



Dijkversterking Stad Tiel

Ontwerpnota voorlopig ontwerp KW17 Coupure Waalstraat

Dijkversterking Stad Tiel

Ontwerpnota voorlopig ontwerp KW17 Coupure Waalstraat

Opdrachtgever: Waterschap Rivierenland

Referentie: INFR200121-R13

Revisie: 0

Datum: 2 april 2021

Iv-Infra b.v.

Ingenieursbureau met Passie voor Techniek

Titel document: Dijkversterking Stad Tiel
 Ondertitel document: Ontwerpnota voorlopig ontwerp KW17 Coupure Waalstraat
 Referentie: INFR200121-R13
 Revisie: 0
 Datum: 2 april 2021
 Opdrachtgever: Waterschap Rivierenland
 Projectnummer opdrachtgever:
 Project: INFR200121

Revisie	Status	Datum	Auteur(s)	Gecontroleerd	Goedgekeurd	Omschrijving
0	Concept	02-04-21	W. van der Mersch N. den Adel F.R.O. Hekman	H.J. Wolters en J.D. Reijneveld	H.J. Wolters	Ter bespreking met WSRL

Inhoudsopgave

1	Inleiding	6
1.1.	Projectomschrijving	6
1.2.	Doel en scope	7
1.3.	Revisiebeheer	7
1.4.	Leeswijzer	7
2	Omschrijving object en historie	8
2.1.	Algemeen	8
2.2.	Objecthistorie	8
2.3.	Beschrijving constructie	10
2.3.1.	Wanden	12
2.3.2.	Onderslagbalken en vloer	14
2.3.3.	Onder- en achterloopsheid scherm	17
2.3.4.	Trappen	18
3	Wijzigingen ten opzichte van bestaande situatie	19
4	Uitgangspunten en randvoorwaarden	21
4.1.	Referenties	21
4.2.	Normen en richtlijnen	22
4.3.	Geometrische uitgangspunten	22
4.4.	Veiligheidsklasse, referentieperiode en restlevensduur	23
4.5.	Duurzaamheid en waterdichtheid	23
4.5.1.	Algemeen	23
4.5.2.	Waterdichtheid	23
4.5.3.	Duurzaamheid (nieuwbouw)	23
4.6.	Hydraulische randvoorwaarden	24
4.7.	Materialen	24
4.7.1.	Soortelijk gewicht	24
4.7.2.	Beton	25
4.7.3.	Betonstaal	25
4.7.4.	Metselwerk	25
4.7.5.	Natuursteen	25
4.8.	Geotechnische uitgangspunten	25
4.8.1.	Bodemopbouw en sterkte parameters	25
4.8.2.	Modellering	26
4.9.	Computersoftware	27
5	Belastinggevallen en -combinaties	28
5.1.	Eigen gewicht (totaal)	28

5.2.	Hydraulische belasting	28
5.3.	Belastingcombinaties	29
6	Berekeningen en toetsing fundering	31
6.1.	Opzet berekeningen	31
6.2.	Mechanisme schuiven	31
6.2.1.	Inleiding	31
6.2.2.	Horizontale waterdruk	31
6.2.3.	Wrijving op onderkant fundering	32
6.2.4.	Wrijving langs achterzijde coupurewanden	32
6.2.5.	Toetsing horizontaal evenwicht	33
6.3.	Draagvermogen en mechanisme kantelen	34
7	Berekening en resultaten constructie	35
7.1.	Krachtswerking schotbalkspanning	35
8	Betrouwbaarheid sluiting	38
9	Piping	40
9.1.	Onzekerheid kwelschermen	40
9.2.	Methode toetsing piping	41
9.3.	Onderloopsheid	42
9.4.	Achterloopsheid	43
9.5.	Levensduur kwelschermen	45
10	Conclusie en aandachtspunten	46
10.1.	Conclusie	46
10.2.	Hoeveelheden VO-ontwerp	46
10.3.	Uitwerken in DO	46
10.4.	Aandachtspunten uitvoering	47
BIJLAGEN		48
A.	Huidige situatie	48
B.	Productfolder DPS2000	56
C.	Berekening D-Foundations coupure Waalstraat	57
D.	Betrouwbaarheid sluiting	58
E.	SCIA-berekening sponning	59

1 Inleiding

1.1. Projectomschrijving

Een groot deel van de waterkering bij Tiel is in de derde toetsronde afgekeurd. Een deel van dit traject is recent versterkt binnen het project Fluvia Tiel. De versterking van de overige waterkeringen rondom Tiel wordt op orde gebracht met de dijkversterking Stad Tiel. Deze dijkversterking is onderdeel van het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP). Een overzicht van het projectgebied is opgenomen in Figuur 1-1.

Waterschap Rivierenland (WSRL) heeft voor de waterkering binnen het projectgebied een nadere veiligheidsanalyse uitgevoerd waarbij de scope is vastgelegd met inachtneming van de nieuwe norm uit de Waterwet en de laatste rekenregels uit het Ontwerpinstrumentarium 2014 (OI2014). Op basis hiervan heeft Tauw in 2019, met de partners H+N+S en Iv-Infra, de verkenningsfase voor deze dijkversterking doorlopen en is een voorkeursalternatief (VKA) vastgesteld. Voor het grootste deel van het project is deze vervolgens uitgewerkt tot een voorlopig ontwerp (VO).

Omdat de versterking van de bestaande coupures later zijn opgenomen in de scope van het dijkversterkingsproject wordt voor deze constructies eerst nog de VO-fase doorlopen. Er zijn in totaal drie bestaande coupures aanwezig in Stad Tiel, namelijk de Coupure Waterpoort (KW11), Coupure Waalstraat (KW17) en Coupure Bellevue (KW20).

Voorliggende rapportage betreft de VO-ontwerpnota voor het verbouwen van KW17 Coupure Waalstraat. De locatie van deze coupure is aangegeven in Figuur 1-1



Figuur 1-1 Bovenaanzicht projectgebied dijkversterking Stad Tiel (links) en locatie KW17 coupure Waalstraat (rechts)

In de vorige projectfase is voor de bestaande situatie van de coupure Waalstraat een verificatieberekening uitgevoerd met de toekomstige (hoog)waterstanden voor diverse zichtjaren (zie [9]). Daaruit volgen onderstaande conclusies (kort samengevat):

- Voor de sterkte van de muren en sponningen is het mogelijk om de coupures te verhogen tot het zichtjaar 2125;
- De stabiliteit van de fundering en de weerstand tegen piping is niet aangetoond.

Het is aannemelijk dat met aanvullend onderzoek of (beperkte) versterking voldaan kan worden aan de waterveiligheidseisen. Gezien deze conclusie wordt de versterking van de coupure uitgewerkt tot een VO.

1.2. Doel en scope

In het voorlopig ontwerp, bestaande uit dit document en een tekening van het kunstwerk, zijn integrale keuzes gemaakt met betrekking tot principe-oplossingen voor het verhogen van KW17 coupure Waalstraat. In dit document is een berekening van de maatgevende wijzingen in de krachtswerking voor het verbouwen van de bestaande coupure uitgewerkt.

Binnen de scope van dit document vallen de uitgangspunten specifiek voor de faalmechanismen sterkte, stabiliteit, piping en betrouwbaarheid sluiting. De benodigde toekomstige hoogte van de coupure is reeds vastgesteld in [10].

Buiten de scope van dit document valt de vormgeving van de bestaande coupure en raakvlakken met obstakels in de ondergrond en betrouwbaarheid op sluiting.

1.3. Revisiebeheer

De huidige revisie (revisie 0) is een conceptversie ter bespreking met Waterschap Rivierenland.

Tabel 1-1: Revisietabel

Revisie document	Omschrijving
0	Conceptversie ter controle

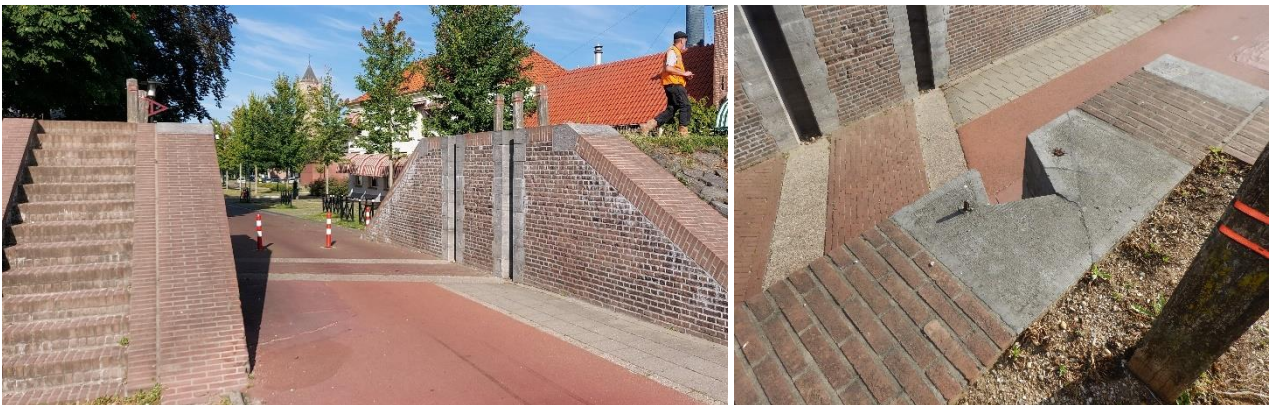
1.4. Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is een omschrijving gegeven van de historie en huidige staat van de coupure. In hoofdstuk 3 is toegelicht welke wijzigingen aan de coupure worden gedaan. Hoofdstuk 4 bevat de uitgangspunten voor het voorlopig ontwerp. De belastingen en belastingcombinaties zijn uitgewerkt in hoofdstuk 5. De fundering is getoetst in hoofdstuk 6 en de constructie in hoofdstuk 7. De faalmechanismes betrouwbaarheid sluiting en piping zijn beschouwd in hoofdstuk 8 en 9. De conclusie is vermeld in hoofdstuk 10.

2 Omschrijving object en historie

2.1. Algemeen

De coupure Waalstraat (KW17) is vermoedelijk halverwege de 19^e eeuw gebouwd. In die periode is de Westluidense Poort, die nabij de coupure stond, afgebroken. Brokstukken van deze constructie zijn gebruikt voor de bouw van het restaurant naast de coupure (bron: Wikipedia¹) en mogelijk ook voor de coupure zelf. De coupure is gerenoveerd in 1996 (zie [6]), in beheer bij de gemeente Tiel² en gelegen in dijktraject 43-6. De functie van de coupure is de mogelijkheid bieden voor fietsers en voetgangers om de dijk te kruisen en het keren van hoogwater.



Figuur 2-1 Bestaande situatie coupure Waalstraat

2.2. Objecthistorie

De coupure is nagenoeg in dezelfde vorm en functie aanwezig als het eerste beeldmateriaal uit begin twintigste eeuw (zie Bijlage A). Het is niet duidelijk wanneer de betonnen funderingsplaat is aangelegd. De grootste wijziging is de renovatie van 1996. In een aantal documenten wordt zelfs gesproken over (al dan niet volledige) herbouw in 1996 (zie [8] en [15]). Het is mogelijk dat de funderingsplaat destijds is aangelegd, maar dit zou ook eerder geweest kunnen zijn. Op basis van de foto's kan wel gesteld worden dat de trappen en metselwerk rollaag in 1996 in zijn geheel zijn vervangen en dat mogelijk een aantal natuurstenen delen is vervangen (zie Bijlage A).

De renovatie in 1996 betreft de volgende punten:

- Verwijderen natuursteen dekzerken/-stenen (type: ezelsrug), welke destijds beschadigd waren. Daardoor is de metselwerk rollaag nu de bovenzijde van de coupure. Deze rollaag was al aanwezig en is opnieuw aangebracht (o.b.v. de kleur v/d stenen lijkt het materiaal nieuwer; zie Bijlage A). Het is opmerkelijk dat er in de bestektekeningen nieuwe dekstenen staan, waarschijnlijk gelijk aan de oorspronkelijke, maar dat deze in de praktijk niet zijn aan aangebracht/vernieuwd (zie [15]);

¹ https://nl.wikipedia.org/wiki/Westluidense_Poort

² Dit beheer wordt in de toekomst overgedragen aan Waterschap Rivierenland

- Renovatie of vernieuwing van de twee trappen, namelijk aan noordzijde binnendijks en zuidzijde buitendijks. Visueel gezien zijn deze trappen identiek aan al aanwezige trappen op archiefmateriaal. De metselwerkstenen duiden echter op het terugbrengen van de oorspronkelijke trap maar deels met nieuwe stenen. De trap is gefundeerd op beton, mogelijk was er hiervoor een ander soort fundering aanwezig. Er is geen informatie beschikbaar over de wapening van het beton;
- Aanbrengen van betonwand aan de binnendijkse zijde langs de zuidelijke wand. Haaks daarop is een damwand met sloof aangebracht;
- Aan weerszijden van de coupure en onder de vloer van de coupure is een onder- en achterloopsheid scherm gerealiseerd bestaande uit elkaar overlappende jetgroutpalen. Van dit scherm is alleen een werkplan beschikbaar (zie [2]). De aanwezigheid van dit scherm is (nog) niet overal aangetoond;
- In de vloer is een dubbele schotbalkaanslag/-sponning in de vorm van een onderslagbalk gerealiseerd. Daarnaast is aan de buitendijkse zijde een vloeistofdichte vloer bestaande uit een folie onder een betonplaat onder de bestrating aangebracht. De onderslagbalk wijkt in de praktijk qua vorm en afmetingen echter af van de beschikbare tekeningen (zie [15] en [16]). De daadwerkelijk aanwezige situatie is weergegeven in Figuur 2-11.

Op basis van de foto's en het inspectierapport (zie [7]) kan worden gesteld dat tussen 2011 en 2019 de voegen van de wanden vernieuwd zijn. Sindsdien is er een kalkuitslag op de wanden aanwezig.

In het verleden is de coupure ook wel aangeduid als Westluidensche poort (die vermoedelijk vlakbij maar niet op deze locatie stond) en coupure Waalkade. Een overzicht van de objecthistorie is weergegeven in Tabel 2-1.

Tabel 2-1 Objecthistorie coupure Waalstraat

Datum	Omschrijving
Onbekend	Bouw coupure, vermoedelijk rond 1851
Tussen 1930 en 1995	Verwijderen houten hekwerk op kruin en lantaarnpaal op kruin (niet-constructief)
1996	Renovatie bestaande uit: Verwijderen natuursteen dekzerken (type: ezelsrug), Aanleg betonwand binnenzijde (zuid) en aansluitende damwand met sloof, aanbrengen jetgroutpalen kolommen onder dijk en coupure en realiseren schotbalkaanslagen in vloer
2003	Berekening constructie (zie [3]) en beoordelingsrapport overstroming t.g.v. falen van het kunstwerk (zie [4])
Tussen 2011 en 2019	Voegwerk renoveren (o.b.v. foto's en inspectierapport 2019)
Mei 2018	Update archiefonderzoek, Arcadis (zie [6])
Jan. 2019	Inspectierapport, RPS/Movares, met inmetingen, kernboringen en proefsleuven, (zie [7])
April 2019	Beoordelingsrapportage, Movares (onderdeel van Veiligheidsanalyse stad Tiel) (zie [8])
Sept. 2020	Verificatieberekening bestaande situatie, Iv-Infra (zie [9])
Maart 2021	Fundatieonderzoek Coupure Waalstraat, Iv-Infra (zie [11])

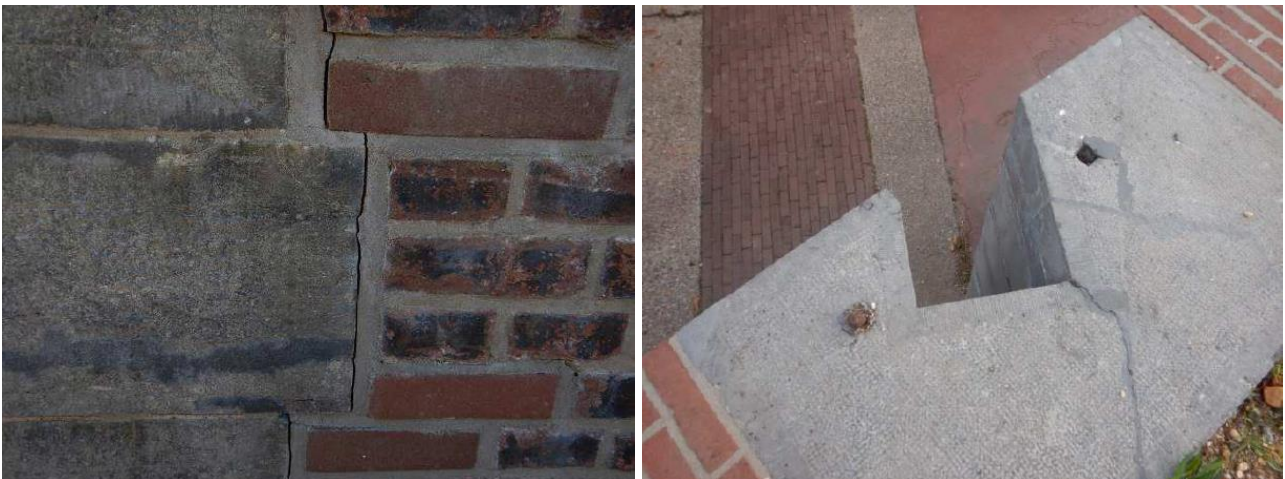
2.3. Beschrijving constructie

De coupure Waalstraat bestaat uit twee wanden met daartussen twee onderslagbalken, waarvan de bovenzijde op maaiveld ligt. De wanden en onderslagbalken zijn gefundeerd op een doorgaande (en waarschijnlijk ongewapende) betonnen plaat van 800mm dik op 450mm onder maaiveld (zie Figuur 2-4). Aan weerszijden van de coupure is een prefab betonnen en metselwerk trap aanwezig, waarvan de zuidelijke trap buitendijks ligt en de noordelijke binnendijks. De dagmaat van de doorgang is 4,06m (haaks op de wanden) en de lengte ca. 13m.

