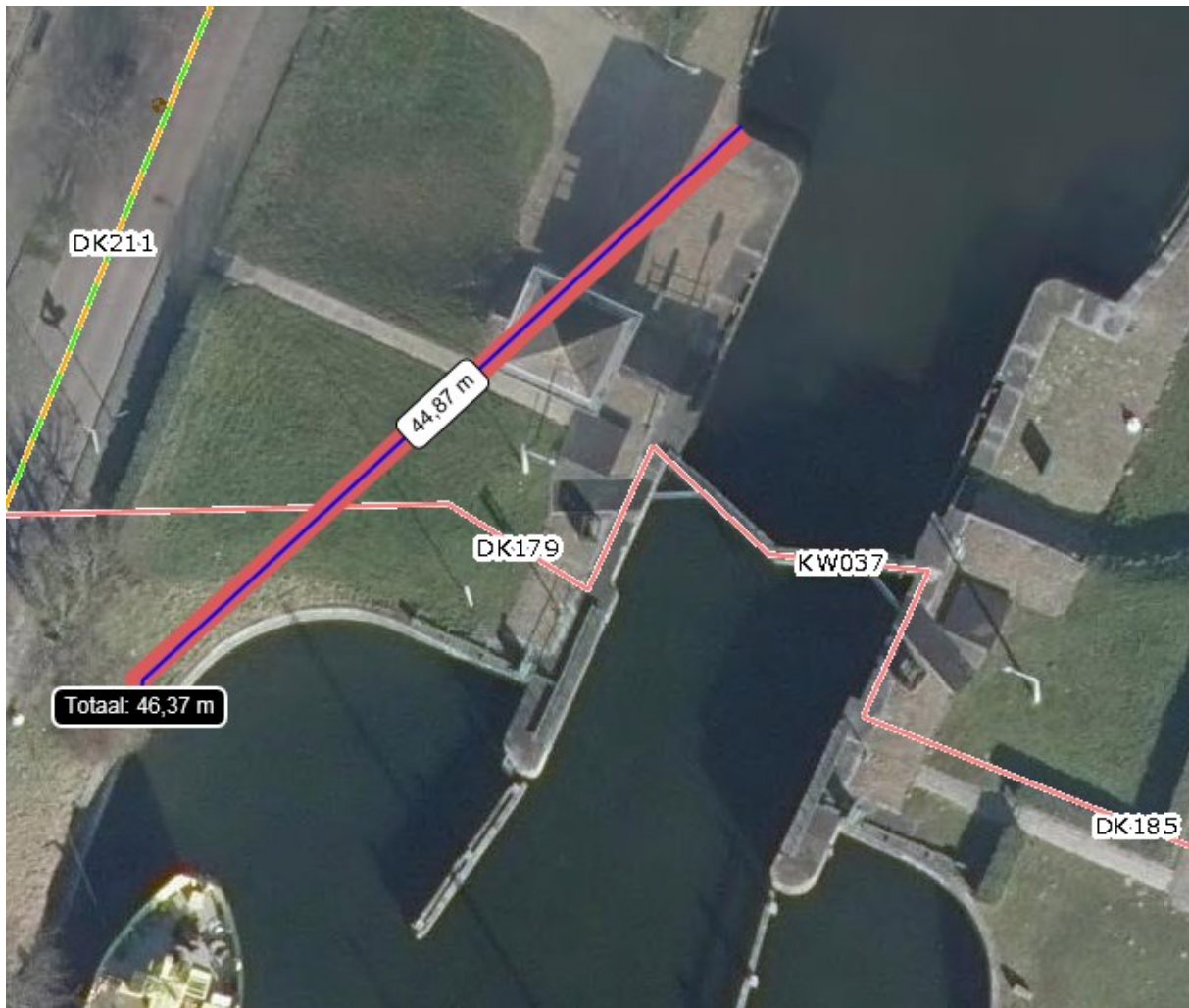
De tekeningen van het kunstwerk zijn ook opgenomen in Bijlage I. De berekening van het kritieke verval volgens de methode van Lane is opgenomen in Bijlage II.

5.2.5 Achterloopsheid

Voor de bepaling van de maatgevende kwelweglengte voor achterloopsheid is het van belang te weten wat de in- en uittreepunten zijn.

Voor het uittreepunt wordt uitgegaan van de binnendijkse zijde van het buitenhoofd. De plankenwand onder de fundering in de kolk is vergaan waardoor het zand onder de kolkwand en het naastgelegen terrein weg spoelt (zie ook par 2.2.2). De kolkwand is hooggefundeerd, waardoor er een uittreepunt onder de wand kan ontstaan.

De locatie van het intreepunt hangt af van het wel of niet meenemen van de vleugelwanden. Als deze niet wordt meegenomen bedraagt de kwelweglengte voor achterloopsheid circa 33 m. De hoogte van de vleugelwanden verloopt van N.A.P. +3,75m naar +1,50m. Als het intredepunt wordt gekozen op de locatie waar de vleugelwanden onder het toetspeil uitkomt bedraagt de kwelweglengte ca 36m. Als het intredepunt wordt gekozen bij het einde van de vleugelwanden bedraagt de kwelweglengte circa 46 m. Het wel- of niet meenemen van de vleugelwanden hangt af van de aanlegdiepte van de vleugelwanden. Dit is niet bekend. Als de vleugelwanden niet over de volledige diepte van de wand van het buitenhoofd aanwezig is, kan achterloopsheid optreden door stroming onder de vleugelwand door. De vleugelwanden zijn aangelegd in het verlengde van het metselwerk dat is aangelegd tot ca 2m onder de fundering. Er wordt aangenomen dat het metselwerk ter plaatse van de vleugelwanden tot hetzelfde niveau is aangelegd als onder het buitenhoofd. Voor de berekening wordt aangenomen dat de kwelweg om de gehele vleugelwand plaatsvindt. Dit geeft de langste kwelweglengte van 46m.