In de wanden zijn sponningen opgenomen waarin bij hoogwater twee rijen vurenhouten schotbalken met daartussen paardenmest geplaatst worden. De kruisingshoek van de schotbalksponningen en -aanslagen zijn ca. 120 graden ten opzichte van de coupure wanden. De afmetingen van de balken zijn 250x250x4600mm en worden conservatief geclassificeerd in sterkteklasse C14 (zie [8]).

De kruin van de coupure ligt op +11,85m NAP en de bovenzijde van de drempel (wegdek) op +9,75m NAP (zie [7] Tabel 3.1). De sluitingsprocedure wordt in gang gezet bij een peil van +9,25m NAP (t.p.v. kunstwerk), +15,2m NAP (Lobith) en/of +9,26m NAP (Tiel). Als noodoplossing voor de schotbalken kunnen big bags worden ingezet (zie [5]).

In augustus 2018 is de coupure geïnspecteerd. Er zijn toen, met name in de zuidelijke wand, scheuren aangetroffen op de voeg tussen de natuurstenen schotbalksponning en het metselwerk (zie Figuur 2-2). Dit betreffen krimp-/temperatuurscheuren die geen constructieve gevolgen hebben. Daarnaast zijn in de natuurstenen blokken van de schotbalksponning diverse scheuren waargenomen die aan de bovenzijde met kit zijn afgesmeerd.

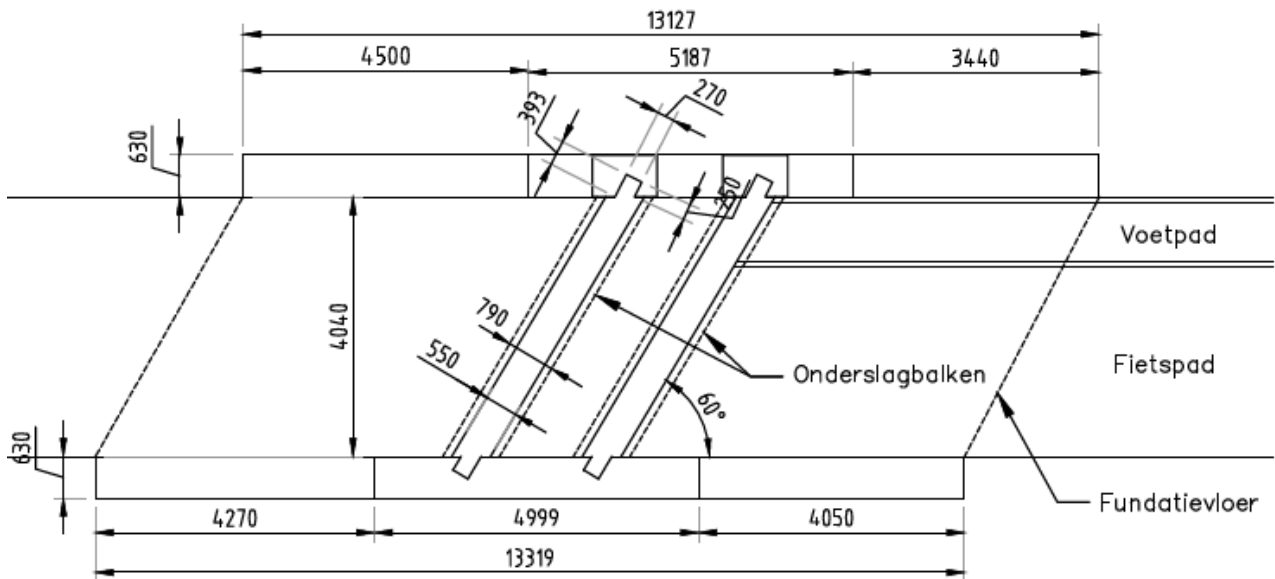


Figuur 2-2 Haarscheuren t.p.v. de schotbalksponningen (zie [7])

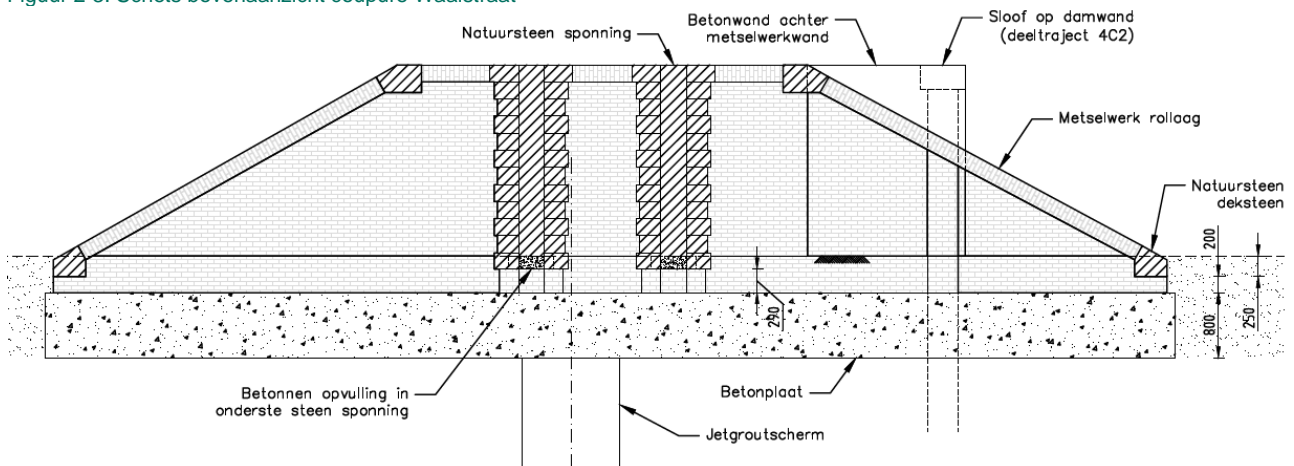
Op 06-08-2020 is de coupure visueel geïnspecteerd. Er zijn tijdens de inspectie geen nieuwe schades geconstateerd en/of verzakkingen van de constructie. Tevens zijn tijdens deze inspectie de afmetingen van het zichtbare deel van de coupures bepaald, zie Figuur 2-3. Deze afmetingen worden als basis genomen

voor de berekeningen. Mogelijk wijken de exacte afmetingen af, omdat de coupures (deels) niet zichtbaar zijn. Dit betreft met name de dikte van de wand van de onzichtbare zijde (aan de zijdes van de dijklichamen).

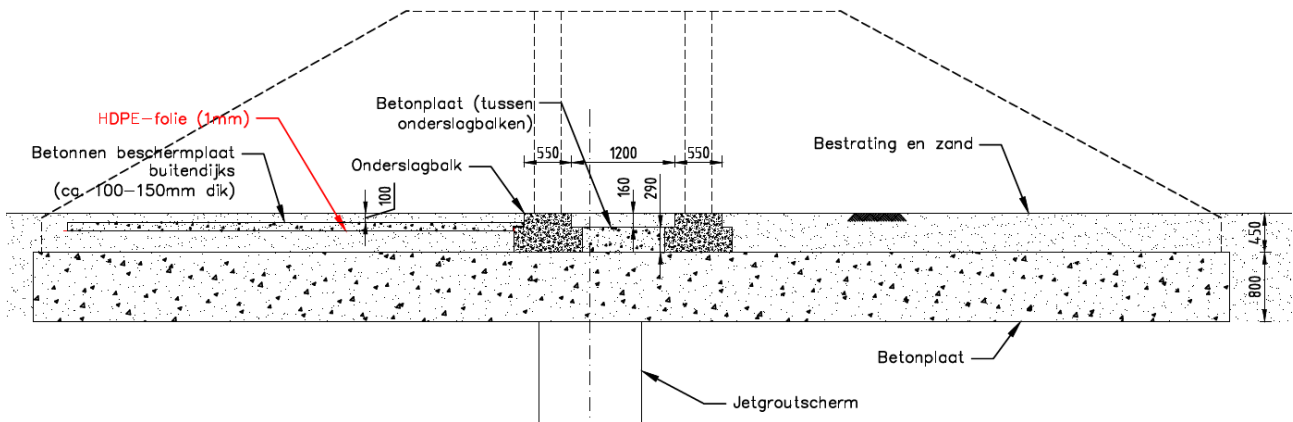
Daarnaast is begin maart 2021 een onderzoek gedaan naar de fundering (zie [11]). In dit onderzoek is de doorgaande betonnen plaat van 800mm dik aangetroffen, deze was tot dan toe nergens vermeld. Ook is aan de buitendijkse zijde een beschermplaat met daaronder folie, waarschijnlijk het elders genoemde HDPE-folie van 1mm dik (zie [6]), aangetroffen. Op basis van deze bevindingen is de fundering geschetst in Figuur 2-4 en Figuur 2-5.



Figuur 2-3: Schets bovenaanzicht coupure Waalstraat



Figuur 2-4: Langsdoorsnede zuidelijke wand coupure Waalstraat (noordelijke wand is identiek)



Figuur 2-5 Langsdoorsnede t.h.v. onderslagbalken

2.3.1. Wanden

Zowel de noordelijke als zuidelijke wand bestaat uit metselwerk en natuursteen schotbalkspinningen en hoekstenen. De wand bestaat over de volledige dikte uit metselwerk en is gefundeerd op een betonplaat die ca. 500mm uitsteekt aan alle zijden. De leeftijd van de materialen is onbekend. Tijdens de inspectie is vastgesteld dat het voegwerk er goed uit ziet en recentelijk lijkt te zijn vernieuwd (zie [7]). Op basis van foto's kan gesteld worden dat dit in ieder geval na 2011 moet zijn geweest (zie Bijlage A).



Figuur 2-6 Schotbalkspinning en -aanslag (links) en noordelijke wand (rechts)



Figuur 2-7 Betonwand binnendijks zuidzijde (links), scheuren tussen natuursteen en metselwerk (aug 2020, midden) en haarscheuren bovenzijde sponningen (aug 2020, rechts)

Aansluitend en haaks op de noordelijke wand is een gemetselde gewichtsmuur van 1x1m aangetroffen bestaande uit een cementmengsel met bakstenen. De wand sluit aan op de wand van de coupure hoewel de aansluiting gescheurd lijkt te zijn (zie [7]).

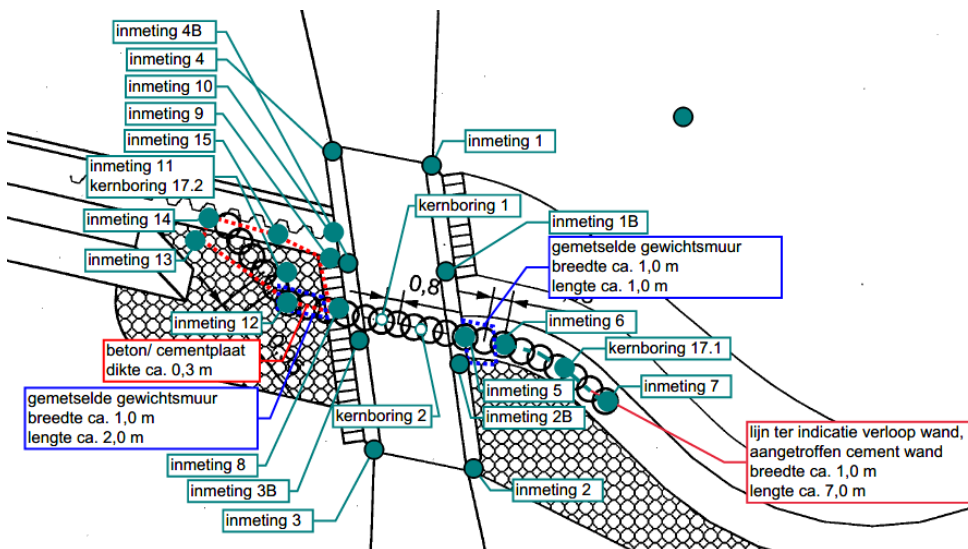


Figuur 2-8 Gewichtsmuur haaks op noordelijke wand (zie [7])

Aansluitend en haaks op de zuidelijke wand is een gemetselde wand/gewichtsmuur van 2mx1m (LxB) aangetroffen. Op deze wand en aan de binnendijkse zijde is een cement-/betonplaat aanwezig van ca. 200 tot 300mm dik. De vorm van de plaat is schetsmatig weergegeven in Figuur 2-9 en Figuur 2-10. De wand sluit aan op de wand van de coupure. Het is niet bekend wat er onder de betonplaat aanwezig is.



Figuur 2-9 Betonplaat op gewichtsmuur haaks op zuidelijke wand (zie [7])

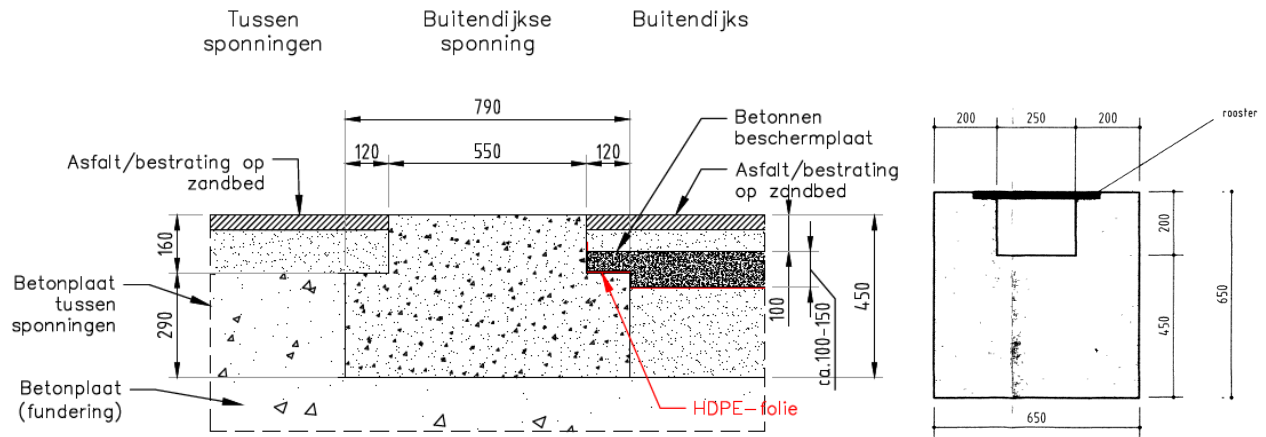


Figuur 2-10 Inspectietekening met in het rood de betonplaat (zie [7] Bijlage 1)

2.3.2. Onderslagbalken en vloer

Zowel de wanden als de onderslagbalken rusten op een betonnen plaat van 800mm dik. Deze plaat is op alle locaties aangetroffen. Binnen en buitendijks is de plaat aangetroffen tijdens het fundatieonderzoek (zie [11]). Tussen de onderslagbalken is de plaat aangetroffen in de kernboringen tijdens de inspectie (zie Figuur 2-12).

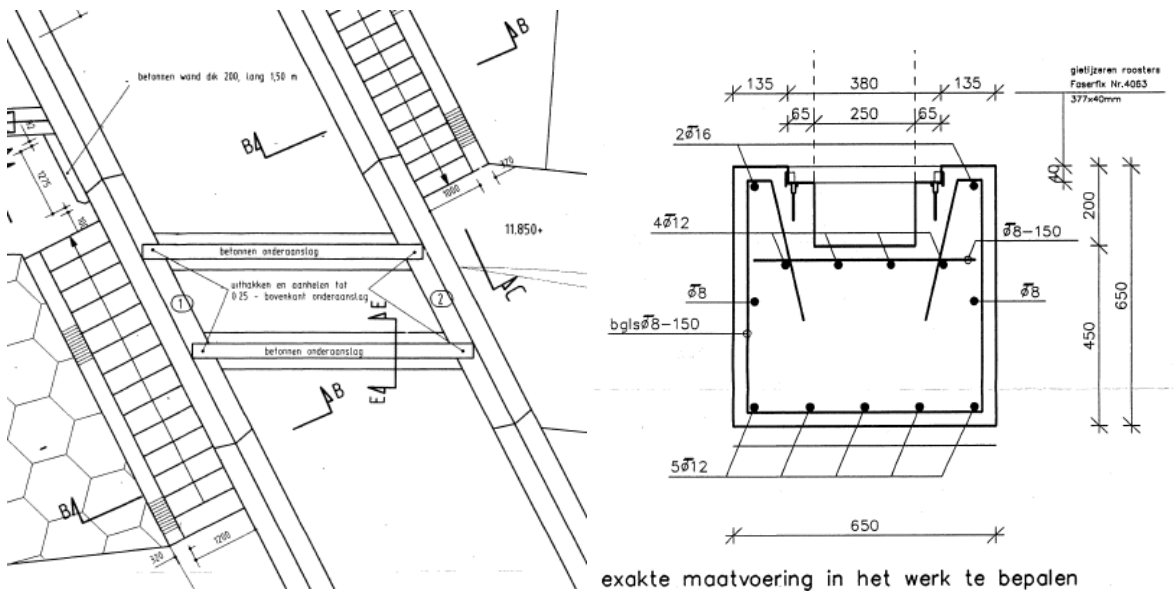
Tussen de wanden zijn op maaiveld twee schotbalkaanslagen gerealiseerd met een betonkwaliteit van B35 (zie [17]). De situatie op locatie wijkt echter af van de bestektekeningen. De balken hebben geen rooster, zijn niet rechthoekig en ook de afmetingen wijken af (zie Figuur 2-11). Het is aannemelijk dat deze afwijking voortkomt uit de betonnen plaat die (mogelijk onverwachts) is aangetroffen in het werk. Deze plaat wordt namelijk in geen enkel archiefdocument gemeld.



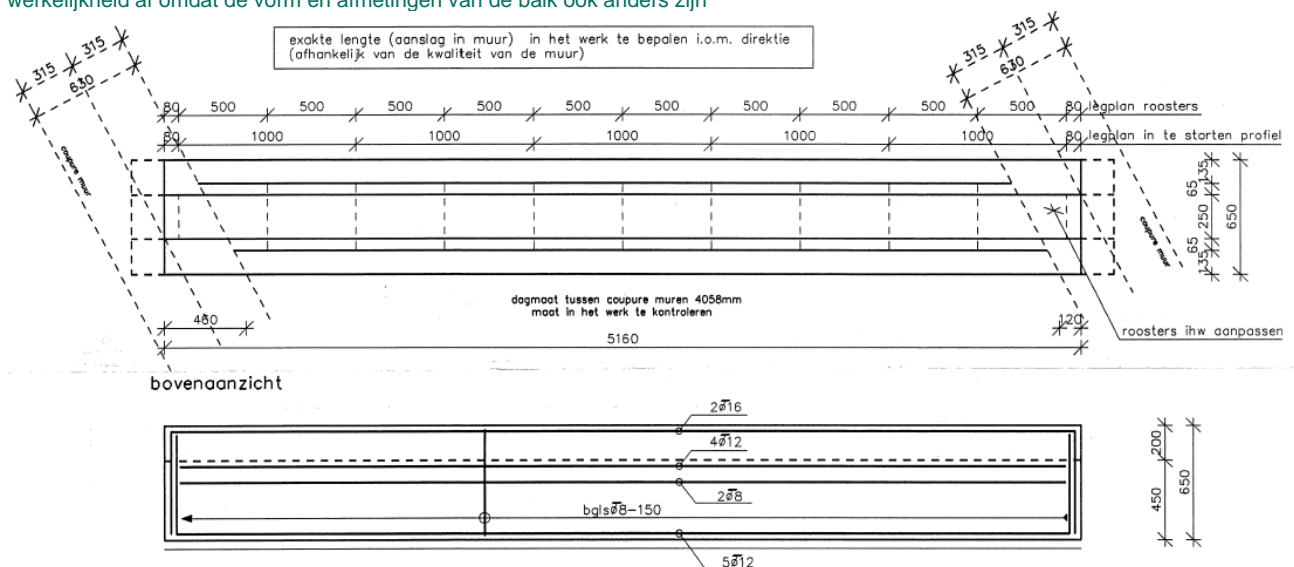
Figuur 2-11 Doorsnede onderslagbalk zoals aanwezig in bestaande situatie (links) en zoals omschreven in bestek (rechts, zie [15])



Figuur 2-12 Aanwezigheid betonnen plaat (800mm dik) tussen de onderslagbalken (zie [7])



Figuur 2-13 Boven-aanzicht onderslagbalken (links, zie [15]) en theoretische wapening (rechts; zie [17]) De wapening wijkt in werkelijkheid af omdat de vorm en afmetingen van de balk ook anders zijn



Figuur 2-14 Boven- en vooraanzicht wapening onderslagbalk coupure Waalstraat (zie [17])

Op maaiveldniveau is er asfalt aanwezig ter hoogte van het fietspad en stenen bestrating ter hoogte van het voetpad (hierna: verharding).

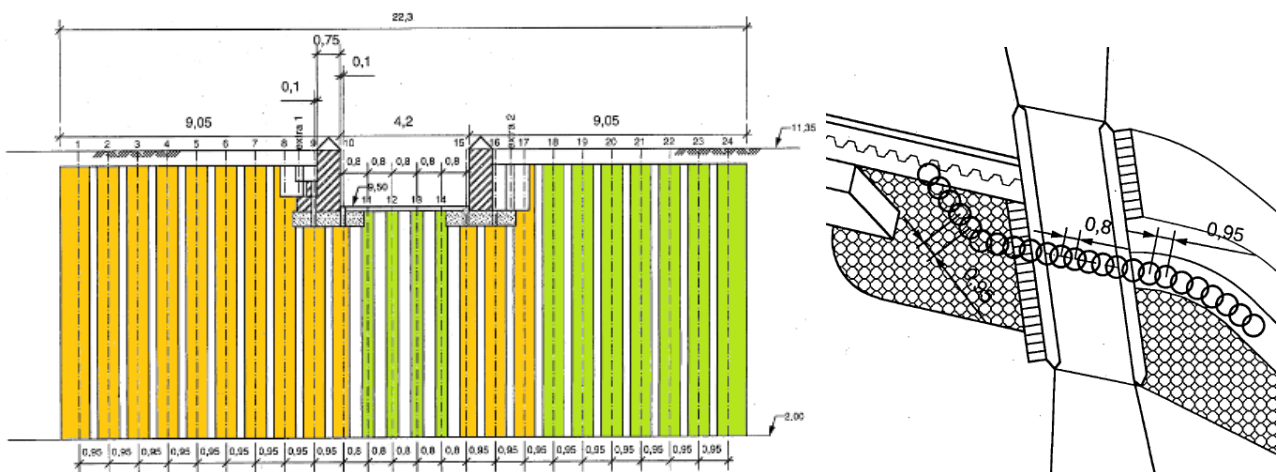
Binnendijs van de onderslagbalken bestaat de vloer uit verharding op een zandbed (totaal ca.450mm) op de betonplaat. Tussen de spouwen is ca. 160mm onder maaiveld een betonplaat aanwezig. Deze plaat rust op de doorgaande betonnen fundering.

Buitendijks is een vloeistofdichte vloer aangebracht. Deze bestaat uit een betonnen beschermplaat (dikte 100 tot 150mm) met daaronder HDPE-folie (1mm dik) verlijmd met de wanden van de coupure. Daarop ligt straatzand (ca. 100mm) en de verharding. Tussen de verharding en het folie zou drainage (PVC, geribbeld en geperforeerd, Ø50mm) aanwezig moeten zijn, maar dit kan niet aangetoond worden.

2.3.3. Onder- en achterloopsheid scherm

Het onder- en achterloopsheid scherm bestaat uit elkaar overlappende jetgroutpalen met een diameter van 1200mm en een h.o.h.-afstand van 950mm (buiten de wand) en 800mm (tussen de wanden t.p.v. de vloer; zie [6]). De onderzijde van de kolommen zou zich op +2,00m NAP moeten bevinden, echter is dit (nog) niet aangetoond. De bovenzijde bevindt zich op +11,35m NAP (dijklichaam) en +9,50m NAP (vloer).

Aan de noordzijde loopt de wand ca. 5m door en sluit deze aan op de gemetselde gewichtsmuur. De bovenzijde van zowel de gewichtsmuur als het scherm ligt op ca. 0,5m onder maaiveld. Het verloop van de wand is, voor zover bekend, conform bestek. Er zijn geen groutpalen aangetroffen tot 2m onder maaiveld (dijklichaam; zie [7])



Figuur 2-15 Onderloopsheid-/achterloopsheidscherm: aangetoonde aanwezige jetgroutpalen (links in groen) en onzeker (links in oranje, o.b.v. [7] Bijlage 1) en bovenaanzicht (rechts, zie [2])

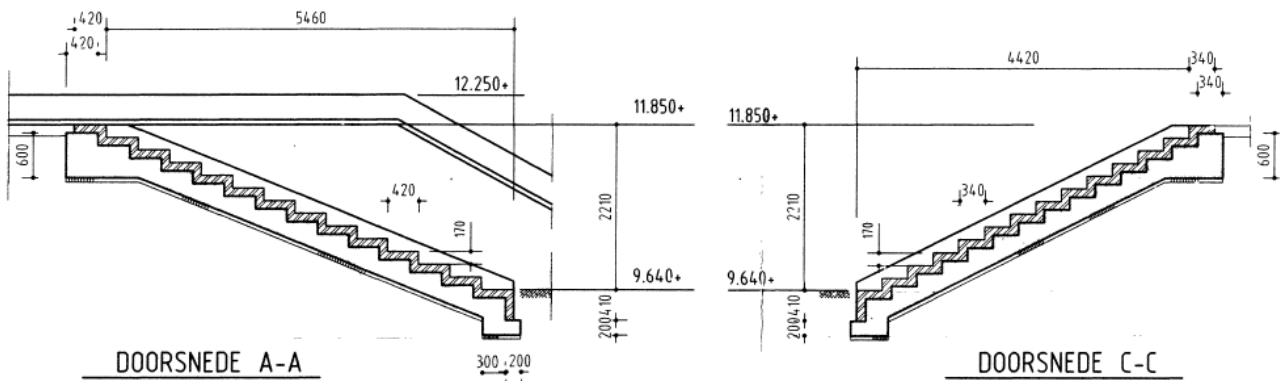
In tegenstelling tot de conclusie uit het inspectierapport van RPS (zie [7]) is de aanwezigheid van het scherm niet aangetoond ter hoogte van de vloer. Op basis van het fundatieonderzoek [11] kan namelijk worden geconcludeerd dat de uitgevoerde kernboringen in de vloer niet volledig door de fundatievloer zijn gegaan.

Aan de zuidzijde is onder de beton-/cementplaat en gewichtsmuur geen scherm aangetroffen/waarneembaar. De aanwezigheid van het scherm is hier dus niet vastgesteld. In het inspectierapport adviseert RPS dat er aanvullend onderzoek nodig is naar de aanwezigheid van dit scherm (zie [7]).

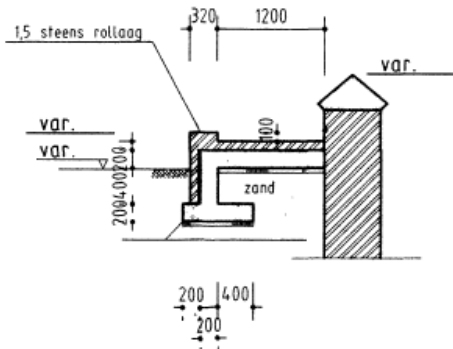
Er wordt aangenomen dat het scherm zowel aan de zuidzijde als tussen de wanden aanwezig is. Deze aanname is onderbouwd in paragraaf 9.1.

2.3.4. Trappen

Aan zowel de noord- als zuidzijde is resp. binnendijks en buitendijks een trap aanwezig. Deze trap is visueel gelijk aan de oorspronkelijke trap, maar waarschijnlijk vernieuwd in 1996 (zie Bijlage A). De trap bestaat uit prefab beton en is bekleed met metselwerk. Er is geen informatie beschikbaar over de wapening in het beton.



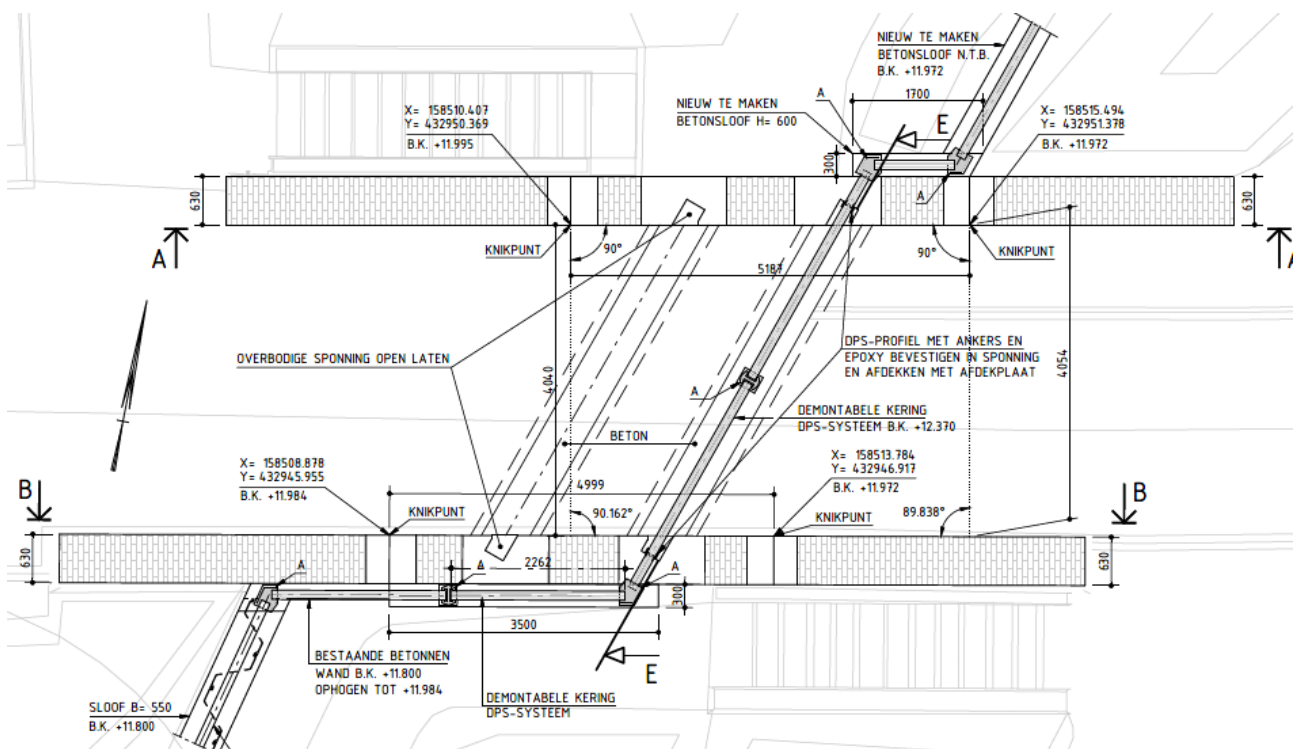
Figuur 2-16 Langsdoorsnede trappen coupure Waalstraat (zie [18])



Figuur 2-17 Dwarsdoorsnede trappen coupure Waalstraat (zie [18])

3 Wijzigingen ten opzichte van bestaande situatie

De coupure Waalstraat wordt aangepast om te voldoen tot het zichtjaar 2075. De aanpassingen betreffen voornamelijk het verhogen van de coupure en het aanbrengen van de demontabele kering DPS2000. De verhoging van de coupure wordt uitsluitend gedaan met behulp van de demontabele kering. Aan de noord- en zuidzijde wordt de demontabele kering doorgezet over de langsconstructies.