Figuur 5-5 – kortste kwelweglengte achterloopsheid

De benodigde kwelweglengte wordt berekend met de empirische rekenregel van Bligh conform de SH [7]. Omdat uit handboringen [10] blijkt dat er overwegend zeer fijn zand aanwezig is, wordt er een Creep-factor van 18 gehanteerd.

Uit de berekening blijkt dat op basis van bovenstaande gegevens het kritieke verval $\Delta H_c = 2,56\text{m}$ is. Het optredende verval behorend bij de signaleringswaarde en ondergrens is ΔH respectievelijk 3,21m en 3,05m. Het kunstwerk voldoet dus niet aan het criterium $\Delta H \leq \Delta H_c$ voor achterloopsheid.

De berekening van het kritieke verval volgens de methode van Bligh is opgenomen in Bijlage II.

5.3 Veiligheidsoordeel

Het kritieke verval volgens de methode van Lane (onderloopsheid) en Bligh (achterloopsheid) is kleiner dan het optredend verval behorend bij de signaleringswaarde en ondergrens. Het kunstwerk voldoet niet aan de betreffende eisen ten aanzien van piping. Conform de assemblagetool is het oordeel voor het toetspoor Piping van het kunstwerk Scheepvaartsluis Kanaal door Voorne: "voldoet niet aan de ondergrens, cat V_v".

6 Beoordeling Sterkte en stabiliteit (STKW)

6.1 Gedetailleerde toets per vak

Voor dit toetsspoor zijn geen voorschriften beschikbaar voor de eenvoudige toets. Omdat de fundering van de sluis in zeer slechte staat is kan de stabiliteit niet meer rekentechnisch worden bepaald. Daarom wordt een gedetailleerde toets op sterkte en stabiliteit van de keermiddelen niet als een zinvolle toets beschouwd en is in een toets op maat de beoordeling op sterkte en stabiliteit uitgevoerd.

6.2 Toets op maat

Tijdens de stormvloed van 1953 heeft de sluis waterstanden gekeerd tot de bovenkant van de sluisdeuren in het buitenhoofd. De bovenkant van de sluisdeur is gelegen op N.A.P. +3,61m. Het toetspeil is op deze locatie N.A.P. +2,81m (zie tabel 2-4). Geconcludeerd kan worden dat het ontwerp voldoet op basis van bewezen sterkte. Voor deze beoordeling moet de onderhoudsstaat van het kunstwerk worden bepaald. Er kan worden bepaald dat het kunstwerk voldoet op basis van bewezen sterkte als het kunstwerk in dezelfde staat is als in 1953. In par 2.2.2 is de standzekerheid beschreven en is geconcludeerd dat de fundering van de sluis grotendeels vergaan is. Ook is beschreven dat de onderhoudsstaat verslechterd is in de periode van 1977 tot 2011.

Op basis van de foutenboom voor de gedetailleerde toets van Sterkte en Stabiliteit wordt het kunstwerk verder beoordeeld. Daarmee wordt het kunstwerk in algemene zin op dezelfde manier beoordeeld als in de gedetailleerde toets.

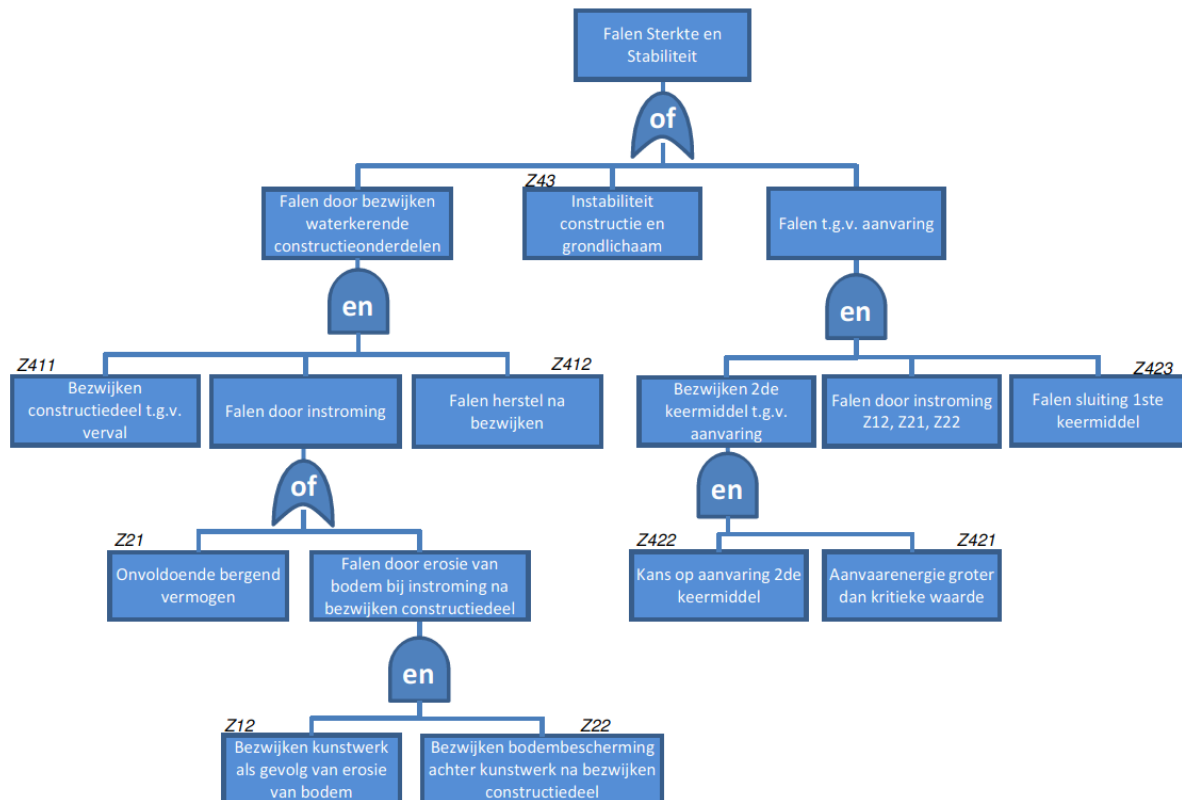
6.2.1 Algemeen

In de gedetailleerde toets Sterkte en Stabiliteit (puntconstructie) wordt falen gedefinieerd op het moment als één van onderstaande situaties optreedt;

- het moment waarop de kritische stroomsnelheid van de binnendijkse bodembescherming wordt overschreden;
- het moment dat er in het achterland significante overstromingsgevolgen optreden als gevolg van stroming via het bezwaken kunstwerk.