Figuur 3-1 Bovenaanzicht nieuwe situatie coupure Waalstraat (zie [19])

Om het DPS-systeem mogelijk te maken worden de volgende wijzigingen aan de coupure gedaan:

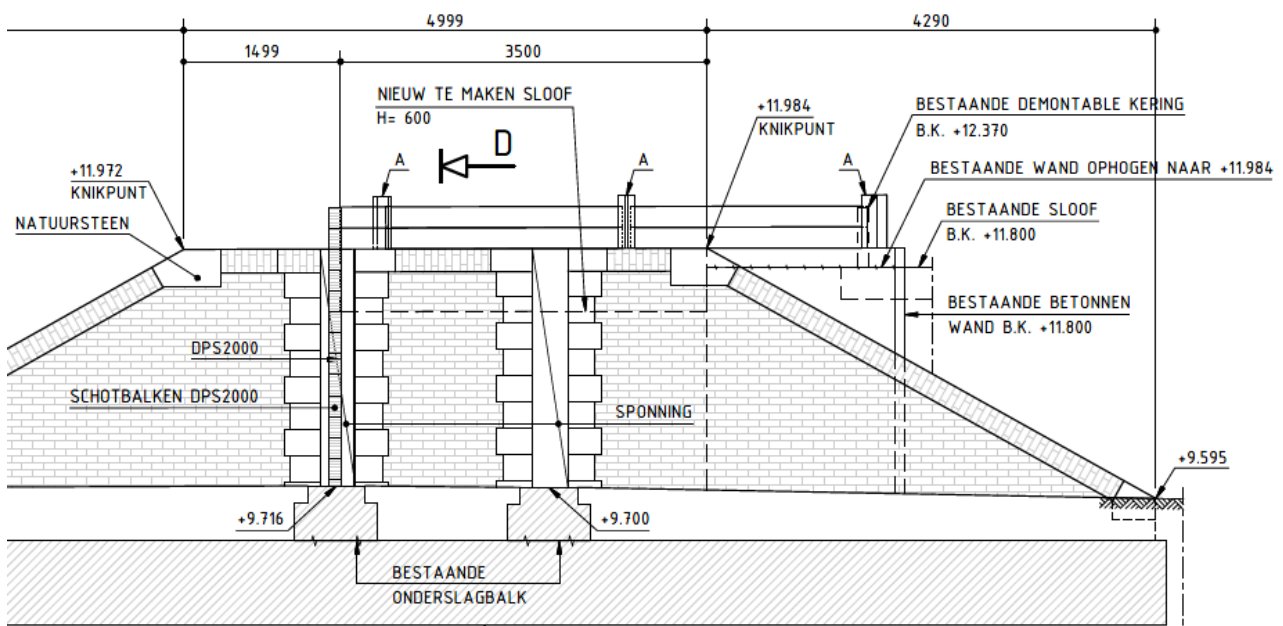
- Aan de achterzijde van beide wanden wordt een betonnen balk bevestigd. De bovenzijde van deze balk is gelijk aan de bovenzijde van de coupurewanden. Het doel is om een vlakke ondergrond te verkrijgen waarop de schotbalken aansluiten. In de balk worden voetplaten verankerd voor de staanders van het DPS-systeem;
- In het midden van de vloer wordt een voetplaat aangebracht in de onderslagbalk. De overspanning tussen de wanden is te groot voor een doorgaande schotbalk. De staander die hier wordt toegepast ($L < 3m$) is een verstijfde staander;
- In de natuursteen sponningen wordt met ankers en epoxy een DPS-profiel bevestigd waarin de schotbalken vallen. De hoogte van de schotbalken wordt zodanig aangepast dat de overgang naar de schotbalken bovenop de wand vlak is;

- In de overgang (zuidwest-zijde) naar de bestaande sloof op damwand (deeltraject 4C2) wordt de betonnen wand verhoogd en wordt er in deze wand een lage sponning aangebracht t.b.v. het hoogteverschil tussen de wand langs de coupure en de bovenzijde van de bestaande sloof (zie als voorbeeld Figuur 3-2).

De constructie wordt zodanig ontworpen dat in de toekomst verder verhoogd kan worden tot het zichtjaar 2125. Het uitgangspunt is dat er op dat moment alleen wijzigingen aan het DPS-systeem hoeven te worden gedaan. Deze betreffen het aanpassen van de lengte van de staanders en het aanleveren van extra schotbalken.



Figuur 3-2 Voorbeeld korte sponning in overgang coupure naar bestaande sloof op damwand



Figuur 3-3 Aanzicht zuidelijke wand coupure Waalstraat (zie [19])

4 Uitgangspunten en randvoorwaarden

4.1. Referenties

In Tabel 4-1 en Tabel 4-2 zijn de relevante gerelateerde rapporten en tekeningen benoemd.

Tabel 4-1 Relevante gerelateerde rapporten

Nr	Documentnummer	Datum	Documenttitel
[1]	430410.B11	21-08-1995	Bestek Verbeteren hoogwaterkering Tiel Stadswallen, Heidemij advies
[2]	430409.O18	28-03-1996	Werkplan Cementbentonietscherm, Gebr. Van Kessel
[3]	430409.O22 (6668E-T-2003.0056)	06-05-2003	Berekeningen Coupure Waalstraat Tiel, Bouwdienst Rijkswaterstaat
[4]	6668E-T-2003.0010	05-06-2003	Beoordelingsrapport Coupure Waalstraat Tiel, Bouwdienst RWS
[5]	SP-CZH-021-034852	14-07-2017	Sluitingsprotocol Coupure Waalstraat Tiel
[6]	079799477 A	15-05-2018	Update archiefonderzoek constructies en kunstwerken project Stad Tiel
[7]	1803784A00-R18-091	11-01-2019	Inspectierapportage KW17 Coupure Waalstraat, RPS
[8]	n.v.t.	12-03-2019	Veiligheidsanalyse Stad Tiel, Beoordelingsrapportage KW17 – Coupure Waalstraat versie 2.0, Movares
[9]	INFR200121-R-03	18-09-2020	Verificatieberekening Coupures Waterpoort en Waalstraat, Iv-Infra
[10]	R007-1274666NPL	18-12-2020	Technische uitgangspuntennotitie VO-fase, Tauw
[11]	INFR200121-N-13	15-03-2021	Fundatieonderzoek Coupure Waalstraat, Iv-Infra
[12]	INFR200121-R-02	12-03-2021	Beoordeling betrouwbaarheid sluiting bestaande en nieuwe coupures, Iv-Infra
[13]	n.v.t.	27-02-2020	Integrale veiligheidsanalyse Stad Tiel, samenvatting, actualisatie en aanscherping, Tauw
[14]	n.v.t.	30-01-2019	Beheer en onderhoudsplan Waterkeringen, Waterschap Rivierenland

Tabel 4-2 Relevante gerelateerde tekeningen

Nr	Documentnummer	Datum	Documenttitel
[15]	430409.X18	Juli 1995	11-7 Bestek situatie en details (coupure Waalstraat)
[16]	430409.X15	Juli 1995	11-10 Bestek metselwerk trappen en hellingbanen 2 (coupure Waterpoort)
[17]	430409.X028	07-02-1996	Wapening en vorm fundatie hellingbanen en onderslagen (coupure Waalpoort en Waalstraat)
[18]	430409.B11	Juli 1995	Te herbouwen coupure Waalstraat, situatie en details
[19]	1274666-TE-COU-VO-4c_SWR-0001-0	26-03-2021	VO-tekening KW17 Coupure Waalstraat, Iv-Infra

4.2. Normen en richtlijnen

In de onderstaande tabel zijn de van toepassing zijnde normen weergegeven.

Normering:	Omschrijving:
Eurocode 0	Grondslagen
NEN-EN 1990+A1+A1/C2:2019/NB:2019	Grondslagen van het constructief ontwerp
Eurocode 1	Belastingen op constructies
NEN-EN 1991-1- 1+C1+C11:2019/NB:2019	Algemene belastingen - Volumieke gewichten, eigen gewicht, opgelegde belastingen voor gebouwen
NEN-EN 1991- 2+C1:2015/NB:2019	Verkeersbelasting op bruggen
Eurocode 2	Ontwerp en berekening van betonconstructies
NEN-EN 1992-1- 1+C2:2011/NB:2016+A1:2020	Algemene regels en regels voor gebouwen
Eurocode 6	Ontwerp en berekening van constructies van metselwerk
NEN-EN 1996-1-1+A1:2013 /NB:2018	Deel 1-1 Algemene regels voor constructies van gewapend en ongewapend metselwerk
Eurocode 7	Geotechnisch ontwerp
NEN-EN 1997- 1+C1+A1:2016/NB:2019	Deel 1 Algemene regels
NEN 9997-1:2016/C2:2017	Geotechnisch ontwerp van constructies – Deel 1 Algemene regels
Overig	
CUR166 deel 2 6 ^e druk	Damwandconstructies
WOWK 2018	Werkwijzer Ontwerpen Waterkerende Kunstwerken – Ontwerpverificaties voor de hoogwatersituatie, RWS, versie D2, 2018
Schematiseringshandleiding Piping Kunstwerk	Schematiseringshandleiding piping bij kunstwerk, WBI2017, Rijkswaterstaat, Status: Definitief, 28-11-2019

4.3. Geometrische uitgangspunten

In Tabel 4-3 zijn de maaiveldniveaus, huidige niveau bovenkant coupure en de toekomstige hoogtes (zichtjaren 2075 en 2125) weergegeven. De hoofdafmetingen van de coupure zijn weergegeven in Figuur 2-3 en Figuur 2-4

Tabel 4-3: Geometrische uitgangspunten coupures

Kunstwerk	Maaiveld	Bovenzijde kering (huidig)	Aanleghoogte (zichtjaar 2075)*	Ontwerphoogte (zichtjaar 2125)*
KW17 Coupure Waalstraat	+9,54m NAP	+11,85m NAP	+12,37m NAP	+12,63m NAP

*Deze waarden betreffen de minimale hoogtes o.b.v. de bepaalde Hydraulische Belasting Niveaus (HBN) in [10]

4.4. Veiligheidsklasse, referentieperiode en restlevensduur

Voor de verbouw van de verbouw van de bestaande coupure wordt een ontwerplevensduur van 100 jaar gehanteerd met bijbehorend zichtjaar van 2125 voor de toetsingen ten aanzien van sterkte en stabiliteit. De uitbreiding in hoogte wordt in fases uitgevoerd, waarbij eerst verhoogd wordt tot de hoogte voor het zichtjaar 2075.

Omdat de constructie zich in de primaire waterkering bevindt is deze conform het Bouwbesluit ingedeeld in de gevolgklasse CC3 en RC3.

4.5. Duurzaamheid en waterdichtheid

4.5.1. Algemeen

Er wordt een onderscheid gemaakt tussen de bestaande constructie (verbouw) en de nieuw te bouwen constructie-onderdelen (nieuwbouw). De eisen voor duurzaamheid en waterdichtheid zijn alleen van toepassing op constructief gewapend beton. De betonnen elementen in de bestaande constructie betreffen de onderslagbalk (schotbalkaanslag) en fundatieplaat. Er vindt geen wijziging van de globale krachtwerving in deze elementen plaats en daarom zijn duurzaamheidseisen (dekking en scheurwijdte) niet relevant.

De nieuwe betonnen onderdelen betreffen de balken die op het maaiveld van de kruin worden geplaatst. Deze onderdelen worden getoetst op scheurwijdte conform de huidige normen en richtlijnen. In de volgende paragrafen is nader uitgewerkt wat de specifieke duurzaamheidseisen voor nieuwbouw zijn.

4.5.2. Waterdichtheid

Er zijn geen eisen gesteld aan de waterdichtheid van de constructie. In principe wordt de waterdichtheid van de constructie ingedeeld in dichtheidsklasse 0 (conform NEN-EN1992-3). Dit betekent dat enige mate van lekkage acceptabel is. De scheurwijdte-berekening wordt uitgevoerd conform NEN-EN1992-1-1 art. 7.3.1.

4.5.3. Duurzaamheid (nieuwbouw)

In Tabel 4-4 t/m Tabel 4-6 is voor de diverse soorten onderdelen de constructieklasse, milieuklasse, dekking en scheurwijdte bepaald.

Tabel 4-4 Uitgangspunten bepaling dekking

Nr	Omschrijving	Beton-kwaliteit	Ondergrond	Oneffen	Slecht inspecteerbaar	Onbekist	Nabewerkt	Nauwkeurig meten
1	Coupure bovenzijde	C30/37	Stortvlak	Nee	Nee	Ja	Ja	Nee
2	Coupure zijkant (tot -1m m.v.)	C30/37	Bekist	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee
3	Coupure onderzijde (tot -1m m.v.)	C30/37	Voorbereid	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee

Tabel 4-5 Constructieklasse

Nr	Omschrijving	Algemeen			EC2		
		Basis	Leven	Sterkte	Plaat	Kwal.	Totaal
1	Coupure bovenzijde	S4	+2				S6
2	Coupure zijkant (tot -1m m.v.)	S4	+2				S6
3	Coupure onderzijde (tot -1m m.v.)	S4	+2				S6

Tabel 4-6 Milieuklasse, dekking en scheurwijdte

Nr	Omschrijving	Milieuklassen	C _{nom} [mm]	C _{toeg} [mm]	k _x [-]	W _{max} [mm]	W _{toel} (=k _x ·W _{max}) [mm]
1	Coupure bovenzijde	XC4 XD3 XF4	60	60	1,00	0,200	0,200
2	Coupure zijkant (tot -1m m.v.)	XC4 XD3 XF2	60	60	1,00	0,200	0,200
3	Coupure onderzijde (tot -1m m.v.)	XC4 XD3 XF2	70	70	1,00	0,200	0,200

4.6. Hydraulische randvoorwaarden

In de TUN [10] (bijlage 4) zijn de uitgangspunten en de werkwijze bij het bepalen van de hydraulische belastingen voor de kunstwerken beschreven. Voor het faalmechanisme constructief falen zijn de waterstand, golfhoogte en golfpiekperiode berekend. De faalkanseisen conform het bouwbesluit zijn hierbij maatgevend. De hydraulische belastingen zijn bepaald voor zowel de situatie dat de vervalbelasting maatgevend is als de situatie dat de golfbelasting maatgevend is. Voor de kunstwerken is de situatie 'vervalbelasting maatgevend' maatgevend.

De hydraulische randvoorwaarden per coupure zijn weergegeven in Tabel 4-7. Daarnaast zijn de maatgevende waterstanden voor het faalmechanisme Piping berekend, Tabel 4-8. In het bepalen van de belastingen is het randvoorwaardenpunten Dkr 43 Waal km 914-915 Loc 12_158515_432877 gebruikt.

Tabel 4-7: Maatgevende hydraulische belastingen faalmechanisme constructief falen (zichtjaar 2125)

Coupires	Waterstand [m NAP]	Golfhoogte [m]	Golfpiekperiode* [s]
KW17 Waalstraat	+12,25	0,80	3,46

* De golfpiekperiode is berekend door de spectrale golfperiode (=uitvoer HydraNL) te vermenigvuldigen met een factor 1,1

Tabel 4-8: Maatgevende hydraulische belasting faalmechanisme piping (zichtjaar 2125)

Coupires	Waterstand [m NAP]
KW17 Waalstraat	+12,16

4.7. Materialen

4.7.1. Soortelijk gewicht

Het soortelijk gewicht wordt aangehouden conform NEN-EN1991-1-1 Bijlage A en is weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 4-9 Soortelijke gewichten materialen

Materiaal	Waarde	Eenheid
Gewapend beton	25,0	kN/m ³
Metselwerk	20,0	kN/m ³
Natuursteen	27,0	kN/m ³
Wapeningsstaal	78,5	kN/m ³
Constructiestaal	78,5	kN/m ³
Asfalt	23,0	kN/m ³
Water	10,0	kN/m ³
Zand (droog, verdicht)	18,0	kN/m ³
Zand (nat, verdicht)	20,0	kN/m ³

4.7.2. Beton

Het beton van de naastgelegen wand, fundatiestroken en vloeren heeft een kwaliteit van B35 (zie [1] p.171 t/m 173). Dit staat gelijk aan een betonkwaliteit C28/35. Het beton is uitgevoerd onder milieuklasse 3.

4.7.3. Betonstaal

De betonwapening van de coupure heeft een kwaliteit van FeB400 HWL (zie [1] p.171).

4.7.4. Metselwerk

Het metselwerk dat tijdens de renovatie is aangebracht bestaat uit metselbakstenen van standaard Waalformaat met maatklasse 1 (zie [1] p.170).

4.7.5. Natuursteen

De sponningen en een aantal dekstenen zijn uitgevoerd in natuursteen. Op basis van de kleur en materiaal wordt gesteld dat het graniet betreft. In de verificatieberekening (zie [9]) is een druksterkte van 165 tot 320MPa aangehouden voor natuursteen toegepast in Nederland (afkomstig uit het Tabellenboek voor de bouw, blz. 438). Deze waarde wordt overgenomen in de voorliggende berekening.

4.8. Geotechnische uitgangspunten

4.8.1. Bodemopbouw en sterkte parameters

Het beschikbare grondonderzoek voldoet wat betreft omvang aan de gestelde eisen uit de Eurocode 7. De bodemopbouw en grondparameters zijn overgenomen uit 'Verificatieberekening Coupures Waterpoort en Waalstraat, Iv-Infra' [9].

Tabel 4-10 Grondopbouw en grondparameters ter plaatse van KW17 (Sondering 18A/B)

Grondsoort	b.k. laag [NAP]	o.k. laag [NAP]	γ_{droog} [kN/m ³]	γ_{nat} [kN/m ³]	ϕ'_{kar} [°]	c'_{kar} [kN/m ²]	c_u [kN/m ²]
Dijkmateriaal	mv	2,0	18,54	18,54	22,50	5,00	80,00
Zand, los-matig	2,0	0,0	18,00	20,00	30,00	0,00	n.v.t.

Grondsoort	b.k. laag [NAP]	o.k. laag [NAP]	γ_{droog} [kN/m ³]	γ_{nat} [kN/m ³]	Φ'_{kar} [°]	C'_{kar} [kN/m ²]	C_u [kN/m ²]
Klei, siltig	0,0	-2,0	16,82	16,82	20,00	2,50	50,00
Zand, los-matig	-2,0		18,00	20,00	30,00	0,00	n.v.t.

4.8.2. Modelling

Uit het recent uitgevoerde fundatie onderzoek van de coupure is gebleken dat onder de coupure een doorgaande betonplaat aanwezig is waarop de coupurewanden zijn opgebouwd, zie Figuur 2-3 en Figuur 2-4. De berekeningen zijn daarom uitgevoerd uitgaande van een geschematiseerd funderingselement met de afmeting van de betonplaat (poer).

De fundering is gecontroleerd op het mechanisme schuiven, op draagvermogen en het mechanisme kantelen.

Uitgangspunten fundering

- Voor het aanlegniveau is op basis van Figuur 2-4 uitgegaan van een niveau van 1,25 m – maaiveld, wat overeenkomt met een NAP-niveau van +8,3 m.
- Afmeting grondvlak coupure (betonplaat) B x L: 5,3 (=4,04+2*0,63) x 13,13 m.

Uitgangspunten (grond)waterstand

- Voor de maatgevende (horizontale) waterdruk aan de Waalzijde is uitgegaan van de drukfiguur volgens Figuur 5-1. De statische waterdruk is gerekend vanaf onderkant fundering (8,3 m + NAP) tot 12,25 m + NAP. Extra waterdruk als gevolg van golven is gerekend vanaf maaiveld (9,54 m + NAP) tot de bovenzijde van de toekomstige kering (12,63 m + NAP).
De grondwaterstand aan de stadzijde is aangenomen op 0,5 m – maaiveld, er van uitgaande dat het aanwezige zandbed onder de verharding altijd voor enige drainage zal zorgen.

Uitgangspunt (wand)wrijving

- Weerstand tegen het mechanisme schuiven wordt geleverd door wrijving langs de onderkant van de fundering en door wrijving langs de achterzijde van de coupurewanden.
- Gunstige werking van passieve gronddruk tegen de fundering is verwaarloosd, evenals de gunstige invloed van de aangebrachte jetgroutpalen tegen piping.
- Voor de fundering is uitgegaan van in het werk gestort beton waarbij de wrijvingshoek $\delta' = \varphi'$ is gesteld. Voor coupurewanden (ruw metselwerk) is eveneens met een wrijvingshoek $\delta' = \varphi'$ gerekend.
- Voor de wrijving aan de achterzijde van de coupurewand is uitgegaan van het onder water gewicht van het dijksmateriaal (dijk is verzadigd), en een neutrale gronddrukfactor ($K_0 = 0,5$).
- Voor de berekening van de wandwrijving is voor de hoek van inwendige wrijving een partiële factor $\gamma_{\varphi'} = 1,2$ (op $\tan(\varphi')$) in rekening gebracht conform Eurocode 7.

Het mechanisme schuiven is gecontroleerd met een handberekening. Het draagvermogen en het mechanisme kantelen zijn gecontroleerd met de in D-Foundations aanwezige module 'Funderingen op staal'.

4.9. Computersoftware

Voor de berekening is gebruik gemaakt van de volgende software:

Softwarepakket	Versienummer	Omschrijving
D-Foundations	19.1	Deltares software voor het berekenen van een fundering op staal

5 Belastinggevallen en -combinaties

5.1. Eigen gewicht (totaal)

Ten behoeve van de berekening van de fundering is het totale gewicht van de constructie bepaald. Het totale gewicht betreft het gewicht van de wanden, de onderslagbalken, de fundatievloer en grondbelasting op de fundatievloer in de situatie dat er geen hoogwater aanwezig is. Het eigen gewicht is als volgt bepaald:

- Wand (noord):
 - Natuursteen:

$$V = 2470\text{mm} \cdot \left(940\text{mm} \cdot 630\text{mm} - 270\text{mm} \cdot \frac{255\text{mm} + 393\text{mm}}{2} \right) = 1,247\text{m}^3$$

$$F_{\text{eg,natuursteen}} = 2\text{stuks} \cdot 1,247\text{m}^3 \cdot 27 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 67\text{kN}$$
 - Metselwerk:

$$A = 2760\text{mm} \cdot 5187\text{mm} + \frac{1}{2} \cdot 2760\text{mm} \cdot 4500\text{mm} + \frac{1}{2} \cdot 2760\text{mm} \cdot 3440\text{mm} = 25,27\text{m}^2$$

$$F_{\text{eg,metselwerk}} = 25,27\text{m}^2 \cdot 630\text{mm} \cdot 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 318\text{kN}$$
 - Wand (zuid):
 - Natuursteen: zie noordelijke wand 67kN
 - Metselwerk:

$$A = 2760\text{mm} \cdot 4999\text{mm} + \frac{1}{2} \cdot 2760\text{mm} \cdot 4050\text{mm} + \frac{1}{2} \cdot 2760\text{mm} \cdot 4270\text{mm} \approx 25,27\text{m}^2$$

$$F_{\text{eg,metselwerk}} = 25,27\text{m}^2 \cdot 630\text{mm} \cdot 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 318\text{kN}$$
 - Onderslagbalken:

$$A = 790\text{mm} \cdot 450\text{mm} - 2 \cdot 120\text{mm} \cdot 160\text{mm} = 0,317\text{m}^2$$

$$F_{\text{eg,onderslagbalken}} = 2\text{stuks} \cdot 0,317\text{m}^2 \cdot \frac{4040\text{mm}}{\sin 60^\circ} \cdot 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 74\text{kN}$$
 - Fundatievloer:

$$A = (2 \cdot 630\text{mm} + 4040\text{mm}) \cdot (4500\text{mm} + 5187\text{mm} + 3440\text{mm}) = 69,573\text{m}^2$$

$$F_{\text{eg,fundatievloer}} = 69,573\text{m}^2 \cdot 800\text{mm} \cdot 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 1391\text{kN}$$
 - Rustende belasting grond: Het eigen gewicht van de verharding wordt verwaarloosd

$$F_{\text{rb,grond}} = \left(69,573\text{m}^2 \cdot 450\text{mm} - 0,317\text{m}^2 \cdot \frac{4040\text{mm}}{\sin 60^\circ} \right) \cdot 18 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 537\text{kN}$$
- Totaal: $2 \cdot (67\text{kN} + 318\text{kN}) + 74\text{kN} + 1391\text{kN} + 537\text{kN} = \mathbf{2772\text{kN}}$

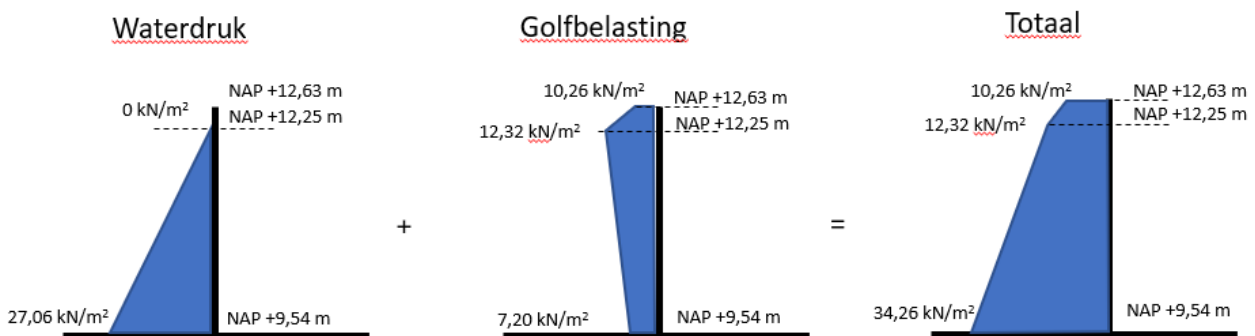
5.2. Hydraulische belasting

De hydraulische belasting is de belasting die tijdens hoogwater door een combinatie van de waterstand (= vervalbelasting) en golfhoogte (= golfbelasting) optreedt. Voor de toets op sterkte en stabiliteit wordt als volgt onderscheid gemaakt tussen de volgende grenstoestanden:

- Bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT): Dit betreft de situatie waarin vervormingen en scheurwijdtes worden getoetst. Voor de BGT wordt alleen de waterdruk in rekening gebracht. De golfbelasting wordt verwaarloosd omdat deze niet continu aanwezig is;

- Uiterste grenstoestand (UGT): De som van de waterdruk en golfbelasting wordt in rekening gebracht.

Voor coupure Waalstraat is de hydraulische belasting berekend op basis van de randvoorwaarden uit paragraaf 4.6. Daarin is de golfbelasting is bepaald met het model van Goda. De horizontale druk die daaruit volgt is weergegeven in Figuur 5-1.



Figuur 5-1 Hydraulische belasting

5.3. Belastingcombinaties

De belastingcombinaties zijn opgesteld conform de NEN-EN1990 (Bouwbesluit; ingedeeld onder gebouwen) en de WOWK par. 7.10 (Waterwet). Omdat er in de Eurocode nauwelijks wordt ingegaan op waterkundige belastingen zijn de richtlijnen in de WOWK toegepast met betrekking tot hoe deze belastingeffecten in rekening dienen te worden gebracht.

De maatgevende belastingcombinatie tijdens hoogwater is afhankelijk van de hydraulische. Omdat de projectlocatie in het bovenrivierengebied ligt wordt aangenomen dat er een zwakke correlatie tussen waterstand en golven is (conform WOWK par. 7.10.2.1). Daarnaast geldt er voor de constructies binnen dit project dat de hydraulische belasting maatgevend is boven het eigen gewicht (zie onderstaande tekst). Er kan daarom worden volstaan om de hydraulische belasting alleen in vergelijking 6.10b te toetsen.

In verreweg de meeste gevallen zal 6.10b maatgevend zijn voor de hoogwaterbelastingssituatie. Enkel in het geval dat het eigengewicht 80% of meer van de totale belasting beslaat, kan 6.10a het maatgevende belastingeffect geven.

Figuur 5-2 Citaat uit de WOWK par. 7.10.2

Er worden twee soorten uiterste grenstostanden (UGT) beschouwd (conform NEN-EN1990 art. 6.4.1 en 6.4.2), namelijk:

- STR: Intern bezwijken of buitensporige vervorming van de constructie of van constructieve elementen;
- EQU: Statisch evenwicht van de constructie.

De belastingcombinaties in de uiterste grenstoestand zijn gebaseerd op de onderstaande formules.

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \\ \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} (6.10a) \\ (6.10b) \end{array}$$

De belastingcombinaties voor de karakteristieke en frequente combinatie in de bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT) zijn respectievelijk gebaseerd op de volgende formules:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.14b)$$

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (6.15b)$$

Als uitgangspunt voor het samenstellen van de belastingcombinaties geldt dat de hydraulische belasting niet gelijktijdig met de verkeersbelasting in rekening gebracht wordt. Tijdens hoogwater zijn er verkeersmaatregelen aanwezig die de toegang van verkeer tot nabij de constructie beperken.

Tabel 5-1 Belastingfactoren behorend bij CC3

Belastinggeval	Sterkte (STR/GEO) (conform NEN-EN1990 Tabel NB.5 en WOWK Tabel 11)	Statisch evenwicht (EQU) (conform NEN-EN1990 Tabel NB.3 – A1.2(A) en WOWK Tabel 11)
Eigen gewicht (ongunstig)	1,50 ($\approx 1,10 \cdot 1,35$) en $\xi = 0,89$	1,10 ($= 1,10 \cdot 1,00$)
Eigen gewicht (gunstig)	0,90	0,90
Gronddruk	1,10 ($= 1,10 \cdot 1,00$)	1,10 ($= 1,10 \cdot 1,00$)
Grondwaterdruk	1,00*	1,00*
Hydraulische belasting	1,00**	1,00**
Temperatuur	1,65 ($= 1,10 \cdot 1,50$)	n.v.t.
Verkeersbelasting	1,50*** ($\approx 1,10 \cdot 1,35$)	1,50 ($\approx 1,10 \cdot 1,35$)

* De grondwaterdruk is gebaseerd op de waterdruk van de hydraulische belasting (zie WOWK par.7.10.4.3)

** Voor de hydraulische belasting is geen belastingfactor van toepassing omdat de overschrijdingskans is verwerkt in de rekeningwaarde (zie WOWK par.7.10.2)

*** Dit is lager dan de waarde 1,65 uit EC0, maar wordt hier toegepast omdat dit vermeld staat in de WOWK Tabel 11

Tabel 5-2 Ψ -factoren (conform NEN-EN1990 Tabel NB.2 - A1.1)

Belasting	Ψ_0 [-]	Ψ_1 [-]	Ψ_2 [-]
Hydraulische belasting	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Verkeersbelasting (categorie G)	1,00*	0,50	0,30
Temperatuur	0	0,50	0

* Conform de rechterkolom uit WOWK Tabel 11. Dit is maatgevend boven de Ψ_0 van 0,70 uit EC0

6 Berekeningen en toetsing fundering

6.1. Opzet berekeningen

De fundering is gecontroleerd op het mechanisme schuiven, op draagvermogen en het mechanisme kantelen.

6.2. Mechanisme schuiven

6.2.1. Inleiding

Aan de veiligheidseis wordt voldaan als de resultante van de horizontale waterdruk kleiner is dan de wrijvingsweerstand langs de onderkant van de fundering en langs de achterzijde van de coupurewanden.

$$H_d < R_d = V'_d * \tan(\delta_d) + F_{hor, res, d} * \tan(\delta_d), \text{ waarin}$$

H_d = De rekenwaarde van de horizontaalkracht uit de waterdruk op de coupure (zie 5.2).

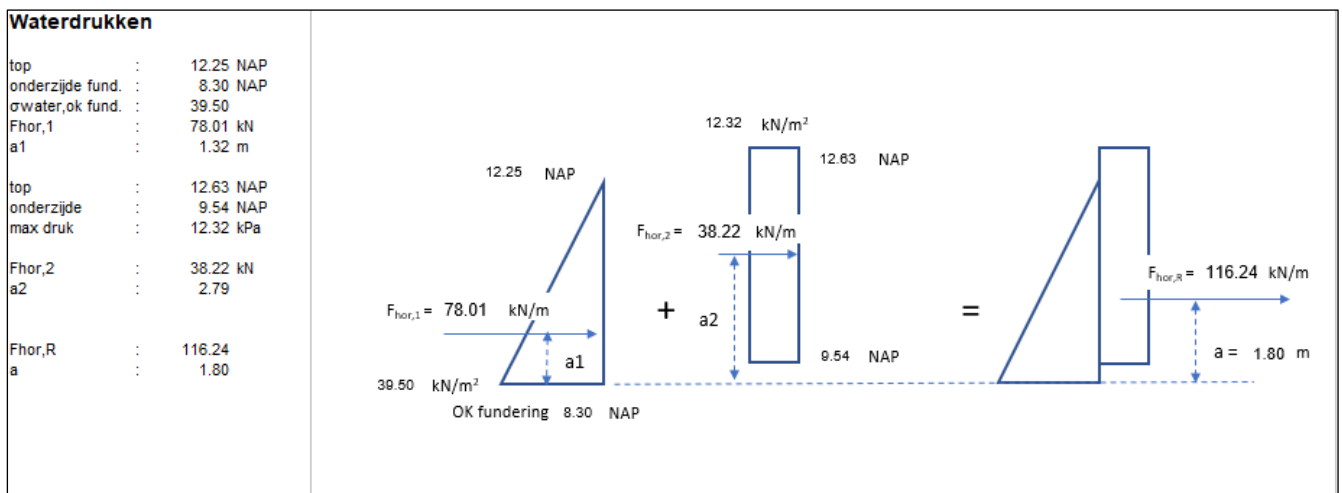
V'_d = De rekenwaarde van de verticaalkracht als gevolg van het eigen gewicht van de coupure (zie 5.1).

$F_{hor, res, d}$ = De rekenwaarde van de horizontale resultante gronddruk (korrelspanningen) tegen de coupurewanden.

$\tan(\delta_d)$ = De rekenwaarde van de wrijvingsfactor tussen fundering/wand en grond, voor een ruwe wand $\delta = \varphi$.

6.2.2. Horizontale waterdruk

Op basis van de hydraulische belasting is in onderstaande figuur de resultante horizontaalkracht uit de waterdruk afgeleid. Deze bedraagt $F_{hor, R, d, waterdruk} = 116,24 \text{ kN/m}$ breedte.



Figuur 6-1 Afleiding resultante waterdruk op de coupure per meter breedte

6.2.3. Wrijving op onderkant fundering

De weerstand biedende wrijving langs de onderkant van de fundering wordt beschreven met:

$$F_{\text{wrijving fundering,d}} = V'_d * \tan(\delta_d).$$

Bij de bepaling van het eigen gewicht van de coupure is rekening gehouden met de opwaartse waterdruk tijdens hoog water aangezien een deel van de coupure onder water staat. Er is mee gerekend dat de betonvloer bij maatgevend hoog water geheel onder water staat (stadzijde en Waalzijde) en dat het resterende gewicht zich voor de helft boven water bevindt (stadzijde) en de andere helft onder water (Waalzijde). Voor de vloer is gerekend met een onderwater gewicht van 15 kN/m^3 en voor het deel van de coupure dat onder water staat (Waalzijde) is het eigen gewicht vanwege de opwaartse kracht gehalveerd, uitgaande van een gemiddelde neerwaartse belasting van 20 kN/m^3 .