De foutenboom voor de toets van Sterkte en Stabiliteit is weergegeven in Figuur 6-1. Falen van het kunstwerk treedt op als gevolg van het bezwijken van constructieonderdelen (tijdens een hoogwatersituatie) waarbij water van buiten naar binnen kan stromen. Dit treedt op als één van onderstaande de situaties zich voordoet:

- Waterkerende constructieonderdelen falen (Z411, Z412, Z21, Z12 & Z22);
- Het kunstwerk en het grondlichaam zijn instabiel tijdens hoogwater (Z43);
- Het kunstwerk faalt door aanvaring met een schip waardoor water naar binnen stroomt en de komberging overschreden wordt of de bodembescherming faalt (Z423, Z422 & Z421).



Figuur 6-1 - Foutenboom toetspoot Sterkte en Stabiliteit puntconstructie (STKW) [3]

6.2.2 Beoordeling toets op maat

Per situatie wordt beoordeeld of een overstroming plaats kan vinden:

- Waterkerende constructieonderdelen falen (Z411, Z412, Z21, Z12 & Z22);
 - De sluisdeuren zijn beoordeeld op sterkte in de 3^{de} toetsronde en goedgekeurd.
 - De bodembescherming in het binnenhoofd bestaat uit een houten vloer met metselwerk erop. Gezien de 6,5m waterdiepte in de kolk speelt de bodembescherming een beperkte rol en is niet verder beoordeeld.
- Het kunstwerk en het grondlichaam zijn instabiel tijdens hoogwater (Z43);
 - Horizontale stabiliteit
 - De stabiliteit van de gemetselde muren is berekend tijdens de 3^{de} verlengde toetsronde. Op basis van de berekening zijn de muren afgekeurd op stabiliteit.
 - Het draagvermogen van de paalfundering is beoordeeld tijdens de 3^{de} verlengde toetsronde en afgekeurd omdat er niet voldoende informatie bekend was van de fundering zoals de afmetingen van de palen en de paal afstand. Bovendien is op basis van de duikinspectie in 2011 vastgesteld dat de fundering voor een groot deel vergaan is. (zie par. 2.2.2).
 - Verticale stabiliteit
 - Opdrijven vloer – uitgangspunt is dat het houtwerk van de vloer voor een groot deel vergaan is. Dit uitgangspunt wordt onderbouwd in par. 2.2.2. Omdat er geen sterkte kan worden toegekend aan de vloer zal deze opdrijven bij een maatgevend hoog water situatie.
 - Kantelinstabiliteit – bij langere constructies zoals schutsluizen speelt dit geen rol
- Het kunstwerk faalt door aanvaring met een schip waardoor water naar binnen stroomt en de komberging overschreden wordt of de bodembescherming faalt (Z423, Z422 & Z421).
 - Aanvaren van het keermiddel is niet maatgevend bij dit kunstwerk. Daarom is falen door aanvaring niet beoordeeld bij dit kunstwerk.

In de schematiseringshandleiding sterkte en stabiliteit wordt beschreven dat het maatgevend onderdeel moet worden bepaald in de constructie. Daarna wordt dit maatgevend onderdeel doorgerekend om te bepalen of de constructie sterk genoeg is. Het maatgevend onderdeel bij scheepvaartsluis Kanaal door Voorne is de houten fundering. Het houtwerk is grotendeels vergaan. De sterkte ervan kan niet meer rekentechnisch worden bepaald. Geconcludeerd wordt dat de fundering niet meer voldoende sterkte heeft om stand te houden bij een maatgevende situatie.

6.3 Veiligheidsoordeel

Het is niet mogelijk om een faalkans te berekenen van het toetsspoor Sterkte en Stabiliteit puntconstructie voor scheepvaartsluis Kanaal door Voorne. De hele constructie is instabiel vanwege een fundering die voor een groot deel vergaan is. Om tot een oordeel te komen dient een faalkans ingeschat te worden. Bij een faalkans van 1/10 wordt het oordeel Cat VI_v. Omdat de sluis tijdens dagelijkse omstandigheden een verval van 1,5m kan keren zonder dat tekenen van instabiliteit zijn waargenomen wordt een faalkans van 1/100 toegekend bij dit toetsspoor. Daardoor krijgt het kunstwerk een veiligheidsoordeel voor dit faalmechanisme 'voldoet niet aan de ondergrens, Cat V_v'.

7 Conclusies en aanbevelingen

7.1 Oordeel

In Tabel 7-1 zijn de faalkansen voor de verschillende sporen weergegeven. De toetsoordelen per toetsspoor zijn ingedeeld in categorieën conform bijlage III van de Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017 [3].

Op basis van de gedetailleerde toets is geconcludeerd dat het kunstwerk ruim voldoet aan de faalkanseis behorend bij het toetsspoor Hoogte kunstwerk.

Ten aanzien van het toetsspoor betrouwbaarheid sluiten is op basis van de gedetailleerde toets geconcludeerd dat het kunstwerk voldoet aan de faalkanseis bij ondergrens waarde, maar niet voldoet aan de faalkanseis bij de signaleringswaarde.

Op basis van de gedetailleerde toets is geconcludeerd dat het kunstwerk niet voldoet aan de eisen ten aanzien van onder- en achterloopsheid. Op basis van de uitgangspunten beschreven in par. 5.3 krijgt het kunstwerk het toetsoordeel; 'voldoet niet aan de ondergrens, cat V_v.'

Voor het toetsspoor Sterkte en stabiliteit kan geen faalkans worden uitgerekend omdat de fundering voor een groot deel vergaan is (zie paragraaf 2.2.2). Daarom wordt op basis van een toets op maat bij benadering een faalkans toegekend. Het daaruit voortvloeiend toetsoordeel is; 'voldoet niet aan de ondergrens, cat V_v.'