Voor het karakteristieke eigen gewicht (totale gewicht) resulteert dan (zie 5.1):

$$V'_{\text{kar}} = 1391 * 15 / 25 + (2774 - 1391) * 3 / 4 = 1872 \text{ kN. Hieruit volgt:}$$

$$F_{\text{wrijving fundering,d}} = V'_{\text{kar}} * \gamma_{G;\text{stb}} * \tan(\delta_{\text{kar}}) / \gamma_{\phi'} = 1872 * 0,9 * \tan(22,5) / 1,2 = 582 \text{ kN.}$$

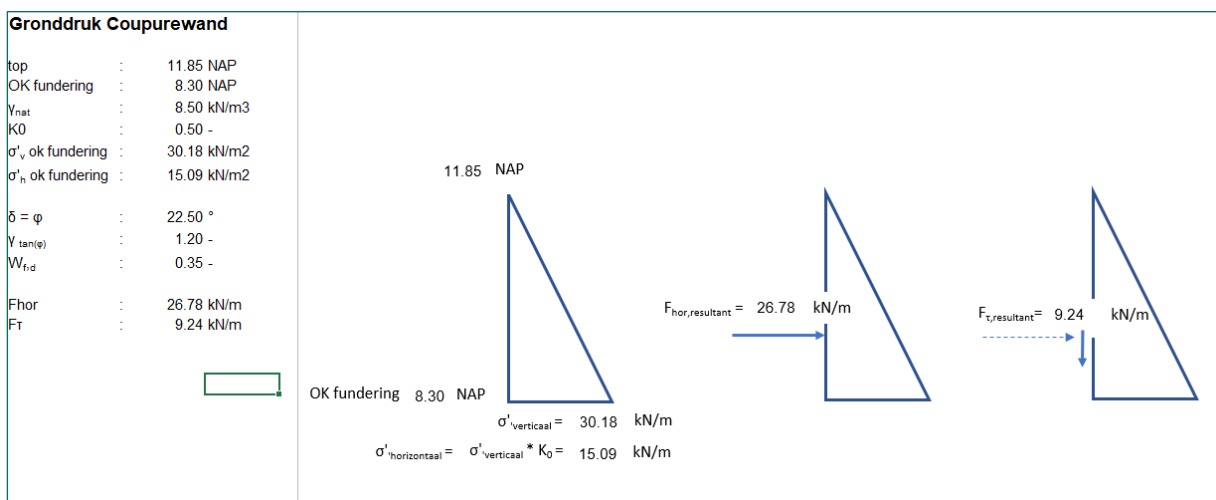
$\gamma_{G;\text{stb}}$ = partiële factor voor gunstig werkende belasting.

δ_{kar} = hoek van inwendige wrijving voor een ruw oppervlak ($\phi = 22,5^\circ$ voor dijksmateriaal).

$\gamma_{\phi'}$ = partiële factor op de hoek van inwendige wrijving.

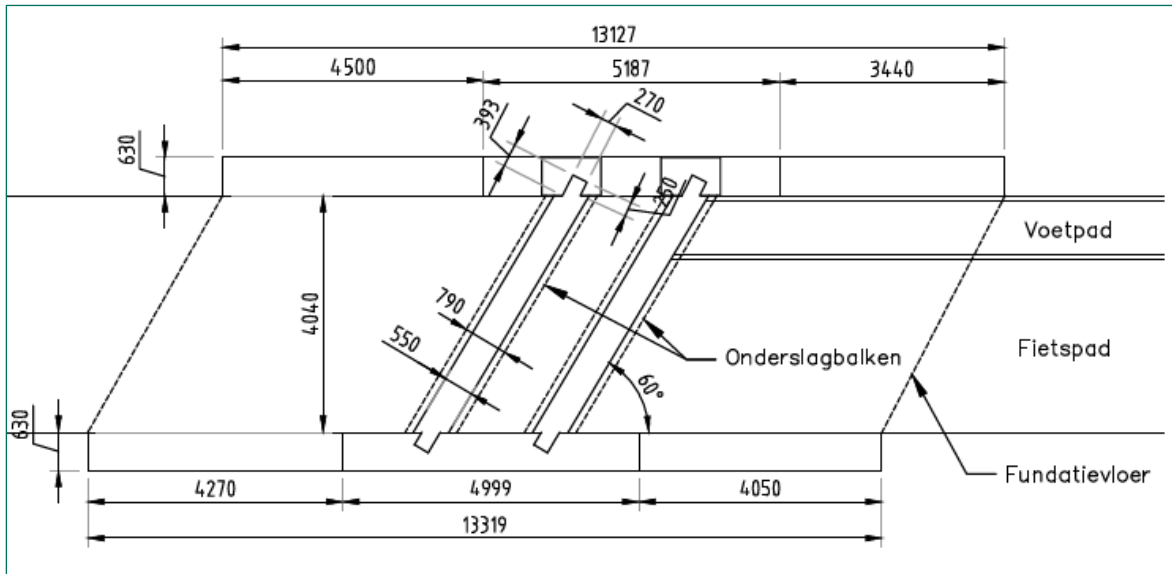
6.2.4. Wrijving langs achterzijde coupurewanden

In onderstaande figuur is de berekening van de maximale wrijving (rekenwaarde) per strekkende meter wand uitgewerkt. Op basis van het contactoppervlak tussen de coupurewanden en de grond is de totale wrijving voor coupure berekend. Voor de grond is uitgegaan van de eigenschappen van 'Dijksmateriaal'.



Figuur 6-2 Berekening wandwrijving coupurewanden (maximale hoogte coupurewand)

Voor de totale wandwrijving per strekkende meter (maximale hoogte) is een rekenwaarde van $F_{T,d} = 9,24$ kN/m' berekend.



Figuur 6-3 Bovenaanzicht coupurewanden

De wrijving is berekend voor beide wanden, waarbij het hoogste punt van de coupurewand over ca. 5 m horizontaal loopt en vervolgens over een horizontale afstand van ca. 4 m naar beide uiteinden afloopt tot onderkant fundering (zie Figuur 6-3). Ter plaatse van het hoogste deel van de wand wordt gerekend met de maximale wrijving volgens Figuur 6-2, voor het aflopende deel wordt gemiddeld tussen de maximale wrijving (hoogste niveau) en 0 (funderingsniveau).

$$F_{\text{wrijving coupure,d}} = 2 * (5 * 9,24 + 2 * 4 * \frac{1}{2} * (0 + 9,24)) = 166 \text{ kN.}$$

6.2.5. Toetsing horizontaal evenwicht

$$H_d < R_d = V'_d * \tan(\delta_d) + F_{\text{hor res,d}} * \tan(\delta_d)$$

$$\text{Waarin } H_d = 116 * (4,04 + 2 * 0,63) = 616 \text{ kN}$$

$$R_d = (582 + 166) = 748 (>616)$$

Hieruit volgt dat de coupure voldoet op horizontaal evenwicht.

6.3. Draagvermogen en mechanisme kantelen

De toetsing is uitgevoerd met D-Foundations, waarbij de coupure als een funderingselement met een lengte en breedte is geschematiseerd en het eigen gewicht als verticale kracht en de horizontale waterdruk als horizontale kracht.

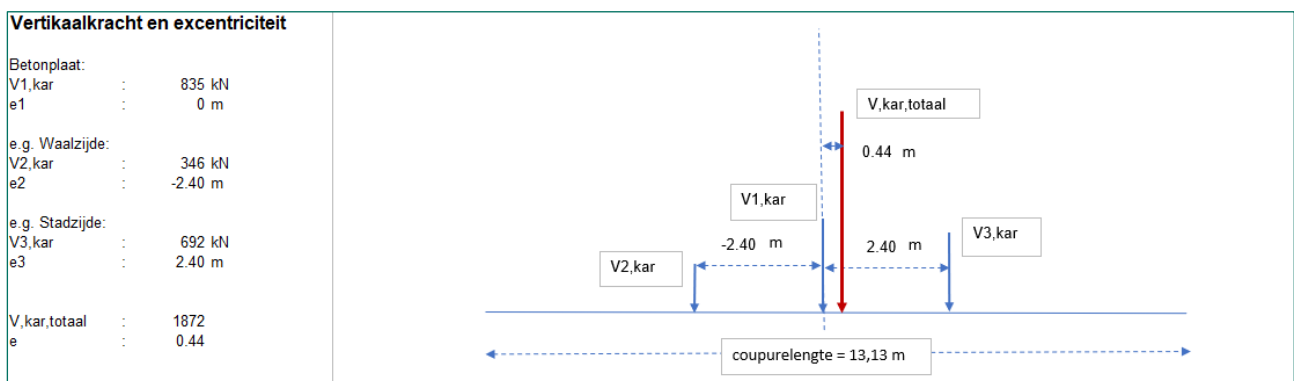
Uitgangspunten:

Afmeting fundering coupure : B = 5,3 m en L = 13,13 m.

Eigen gewicht coupure : $V_{kar, totaal} = 1872 \text{ kN}$. $F_{v,d, totaal} = V_{kar, totaal} * \gamma_{G, stb} = 1872 * 0,9 = 1685 \text{ kN}$ (lage verticaalkracht is maatgevend). Excentriciteit ten opzichte van het midden van de fundering is 0,44 m.

Waterdruk (maatgevend HW) : $H_{d, totaal} = 616 \text{ kN}$ op een hoogte van 1,8 m ten opzichte van de onderkant fundering (zie Figuur 6-1).

Vanwege de hogere waterstand aan de Waalzijde is sprake van een geringe excentriciteit van de resultante verticaalkracht ten opzichte van het midden van de coupure. Zie onderstaande figuur.



Figuur 6-4 Vertikaalkracht en excentriciteit ten opzichte van het midden van de coupure

Uit de gemaakte berekeningen blijkt dat de coupure wat betreft het draagvermogen voldoet voor de gedraineerde situatie en ongedraineerde situatie en tevens voor het mechanisme kantelen. Zie Bijlage C.

Tabel 6-1 Toetsing draagvermogen en stabiliteit

	Belasting V_d [kN]	Draagvermogen R_d [kN]	Voldoet
Situatie gedraineerd	1685	8041	Ja
Situatie ongedraineerd	1685	12090	Ja
Situatie kantelstabiliteit	-	-	Ja

7 Berekening en resultaten constructie

Na uitvoering van het ontwerp treedt er geen wijziging op in de krachtswerking in de hoofddragconstructie. De stabiliteit en het evenwicht van de wanden blijft gelijk aan de huidige situatie. De huidige situatie is reeds getoetst in de verificatieberekening (zie [9]). Door het aanbrengen van het DPS2000-systeem wijzigt echter wel de krachtswerking in de sponning. Daarom is in dit hoofdstuk alleen de natuurstenen schotbalksponning getoetst.

7.1. Krachtswerking schotbalksponning

De schotbalksponningen worden gecontroleerd op maximale drukspanning en splijten/afboeren van de sponning door de hydraulische belasting op de schotbalken. De maximale spanning treedt op ter hoogte van maaiveld aan de onderzijde van de schotbalksponning. Omdat in de huidige fase de bevestiging van het DPS-systeem nog niet bekend is wordt uitgegaan dat de sponning op dezelfde wijze wordt belast als bij de houten schotbalken. Dit is een conservatieve aanname voor het afboeren van natuursteen.

De schotbalken staan onder een hoek van ca. 63° ten opzichte van de wanden. Dit betekent dat de diepte van de inkassing aan weerszijden van elkaar verschilt. Ter plaatse van de zuidelijke wand wordt de sponning op de korte zijde belast en ter plaatse van de noordelijke wand wordt de sponning op de lange zijde belast. In Figuur 7-1 zijn de buitendijkse sponningen van beide wanden weergegeven.



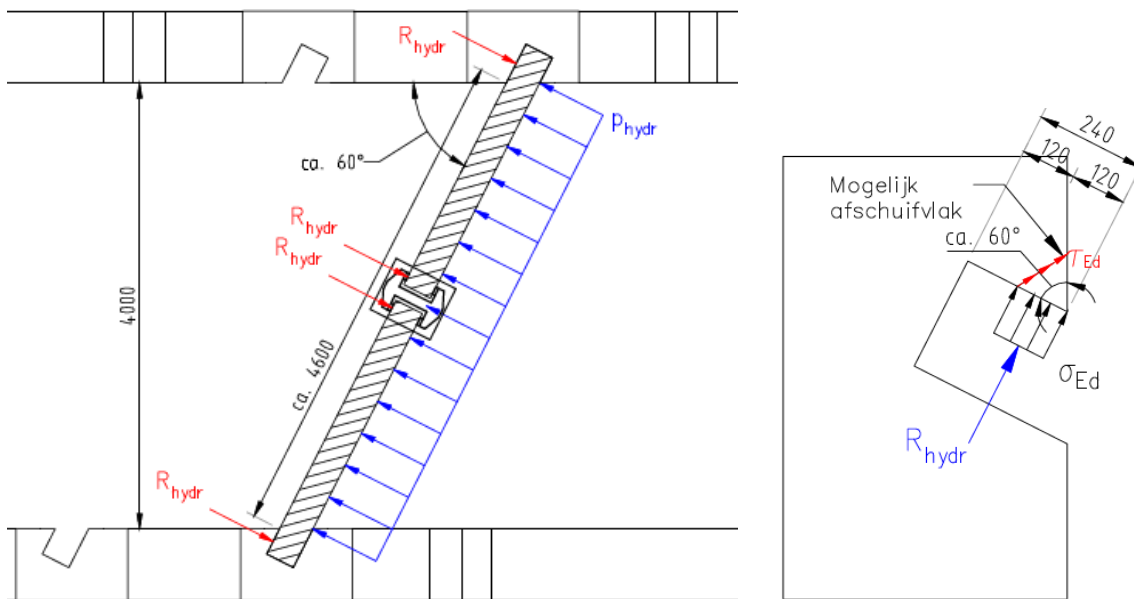
Figuur 7-1 Buitendijkse sponning zuidelijke wand (links) en noordelijke wand (rechts)

De hydraulische belasting grijpt loodrecht aan op de schotbalken van de coupure (zie Figuur 7-2). De schotbalken dragen de belasting vervolgens af naar de sponningen in beide wanden. De sponning in de zuidelijke wand wordt op de korte zijde belast en is maatgevend. De kracht vanuit de schotbalk zorgt voor

druk op de korte zijde. Dit leidt tot druk en afschuiving van het natuurstenen blok. Er wordt aangenomen dat de kracht spreidt over de halve breedte van de sponning.

De minimale druksterkte van natuursteen bedraagt 165 MPa (zie par. 4.7.5). Vanwege de onzekerheid in het type toegepaste natuursteen wordt de volgende capaciteit aangehouden:

- Een toelaatbare drukspanning van 10% van de druksterkte;
- Een toelaatbare schuifspanning van 10% van de toelaatbare drukspanning.



Figuur 7-2 Krachtwerking hydraulische belasting op schotbalk (links) en sponning (rechts)

De hydraulische belasting op één sponning is maximaal aan de onderzijde en heeft de volgende waarde:

$$R_{hydr} = \frac{1}{2} \cdot p_{hydr,max} \cdot \frac{L_{//}}{2} = \frac{1}{2} \cdot p_{hydr,max} \cdot \frac{L_{\perp}}{2 \cdot \sin(60^{\circ})}$$

$$R_{hydr} = \frac{1}{2} \cdot 34,26 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot \frac{4\text{m}}{2 \cdot \sin(60^{\circ})} = 39,6 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

De drukspanning op de sponning is als volgt:

$$\sigma_{Ed} = \frac{R_{hydr}}{120\text{mm}} = \frac{39,6 \frac{\text{kN}}{\text{m}}}{120\text{mm}} = 0,33 \text{ MPa}$$

Dit leidt tot een unity check op bezwijken onder druk van:

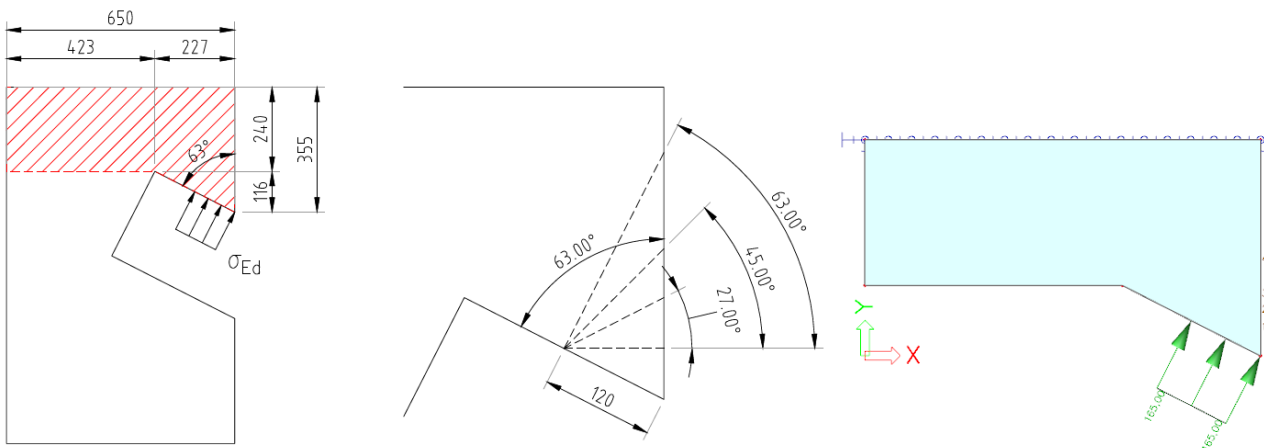
$$UC_{druk} = \frac{\sigma_{Ed}}{\sigma_{Rd}} = \frac{0,33\text{MPa}}{10\% \cdot 165\text{MPa}} = \frac{0,33\text{MPa}}{16,5\text{MPa}} = 0,02 < 1,0$$

dus akkoord

In de verificatieberekening (zie [9]) is aangenomen dat het afschuifvlak in lijn is met de richting van de kracht. Het is echter aannemelijk dat afschuiving onder een andere hoek plaats vindt. De totale kracht over het afschuifvlak is dan wellicht lager, maar de lengte van het vlak korter en de afschuifspanning daardoor hoger. Een aantal mogelijke hoeken zijn weergegeven in het midden van Figuur 7-3.