Het eindoordeel van het kunstwerk is "Voldoet niet aan de ondergrens", categorie V_v.

Tabel 7-1 - Technische score scheepvaartsluis Kanaal door Voorne

Toets- spoor	Faalkanseis		Faalkans	Oordeel per categorie	Cat.
	Signaal- waarde	Onder- grens			
HTKW	1/8.333	1/2.500	1/6,7 x 10 ⁶	Voldoet ruim aan de signaleringswaarde	I _v
BSKW	1/25.000	1/7.5000	1/30.602	Voldoet aan de signaleringswaarde	II _v
PKW	1/50.000	1/15.000	Nvt	Voldoet niet aan de ondergrens	V _v
STKWp	1/150.000	1/45.000	1/100	Voldoet niet aan de ondergrens	V _v
Overall				Voldoet niet aan de ondergrens	V _v

7.2 Conclusies

Zoals is te zien in Tabel 7-1 voldoet het kunstwerk niet aan de faalkanseis.

Het oordeel van dit kunstwerk is ten opzichte van de (verlengde) 3^e toetsronde niet gewijzigd.

7.3 Aanbevelingen

Ten aanzien van toetsspoor betrouwbaarheid sluiten wordt aanbevolen om handbediening te realiseren. Dit is een eenvoudige ingreep wat niet veel kosten met zich meebrengt. Als dit verwerkt wordt in de parameter Faalkans sluiting geopend kunstwerk (P_{ns}) heeft dit grote invloed op de faalkans zoals beschreven in par. 4.2.4.

Ten aanzien van toetssporen piping, sterkte en stabiliteit zijn ingrijpende maatregelen nodig om de schutsluis weer veilig te maken.

Ten aanzien van toetsspoor hoogte wordt geen aanbeveling gedaan.