Het bovenste deel van het natuursteen blok (zie links in Figuur 7-3) is gemodelleerd in SCIA als een plaat met een dikte van 500mm. De overgang met het metselwerk is gemodelleerd als een steunpunt dat enkel starre druk kan afdragen. De hydraulische belasting is gemodelleerd als lijnlast met de volgende waarde:

$$q_{Ed} = \frac{\sigma_{Ed} \cdot d_{plaat}}{b} = \frac{39,6 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 500\text{mm}}{120\text{mm}} = 165 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$



Figuur 7-3 Gedeelte van het natuursteenblok gemodelleerd in SCIA (links), mogelijke afschuifhoeken (midden) en SCIA-model spanning (rechts)

Uit de SCIA-berekening volgt een resultante kracht F_x en F_y op snedes van de mogelijke afschuifvlakken (zie Bijlage E). Deze krachten zijn in het globale assenstelsel en zijn in onderstaande tabel omgerekend naar een afschuifspanning met behulp van de volgende formules:

$$F_{//} = F_x \cdot \cos(\alpha) + F_y \cdot \sin(\alpha)$$

$$F_{\perp} = F_x \cdot \sin(\alpha) - F_y \cdot \cos(\alpha)$$

$$L_{//} = 120\text{mm} \cdot \frac{\sin(63^\circ)}{\cos(\alpha)}$$

$$\tau_{Ed} = \frac{F_{//}}{L_{//} \cdot 500\text{mm}}$$

Tabel 7-1 Berekening afschuifspanning in diverse afschuifvlakken

Snede	Hoek [graden]	F_x [kN]	F_y [kN]	$F_{//}$ [kN]	F_{\perp} [kN]	$L_{//}$ [mm]	τ_{Ed} [MPa]
1	0,0	9,39	18,53	9,4	-18,5	107	0,176
2	27,0	9,4	18,5	16,8	-12,2	120	0,280
3	45,0	9,39	18,52	19,7	-6,5	151	0,261
4	63,0	9,43	18,48	20,7	0,0	236	0,176

Uit bovenstaande tabel volgt dat de maximale afschuifspanning in een afschuifvlak 0,280 MPa is. Dit leidt tot een unity check op afschuiven van:

$$UC_{\text{afschuiven}} = \frac{\tau_{Ed}}{\tau_{Rd}} = \frac{0,280\text{MPa}}{10\% \cdot 16,5\text{MPa}} = \frac{0,280\text{MPa}}{1,65\text{MPa}} = 0,17 < 1,0$$

dus akkoord

8 Betrouwbaarheid sluiting

De toetsing op het faalmechanisme betrouwbaarheid sluiting is uitgewerkt in de notitie met referentie INFR200121-N-02 [12], deze notitie is opgenomen in bijlage D. In de notitie is aangetoond dat de faalkans op dit faalmechanisme lager is dan de faalkanseis. Deze conclusie geldt indien onderstaande aanbevelingen uitgewerkt worden.

Om te voldoen aan de faalkanseis voor betrouwbaarheid sluiting dienen de volgende aspecten te worden opgenomen in de sluitingsprotocollen en het hoogwaterdraiboek.

- Jaarlijks oefenen van de mobilisatie en sluiting coupures. Hierbij hoeven niet jaarlijks alle coupures gesloten worden. Er kan volstaan worden met het sluiten van één van de kunstwerken die een vergelijkbaar sluitproces hebben. Als voorbeeld zou jaarlijks: één van de bestaande coupures, één van de nieuwe coupures en één sectie van de demontabele kering gesloten moeten worden en dient jaarlijks de sluiting met de big bags geoefend te worden. Er dient wel jaarlijks een ander kunstwerk (met een vergelijkbaar sluitproces) gesloten te worden. Daarnaast is het een vereiste dat ieder kunstwerk in ieder geval één keer per vijf jaar gesloten wordt.
- Tweemaal per jaar de coupures en keermiddelen inspecteren en waar nodig maatregelen nemen.
- De keermiddelen en reserve elementen op twee verschillende plaatsen opslaan.

Voor de coupure is vanaf het zichtjaar 2023 een herstelmogelijkheid nodig om te voldoen aan de faalkanseis voor het faalmechanisme betrouwbaarheid sluiting: Om deze herstelmaatregel voor de coupure in rekening te brengen dient het Waterschap Rivierenland de volgende aspecten verder uit te werken:

- De procedure voor het sluiten met big bags tot 3 rijen hoog dient bekend te zijn, bijvoorbeeld door de procedure uit te werken in een werkinstructie.
- De procedure dient periodiek geoefend te worden.
- Het materiaal en materieel voor de sluiting dient voorradig te zijn.
- Onderzoeken of de big bags ook onder storm (hoge windsnelheden) geplaatst kunnen worden.

In het bepalen van de sluitvraag zijn daarnaast de volgende aannames gedaan. Deze zijn gebaseerd op de invulling van de scoretabellen in de beoordelingsrapportages. Deze aannames dienen geverifieerd te worden:

- Beschikbaarheid van mobilisatieregeling, stand-by regeling en terugmeldingssysteem
- Beschikbaarheid van OTO-Plan
- 2 of meerdere aannemers beschikbaar voor sluiting coupures. (Of een andere herstel mogelijkheid in de mobilisatie en bedieningsprocedure)
- Beschikbaarheid onderhoudsplan voor de keermiddelen
- Vastleggen resultaten van proefsluitingen in logboek

In aanvulling op bovenstaande punten zijn er vanuit het beheer- en onderhoudsplan [14] nog de onderstaande eisen aan het ontwerp van de coupures. Deze dienen in een vervolgfase uitgewerkt te worden:

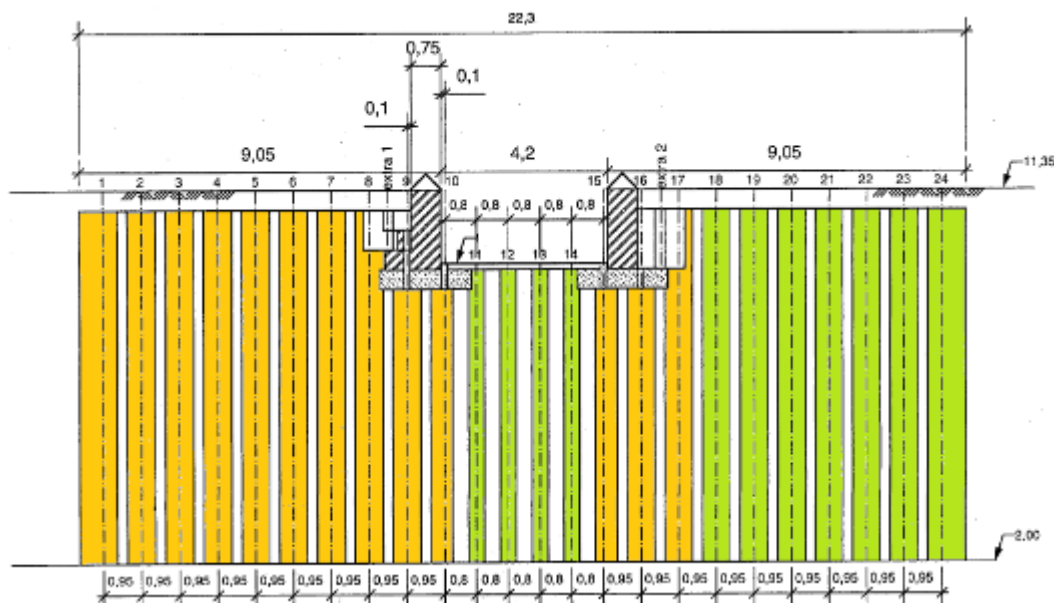
- Leveren van een complete gereedschapskist voor de opbouw die wordt opgeslagen in de containers van deze coupure
- Leveren van alle data voor een complete sluitprocedure conform BO-rapportage T-BBU
- Leveren van werkinstructie voor opbouw coupure

9 Piping

In dit hoofdstuk wordt het faalmechanisme piping t.p.v. Coupure Waalstraat getoetst. In dit hoofdstuk wordt alleen gekeken naar mogelijke in- of uitredepunten die ontstaan door de aanwezigheid van de coupure. Voor de toetsing van het faalmechanisme piping voor het grondlichaam wordt verwezen naar [13].

9.1. Onzekerheid kwelschermen

In het bestek [1] is opgenomen dat er t.p.v. de coupure Waalstraat jetgroutkolommen zijn aangebracht. De functie van deze kolommen is om onder- en achterloopsheid te voorkomen. In de beoordelingsronde is onderzoek uitgevoerd naar de aanwezigheid van deze kwelschermen [7]. In dit onderzoek zijn niet alle kwelschermen aangetoond, een overzicht is weergegeven in Figuur 9-1. Er is onzekerheid over de aanwezigheid van de schermen aan de zuidelijke vleugelmuur en de aansluiting van de schermen op de noordelijke vleugelmuur. Het kwelscherm aan de zuidzijde (links in Figuur 9-1) is niet aangetroffen. Op de plek waar het scherm conform het bestek aanwezig zou moeten zijn, is een betonplaat onder maaiveld aanwezig. Hierdoor is in het onderzoek van RPS het kwelscherm niet aangetoond. Aan de noordzijde (rechts in Figuur 9-1) is t.p.v. de aansluiting van het kwelscherm en de vleugelmuur van de coupure een gemetselde muur aangetroffen. Hierdoor is aan deze zijde onzekerheid over de aansluiting op de muur.



Figuur 9-1: Overzicht onder- en achterloopsheidschermen coupure Waalstraat (groen=aangetroffen, oranje=onbekend)

Op basis van de onderstaande argumenten is het zeer aannemelijk dat de schermen wel zijn aangebracht conform het bestek [1]. Voor het voorlopig ontwerp is het uitgangspunt gekozen dat de schermen conform het bestek zijn aangebracht.

- De jetgroutkolommen zijn opgenomen in het bestek [1] en er is een werkplan [2] beschikbaar voor het aanbrengen van de kolommen.

- Er zijn foto's beschikbaar van de uitvoering van de dijkversterking in 1995. Het materieel voor het aanbrengen van de kolommen is hierbij gefotografeerd ter plaatse van de coupure. Deze foto's zijn opgenomen in bijlage A, zie Figuur 10-6, Figuur 10-7 en Figuur 10-12.
- Een deel van de schermen is tijdens het onderzoek wel aangetoond. Het is dan zeer onwaarschijnlijk dat er tijdens de uitvoeringsfase is gekozen om slechts een deel van de schermen aan te brengen en dit vervolgens niet te documenteren.
- In 2021 is aanvullend onderzoek [11] uitgevoerd naar de fundering van de coupure. In dit onderzoek is de aanwezigheid van een vloeistof dichte vloer aan de buitenzijde van de coupure aangetroffen. Tijdens de dijkversterking in 1996 zijn er dus bewust maatregelen getroffen t.b.v. het voorkomen van piping. Het is dan zeer onwaarschijnlijk als er wel een vloeistofkerende vloer aangebracht is, maar de jetgroutkolommen achterwege gelaten zijn.

9.2. Methode toetsing piping

Voor de controle op piping is de procedure beschreven in de Werkwijzer Ontwerpen Waterkerende Kunstwerken (WOWK 2018) en de Schematiseringshandleiding Piping Kunstwerk gevolgd (volledige referenties zijn opgenomen in paragraaf 4.2. Er dient getoetst te worden op de mechanismes onderloopsheid en achterloopsheid. Voor deze toetsingen zijn verschillende rekenmethodes beschikbaar. Welke methode toegepast dient te worden, is in een stroomschema weergegeven in Figuur 9-2.

Onderstaand zijn de stappen in het schema per mechanisme beschreven. Op basis van deze stappen wordt onderloopsheid getoetst op basis van het heave criterium en achterloopsheid o.b.v. methode Bligh. De toetsing op onderloopsheid is uitgewerkt in paragraaf 9.3 en achterloopsheid in paragraaf 9.4.

Onderloopsheid

Kwelweg zuiver horizontaal?

Nee, bij onderloopsheid is er een verticale kwelweg.

Toets op opbarsten:

Toetsing niet uitgevoerd, uitgangspunt is dat opbarsten optreedt.

Lane zeker conservatief?

Nee, controle Lane is niet uitgevoerd.

Toets op heave

Achterloopsheid:

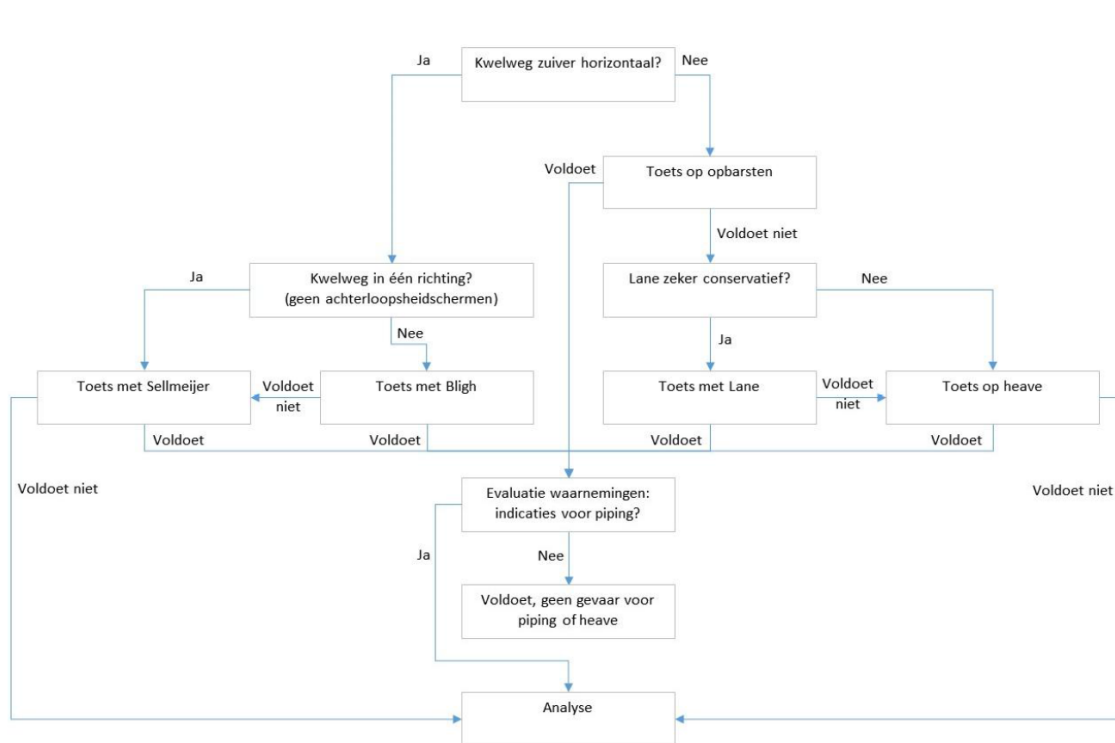
Kwelweg zuiver horizontaal?

Ja, bij achterloopsheid is de kwelweg langs de coupure horizontaal.

Kwelweg in één richting?

Nee, de coupure is voorzien van achterloopsheidschermen. Door deze schermen loopt de kwelweg niet in één richting.

Toets met Bligh



Figuur 9-2: Bepaling schematisering piping [Bron:Schematiseringshandleiding Piping, referentie opgenomen in paragraaf 4.2]

9.3. Onderloopsheid

In de toetsing op onderloopsheid wordt uitgegaan van een kwelweg onder de coupure door. De coupure is voorzien van een onderloopsheidscherm. De lengte van dit scherm wordt getoetst op het heave criterium. Het heave criterium is in de WOWK gedefinieerd als:

$$i = \frac{\varphi_0 - h_p}{d} \leq i_c$$

Waarin:

- i optredend verhang over het kwelscherm [-]
- φ_0 stijghoogte t.p.v. het kwelscherm, conservatief is uitgegaan van de buitenwaterstand voor het zichtjaar 2125: NAP+12,16 m. Er is geen reductie t.g.v. het aanwezige voorland in rekening gebracht.
- h_p waterstand in het achterland, hiervoor is het maaiveldniveau t.p.v. de coupure aangehouden. $h_p = \text{NAP} + 9,75 \text{ m}$.
- d is de afstand tussen intredepunt en onderzijde van het kwelscherm. Voor het intredepunt wordt uitgegaan van het maaiveldniveau t.p.v. de coupure (NAP+9,75 m). Alle kwelschermen zijn tot dezelfde diepte aangebracht, NAP+2,00 m, zie Figuur 9-3. Voor de afstand d is uitgegaan van $d = 7,75 \text{ m}$
- i_c kritiek verhang over het kwelscherm, conform de WOWK is het kritieke verticale verhang $i_c = 0,50$

Invullen in de formule resulteert in:

$$i = \frac{\varphi_0 - h_p}{d} = \frac{12,16 - 9,75}{7,75} = 0,31$$

$$i \leq i_c \rightarrow 0,31 \leq 0,50$$

Het optredende verhang over het kwelscherm (0,31) is dus kleiner dan het kritieke verhang (0,50). Er is voldaan aan het heave criterium. Onderloopsheid kan daarom tot aan het zichtjaar 2125 worden uitgesloten.