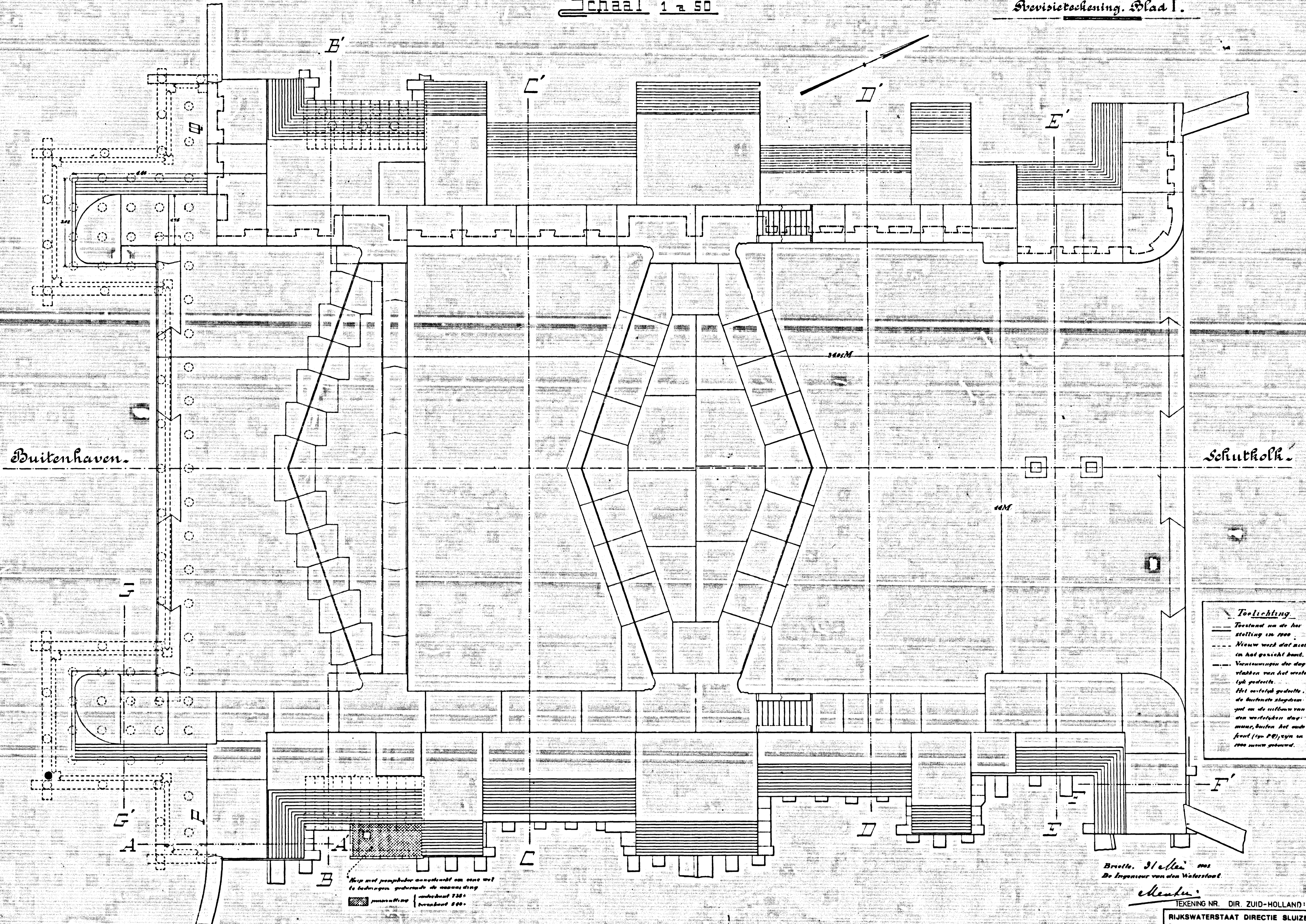
8 Referenties

- [1] „Notitie betreffende een onderzoek naar de toestand van de schutsluis te Hellevoetsluis en het voorstel tot herstel,” Rijkswaterstaat, directie Sluizen en Stuwen, Utrecht, 1979.
- [2] „Binnenstedelijke kademuren,” SBRCURnet, Rotterdam, 2014.
- [3] Rijkswaterstaat, „Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017 - Bijlage III Sterkte en veiligheid,” Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2017.
- [4] Rijkswaterstaat, „Schematisatiehandleiding grasbekleding – WBI 2017,” Ministerie van Infrastructuur en Milieu, d.d. 01-12-2016.
- [5] Rijkswaterstaat, „Schematisatiehandleiding hoogte kunstwerk – WBI 2017,” Ministerie van Infrastructuur en Milieu, d.d. 02-01-2017.
- [6] Rijkswaterstaat, „Schematisatiehandleiding betrouwbaarheid sluiting kunstwerk – WBI 2017,” Ministerie van Infrastructuur en Milieu, d.d. 02-01-2017.
- [7] Rijkswaterstaat, „Schematisatiehandleiding piping bij kunstwerk – WBI 2017,” Ministerie van Infrastructuur en Milieu, d.d. 02-01-2017.
- [8] Rijkswaterstaat, „Schematisatiehandleiding sterkte en stabiliteit kunstwerk – WBI 2017,” Ministerie van Infrastructuur en Milieu, d.d. 02-01-2017.
- [9] Rijkswaterstaat, „Werkwijze bepalen kans op niet sluiten per sluitvraag met scoretabellen,” Ministerie van Infrastructuur en Milieu, 2017.
- [10] W. Leeuwdront en J. Wierenga, „Beoordeling Scheepvaartsluis Kanaal door Voorne,” Fugro Geoservices B.V., Nieuwegein, 2013.

Bijlage I - Tekeningen

- Dwarsdoorsnede Buitenhoofd
- H.S.H. 4A
- H.S.H. 5
- H.S.H. 6
- H.S.H. 7
- H.S.H. 8
- H.S.H. 9

Schaal 1 : 50



Toelichting

- Toestand van de aanstelling in 1899
- - - Nieuw werk dat niet in het gezicht komt
- Veranderingen der dagvlakken van het waterzijde gedeelte
- Het oorspronkelijk gedeelte der buitenste afdeeling van de sluis van een waterzijde der sluis (van P. 2) zijn in 1899 nieuw gebouwd.

Wijze met pompsluizen aangevoerd om een wet te behouden, getuigd de aanwijzing

— pompsluizen — verhoogd 2.50
— verhoogd 2.00

Bretele, 21 Maart 1900
De Ingenieur van den Waterstaat

M. de Vries

TEKENING NR. DIR. ZUID-HOLLAND: BO 76-5656 - CS

RIJKSWATERSTAAT DIRECTIE SLUIZEN EN STUWEN	
Rijkswaterstaatsgebouw Westerven, Utrecht	Postbus 18088, Tel. 030 88111
T.B.V. DIRECTIE ZUID HOLLAND	
SCHUTSLUIS HELLEVOETSLUIS	
HERSTEL 1899	
BUITENSLUISHOOFD PLATTEGROND	
Schaal 1 : 50	
A3 HSH 5	

CS 76-5656

Dwarsdoorsneden van het Buitensluishoofd

Schaal 1:50

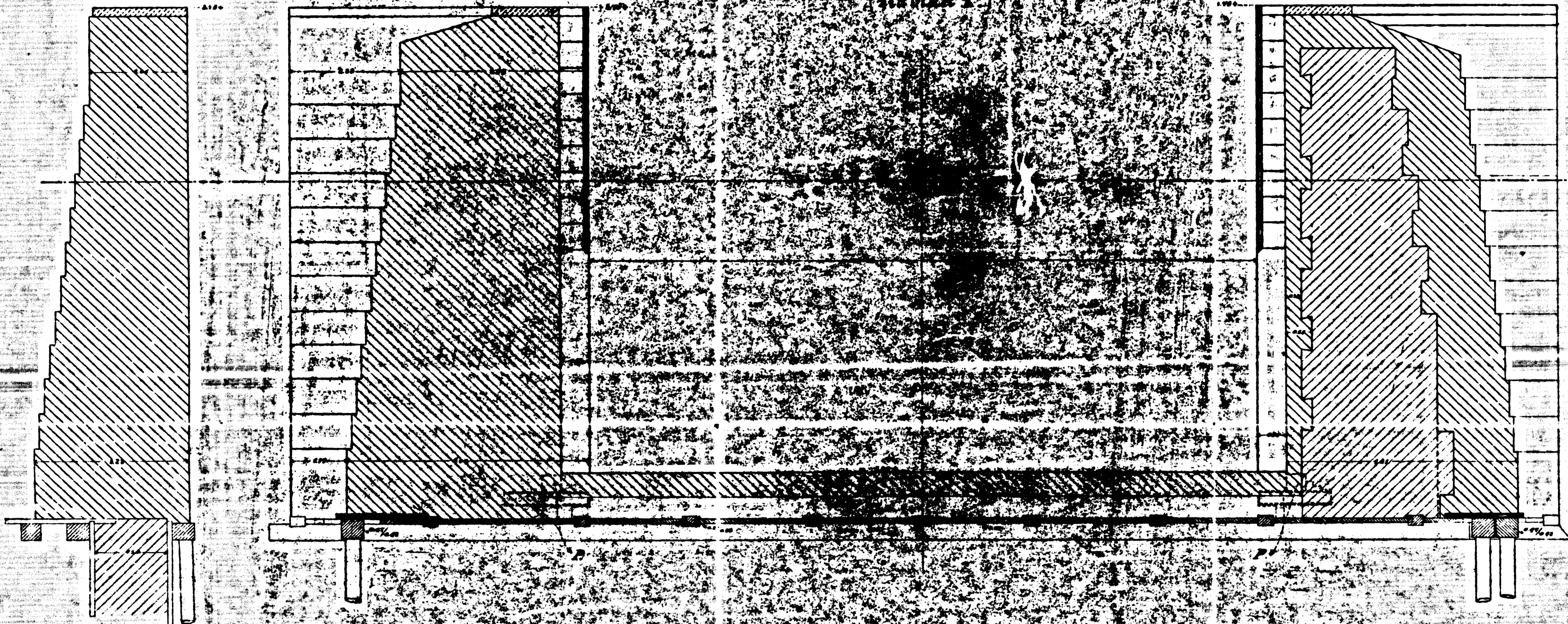
Uitsluiting met
Schutsluis te Hellevoetsluis.
Overeenkomst van 20 October 1889.
Revisieteekening. Plaat II.

Doorsnede A A' (zie blad I.)

Oostzijde

Doorsnede B B'
(zie blad I.)

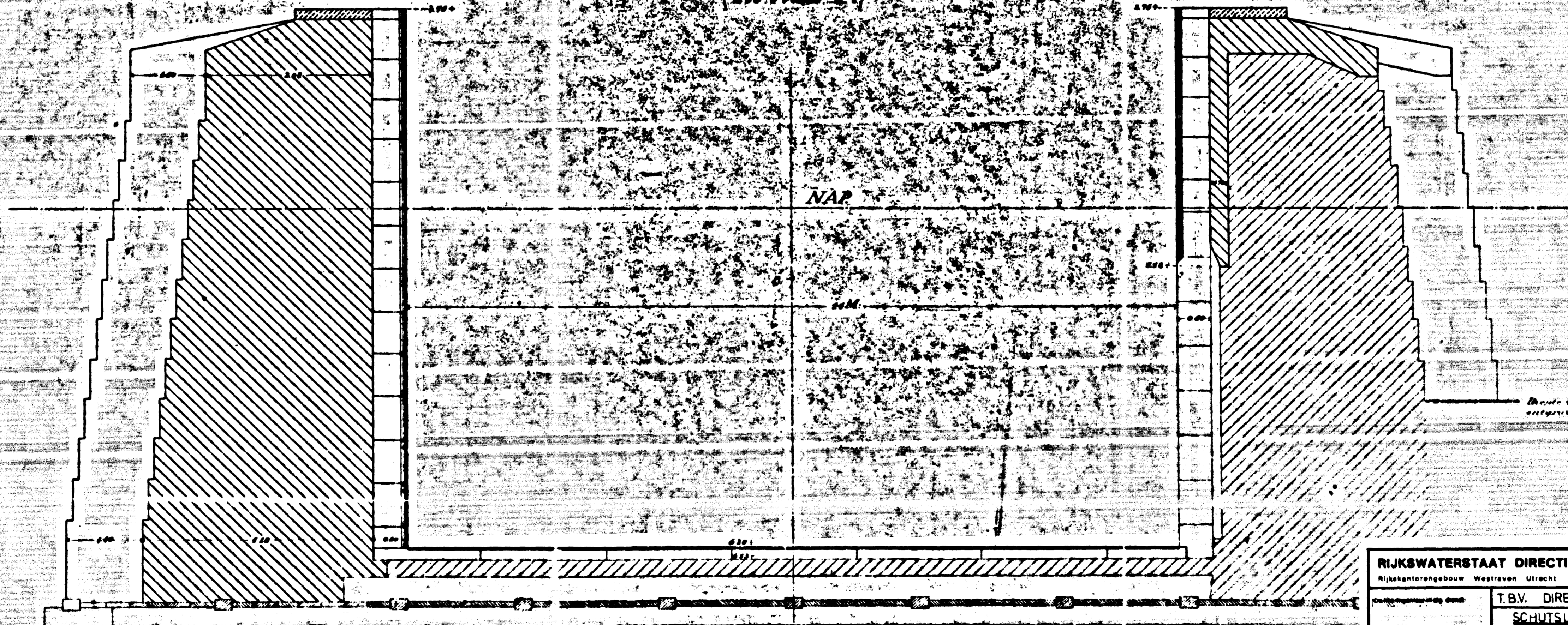
Westzijde



Oostzijde

Doorsnede C C'
(zie blad I.)

Westzijde



- Toelichting.**
- Oud werk.
 - Nieuw werk.
 - - - - - ideeën dat niet in het versicht komt.
 - ▨ Oud metselwerk.
 - ▧ In roos gemaakt metselwerk.
 - ▩ Nieuwe of opgevoerde en herstelde funderingen.
 - P Sporen balk en hard steentich om den druk der bucht over te brengen.
 - De staal met beide pinnen en de bevestiging van den steel uitgreep. (Afschafte) met den wettelijken maat zijn niet bekend.

RIJKSWATERSTAAT DIRECTIE BLUIZEN EN STUWEN
 Rijkskantoorgebouw Westraven Utrecht Postbus 14088 Tel. 030. 858111

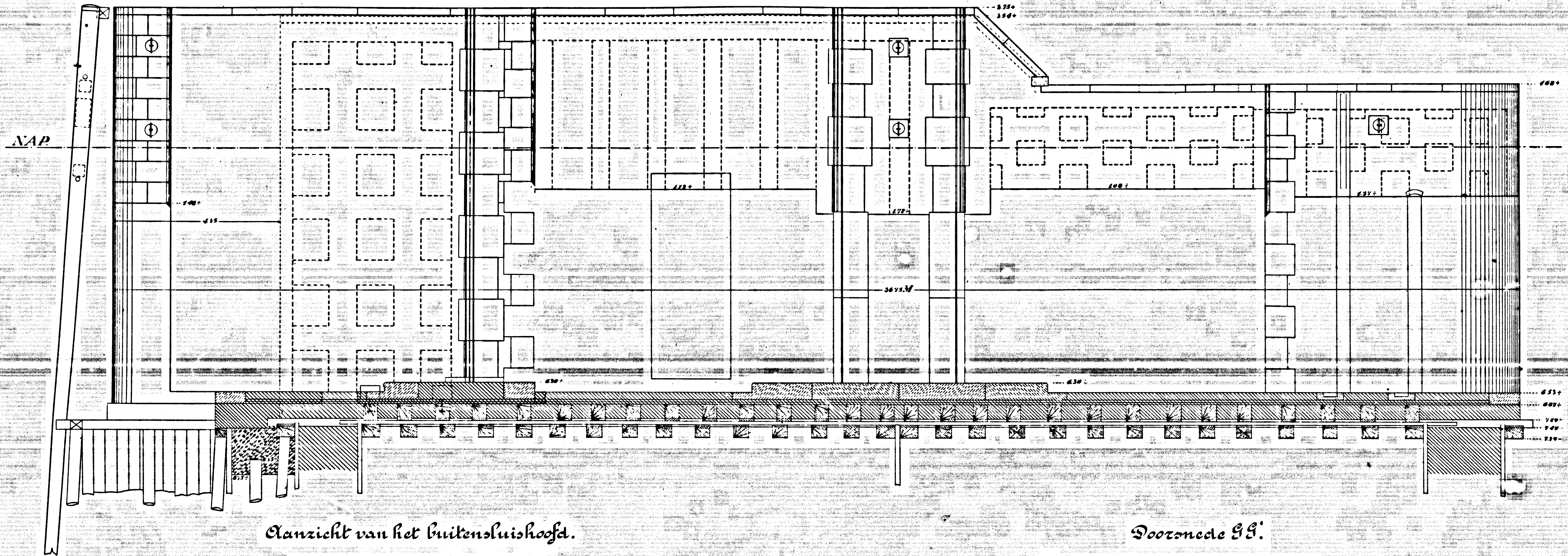
De teekening is vervaardigd door: **T.B.V. DIRECTIE ZUID-HOLLAND**
SCHUTSLUIS HELLEVOETSLUIS

De teekening is vervaardigd door: **HRSTEL 1889**
BUITENSLUISHOOFD DWARSDOORSNEDEN

Schaal: 1:50

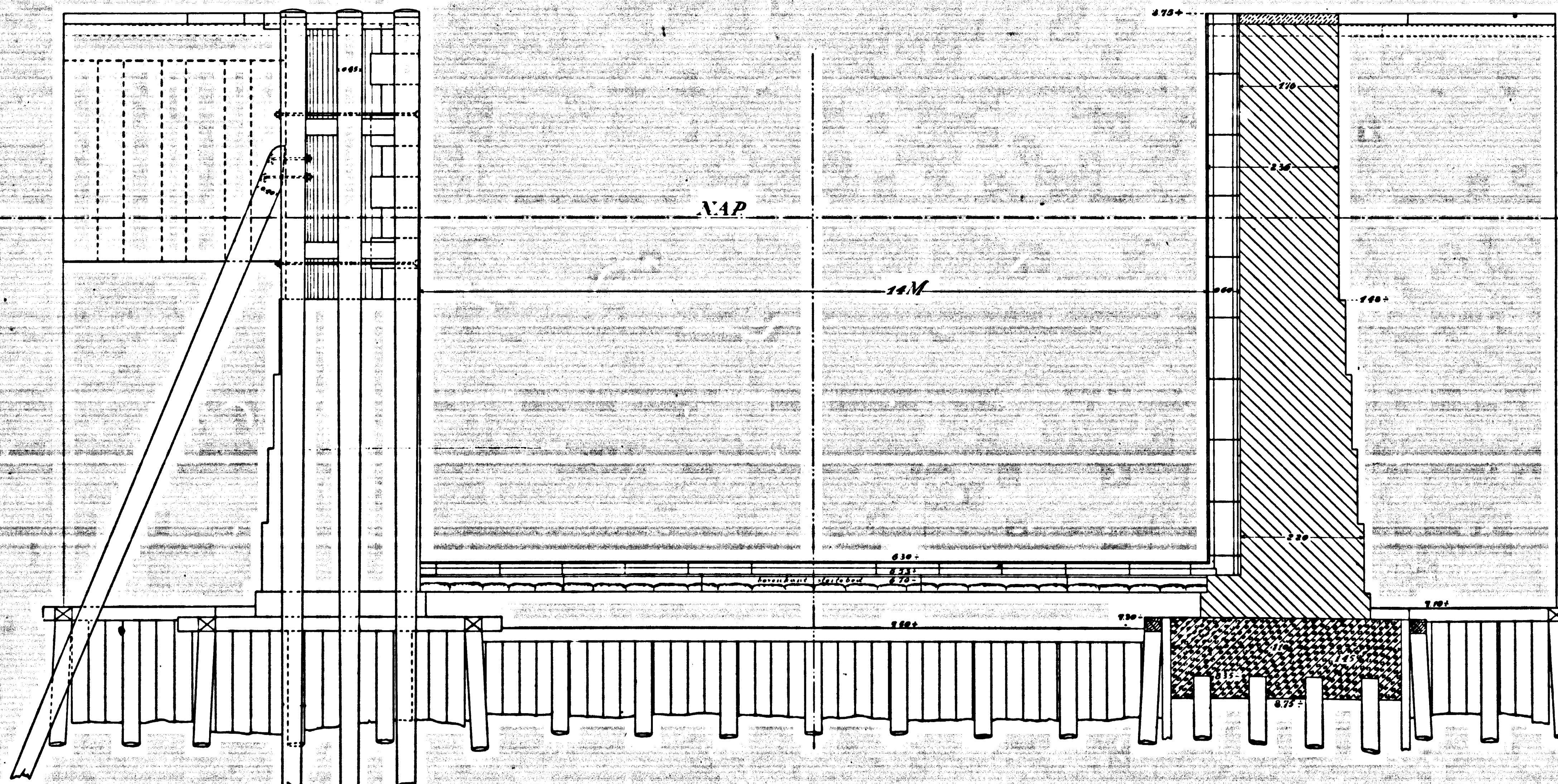
De teekening is vervaardigd door: **Roos**

AS HSH 6



Aanzicht van het buitensluishoofd.

Doornede 9-9.



Toelichting	
	Oud werk
	idem vervullen
	Nieuw of hersteld werk
	Oud metselwerk
	Nieuw metselwerk
	Oude Aardsteen
	Nieuwe Aardsteen
	Nieuwe beton

Brielle, 21 Mei 1902.
De Ingenieur van den Waterstaat.
Meijer
Aankomst van de werf, 17 Mei, 24 April 1902.
de Ingenieur,
Roosboom.

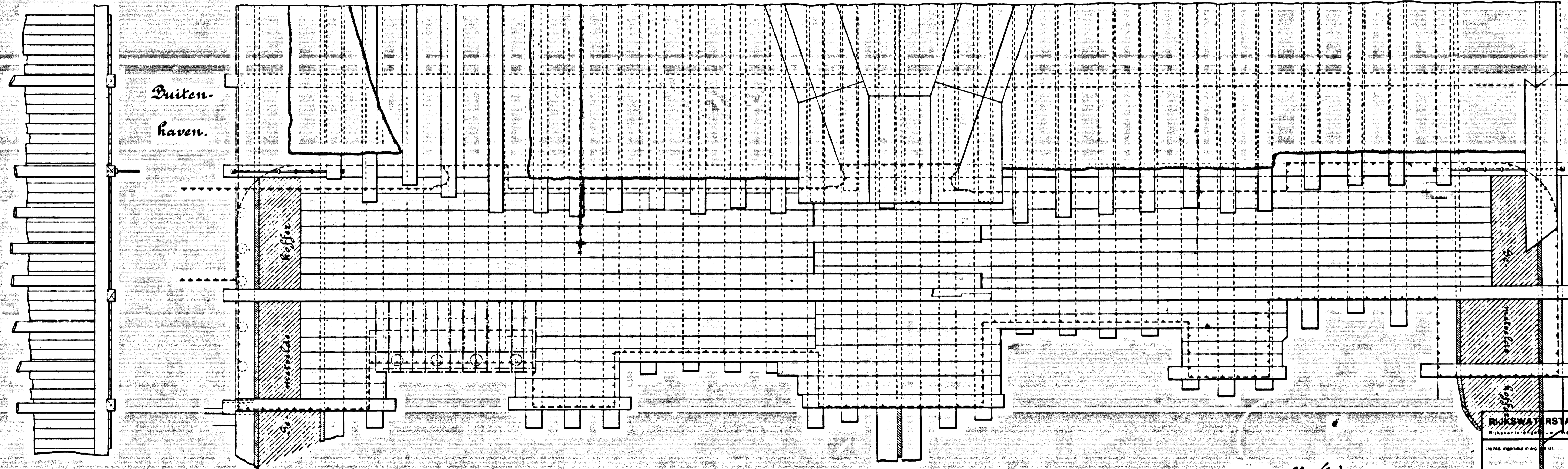
TEKENING NR. DIR. ZUID-HOLLAND: BO 76-5659-C5
RIJKSWATERSTAAT DIRECTIE SLUIZEN EN STUWEN
Rijkswaterstaatsbouw Westruiter Uiterdijk Postbus 14089 Tel. 030 859111
T.B.V. DIRECTIE ZUID-HOLLAND
SCHUTSLUIS HELLEVOETSLUIS
HERSTEL 1899 LANGSDOORSNEDE
BUITENSLUISHOOFD AANZICHT FRONT
DOORSNEDE 9-9
Schaal. 1:50
A3 HSH 8

Kanaal door Voorne.

Platte grond van de fundering van het Oostelijk buitensluishoofd,
uitgezonderd die der in 1900 uitgevoerde betonfundering voor de uitbreiding. (zie daarvoor blad I.)

Herstelling der
Schutsluis te Hellevoetsluis.
Overeenkomst van 20 October 1899.
Revisietekening. Blad V.

Voorzaanzicht.



Toelichting

- Oorspronkelijke aanleg van het metselwerk.
- - - - Aanleg nieuw metselwerk.
- Grans van uitbreiding ten behoeve van de Aarsdijkingen.
- Uitbreiding der fundering ten behoeve van de versterking der steun van de dennen vloer.

dennen vloer	swaar 180 M
erken zwelgen	0 777 "
" binnenvloer	0 776 "
dennen vloer	0 775 "

Schaal 1:50

Brielle, 21 Dec 1901.
De Ingenieur van den Waterstaat
e. Koster

RIJKSWATERSTAAT DIRECTIE SLUIZEN EN STUWEN	
Rijkscantoor te Westhaven Utrecht Postbus 14099 Tel 030 859111	
TBV DIRECTIE ZUID-HOLLAND	
SCHUTSLUIS HELLEVOETSLUIS	
HERSTEL 1899	
BIJTENSLUISHOOFD FUNDERING OOSTELIJKE MUUR	
Schaal: 1:50	
A B C D	
A3 HSH 9	

TEKENING NR DIR ZUID-HOLLAND BO-5660-B5

Bijlage II – Berekeningen Piping

Piping - Achterloopsheid en Onderloopsheid

	m N.A.P.
Binnenpeil	-0,4
Maatgevend peil	2,81
Delta H maatgevend:	3,21

Achterloopsheid

Bligh: $\Delta H_{\text{kritisch}} = \text{Kwelweglengte} / C_{\text{creep}}$

Kwelweglengte:

Afstand intrede -> uitrede 46,0 m Er wordt vanuitgegaan dat de vleugelmuren diep genoeg in de ondergrond staan dat hier geen achterloopsheid plaats vindt.
Totaal kwelweglengte 46,0 m

C creep 18 Fijn zand (conservatief)

Delta H kritisch 2,56 m

Conclusie: $\Delta H_{\text{kritisch}} < \Delta H_{\text{maatgevend}}$

Onderloopsheid

Lane: $(\text{Verticale kwelweglengte} + 1/3 \text{ Horizontale kwelweglengte}) / C_{w\text{creep}}$

Cw creep 8,5 Zeer fijn zand (conservatief)

Verticale kwelweglengte 8 m Onderloopsheid schermen zijn vergaan. De inschatting is dat het metselwerk aan de buitenkant en binnenkant van het buitenhoofd tot 2m onder de vloer is aangebracht.

Horizontale kwelweglengte 0 m De vloer staat op palen

Delta H kritisch 0,9 m

Conclusie: $\Delta H_{\text{kritisch}} < \Delta H_{\text{maatgevend}}$