9.4. Achterloopsheid

In de toetsing op achterloopsheid wordt uitgegaan van een kwelweg langs de zijde van de coupure. Op basis van het uitgevoerde onderzoek naar de fundering t.p.v. de coupure [12] is de coupure gefundeerd op een puinbed. Op basis van de waarnemingen tijdens dit onderzoek en de handboringen is dit puinbed de enige laag waar een mogelijk intredepunt zou kunnen ontstaan. Achterloopsheid wordt getoetst met het aangepaste model van Bligh. Het model van Bligh is gegeven in onderstaande formule (conform WOWK 4.2):

$$\Delta H - 0,3d \leq \Delta H_c = \frac{L}{C_{creep}}$$

Hierin is:

- ΔH het optredende verval over het kunstwerk;
- d de afstand tussen bovenkant zandlaag en maaiveldniveau achterland.
- ΔH_c het maximaal toelaatbare verval;
- C_{creep} is de creepfactor
- L de minimale kwelweglengte

De parameters die zijn toegepast in de berekening zijn bepaald volgens de WOWK en hieronder toegelicht:

d de afstand tussen bovenkant zandlaag en maaiveldniveau achterland.

Op basis van het uitgevoerde onderzoek [12] naar de fundering van de coupure ligt de bovenzijde van het puinbed op een diepte van 1,25 m t.o.v. maaiveldniveau achterland.

ΔH Verval over de waterkering

Het verval over de waterkering is afhankelijk van de waterstand op de Waal en het maaiveldniveau achter de coupure:

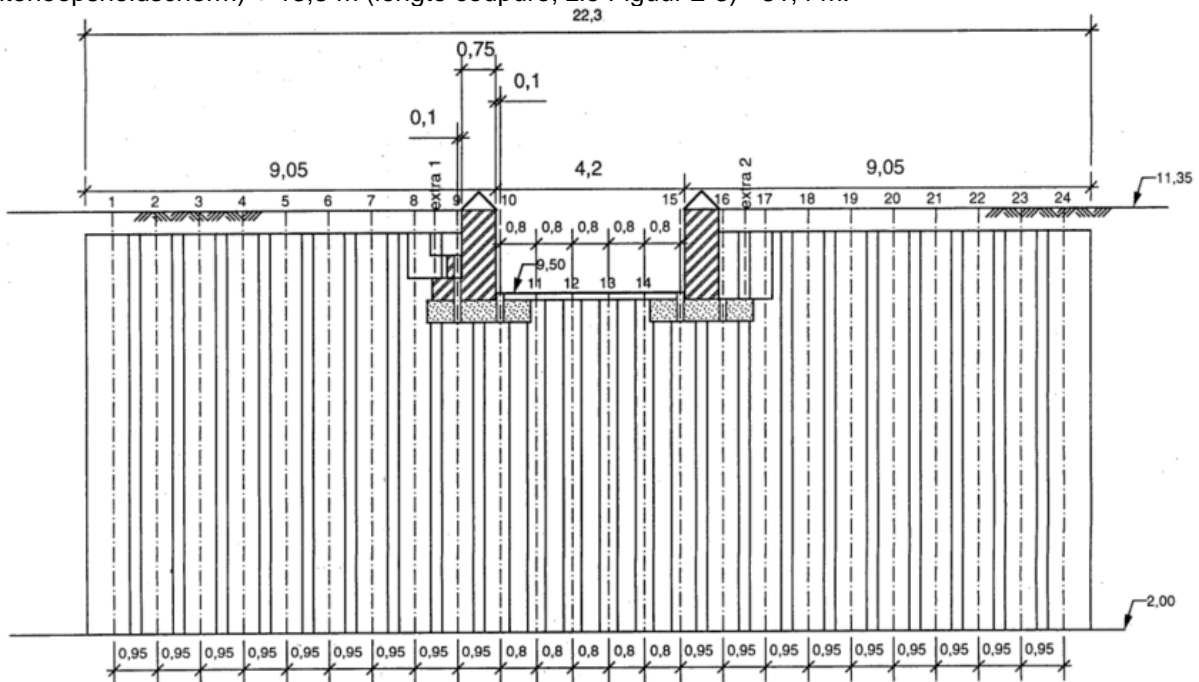
- | | |
|-------------------------------------|-------------------|
| • Waterpeil Waal zichtjaar 2125 | NAP+12,16 m |
| • Maaiveldniveau achterland coupure | NAP+9,75 m |
| • Verval | $\Delta H=2,41$ m |

L Kwelweglengte

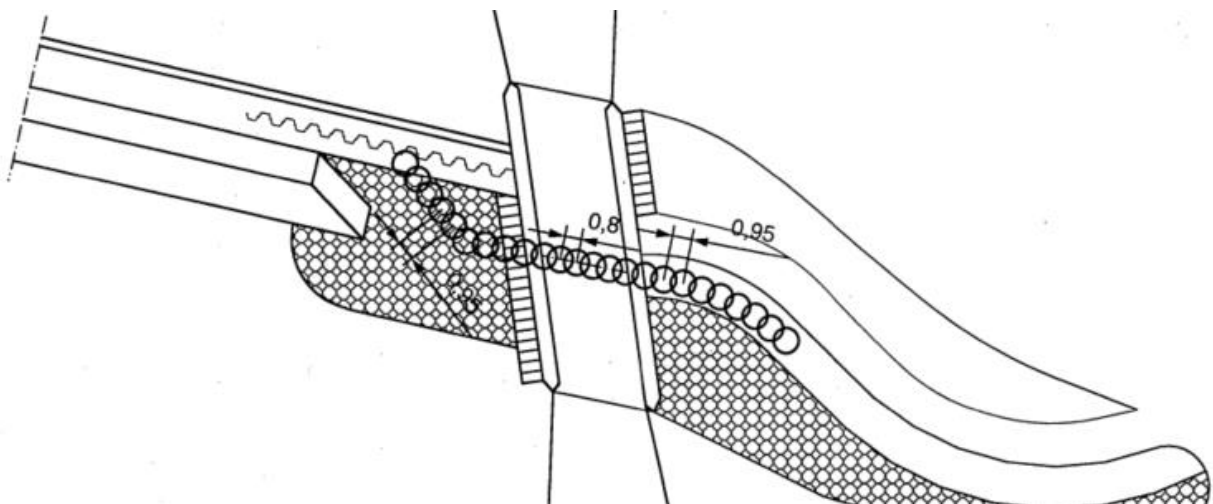
De kwelweglengte is de afstand die het water moet afleggen, dit is de afstand vanaf het intredepunt langs de Waal en het uitredepunt aan de stadszijde van de coupure. Er wordt uitgegaan van een kwelweg door het puinbed onder de fundering. De kwelweg bestaat dan uit de lengte van de coupure en de achterloopsheidschermen. Een bovenaanzicht met de (vermoedelijke) locaties van de achterloopsheidschermen is weergegeven in Figuur 9-4. Aan de zuidelijke zijde (links in Figuur 9-4) zijn er twee mogelijkheden die achterloopsheid uitsluiten. De eerste mogelijkheid is de damwandconstructie die aansluit op de vleugelmuur van de coupure. Deze damwandconstructie loopt ca. 120 m door. De jetgroutkolommen sluiten ook aan op deze zelfde damwandconstructie. Indien een van deze aansluitingen

grondicht is, is achterloopsheid aan deze zijde niet maatgevend. Om zekerheid te verkrijgen over deze aansluiting wordt aanbevolen dit nader te onderzoeken (bijvoorbeeld in uitvoeringsfase door aannemer).

Aan de noordelijke zijde is een achterloopsheidscherm met een lengte van 9,05 m (lengte haaks op vleugelmuur coupure) aanwezig. Deze zijde is maatgevend voor achterloopsheid. Een doorsnede met de achterloopsheidschermen is weergegeven in Figuur 9-3. De lengte bedraagt: $2 \times 9,05 \text{ m}$ (achterloopsheidscherm) + $13,3 \text{ m}$ (lengte coupure, zie Figuur 2-3) = $31,4 \text{ m}$.



Figuur 9-3: Doorsnede coupure Waalstraat met achterloopsheidschermen [2]



Figuur 9-4: Bovenaanzicht kwelschermen coupure Waalstraat [2]

C_{creep} Creepfactor

In het model van Bligh zijn creepfactoren gedefinieerd afhankelijk van de grondsoort en korrelgrootte van de grondlaag waar de kwelweg door loopt. er is uitgegaan van een creepfactor $C_{creep} = 15 [-]$. Dit komt overeen met matig fijn zand. Het is onbekend wat de korrelverdeling is van het puinbed onder de fundering. Het is aannemelijk dat de mediane korreldiameter voor het puinbed groter is en dat er een lagere creepfactor gehanteerd mag worden. Daarnaast loopt de kwelweg via de achterloopheidschermen over een lengte van 18 m door het dijklichaam. Grondonderzoek in de nabijheid van de coupure toont aan dat het dijklichaam bestaat uit klei zandige lagen (boring DT218.+098_B_BIK)³. Het is aannemelijk dat deze kleilagen de kwelweg blokkeren⁴. Conservatief is het uitgangspunt dat de kwelweg wel ontstaat en dat de creepfactor over de hele kwelweg gelijk is aan $C_{creep} = 15 [-]$.

Met bovenstaande parameters kan de formule Bligh worden ingevuld:

$$\Delta H - 0,3d \leq \Delta H_c = \frac{L}{C_{creep}}$$

$$\Delta H_c = \frac{L}{C_{creep}} = \frac{31,4}{15} = 2,10$$

$$\Delta H - 0,3d = 2,63 - 0,3 * 1,25 = 2,04$$

$$2,04 \leq 2,10$$

Het optredende verval is kleiner dan het kritieke verval. Achterloopsheid kan daarom tot aan het zichtjaar 2125 worden uitgesloten.

9.5. Levensduur kwelschermen

Naast de vereiste lengte van de kwelschermen is de resterende levensduur van de schermen onderzocht. De kwelschermen bij de coupure Waalstraat bestaan uit jetgroutkolommen. Hierbij wordt onder hoge druk een mengsel van water en cement geïnjecteerd in de ondergrond. Na het uitharden ontstaat een groutkolom. De verwachting is dat deze kwelschermen niet of nauwelijks materiaaldegradatie ondergaan. Daarnaast geldt dat de schermen geen stabiliteitsfunctie en geen functie als grondkering hebben. Omdat de schermen over de volledige hoogte ondersteund worden door de ondergrond kan het over de wand optredende waterdrukverschil worden opgenomen door verhoging van de horizontale korrelspanning. Lekkage t.g.v. scheurvorming in de kolommen wordt daardoor ook niet verwacht. Er worden tot aan het zichtjaar 2125 geen lekkages verwacht.

³ Tussen NAP+6,14 m en NAP+5,34 m is een zandlaag aangetroffen. Deze laag ligt echter aanzienlijk dieper dan het puinbed onder de coupure, deze zandlaag is daarom niet maatgevend voor de coupure.

⁴ Recentelijk zijn handboringen uitgevoerd om dit verder te onderzoeken. De resultaten zijn bij het schrijven van deze ontwerprapportage nog niet beschikbaar en dienen daarom in de vervolgfase beschouwd te worden.

10 Conclusie en aandachtspunten

10.1. Conclusie

In dit document zijn de sterkte en stabiliteit van de versterking van KW17 coupure Waalstraat beschouwd. De globale krachtwerving in de sponningen is bepaald en het natuursteen kan de drukspanning en afschuifkracht afdragen. De uitwerking van de niet-kritische onderdelen vindt plaats in de volgende projectfase, te weten het definitief ontwerp (DO).

De fundering van de coupure is getoetst op het mechanisme schuiven, op het draagvermogen en het mechanisme kantelen. Uit de berekeningen blijkt dat de coupure voldoet.

Daarnaast zijn de faalmechanismes betrouwbaarheid sluiting en piping beschouwd. Het is aannemelijk dat aan de toetsingen op beide faalmechanismen wordt voldaan. Voor beide faalmechanismen dient wel een aantal aspecten nader onderzocht te worden. Voor het faalmechanisme betrouwbaarheid sluiting dienen door Waterschap Rivierenland de aspecten beschreven in hoofdstuk 8 uitgewerkt te worden.

Onder de voorwaarde dat de kwelschermen aangebracht zijn conform het bestek voldoet de coupure op het faalmechanisme piping. De argumenten beschreven in paragraaf 9.1 maken het zeer aannemelijk dat de schermen ook aangebracht zijn conform het bestek. Het voorstel is om de aandachtspunten in paragraaf 10.4 tijdens de uitvoeringsfase nader te onderzoeken.

10.2. Hoeveelheden VO-ontwerp

Ten behoeve van het opstellen van een kostenraming zijn globaal de volgende hoeveelheden voor de wijzigingen aan coupure Waalstraat opgesteld (maten zijn afgerond):

- Betonnen sloven: ca. 1m³ beton
- Wapening sloven: 120 kg/m³
- DPS2000: 5 staanders met voetplaat (L ≈ 0,5m)
1 verstijfde staander met voetplaat (L ≈ 2,8m)
3 sponningprofielen verankeren in beton/natuursteen (2x2,3m, 1x0,18m)
34 schotbalken (24x2,6m, 4x3,0m, 4x2,3m, 2x1,0m)

10.3. Uitwerken in DO

Op basis van deze ontwerpnota dienen de onderstaande punten nader beschouwd te worden in DO-fase:

- Bevestiging en plaatsing van het DPS-systeem in de sponningen en (indien nodig) op de vloer;
- Bevestiging en plaatsing van het DPS-systeem ter hoogte van de wanden;
- Aansluiting van het DPS-systeem op de naastgelegen langsconstructies in deeltraject 4C1 en 4C2;
- Uitwerken beheer- en onderhoudseisen conform par. G10 in [14]

- Recentelijk zijn handboringen uitgevoerd ter controle van de grondopbouw direct naast de coupure. De resultaten zijn bij het schrijven van deze ontwerpnota nog niet beschikbaar en dienen daarom in de vervolgfase beschouwd te worden.

10.4. Aandachtspunten uitvoering

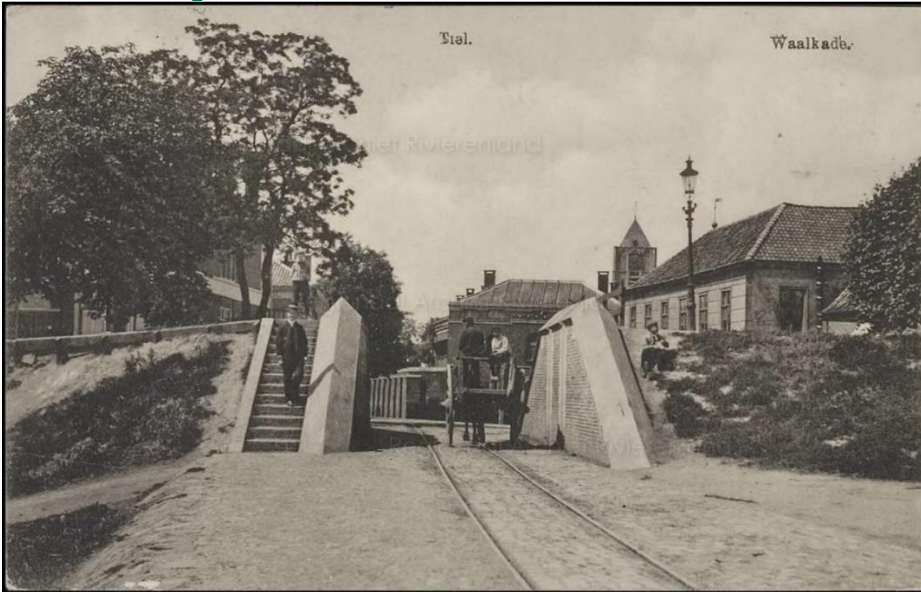
Het uitgevoerde onderzoek [7] tijdens de beoordelingsfase heeft onzekerheid geïntroduceerd m.b.t. de aansluiting van de kwelschermen. Aanbevolen wordt om deze onzekerheden in de uitvoeringsfase te onderzoeken. De volgende twee onderzoeken worden aanbevolen:

- Aansluiting zuidelijke zijde coupure. Aan deze zijde zijn er twee mogelijke punten om te onderzoeken:
 - Aantonen dat de damwandconstructie grond dicht aansluit op de vleugelmuur van de coupure.
 - Aantonen dat de jetgroutkolommen grond dicht aansluiten op de damwandconstructieAls een van deze twee aansluitingen aangetoond wordt kan achterloopsheid langs deze zijde uitgesloten worden.
- Aansluiting noordelijke zijde coupure, aan deze zijde dient aangetoond te worden dat de kwelschermen grond dicht aansluiten op de vleugelmuur van de coupure. Als deze aansluitingen aangetoond wordt kan achterloopsheid langs deze zijde uitgesloten worden.

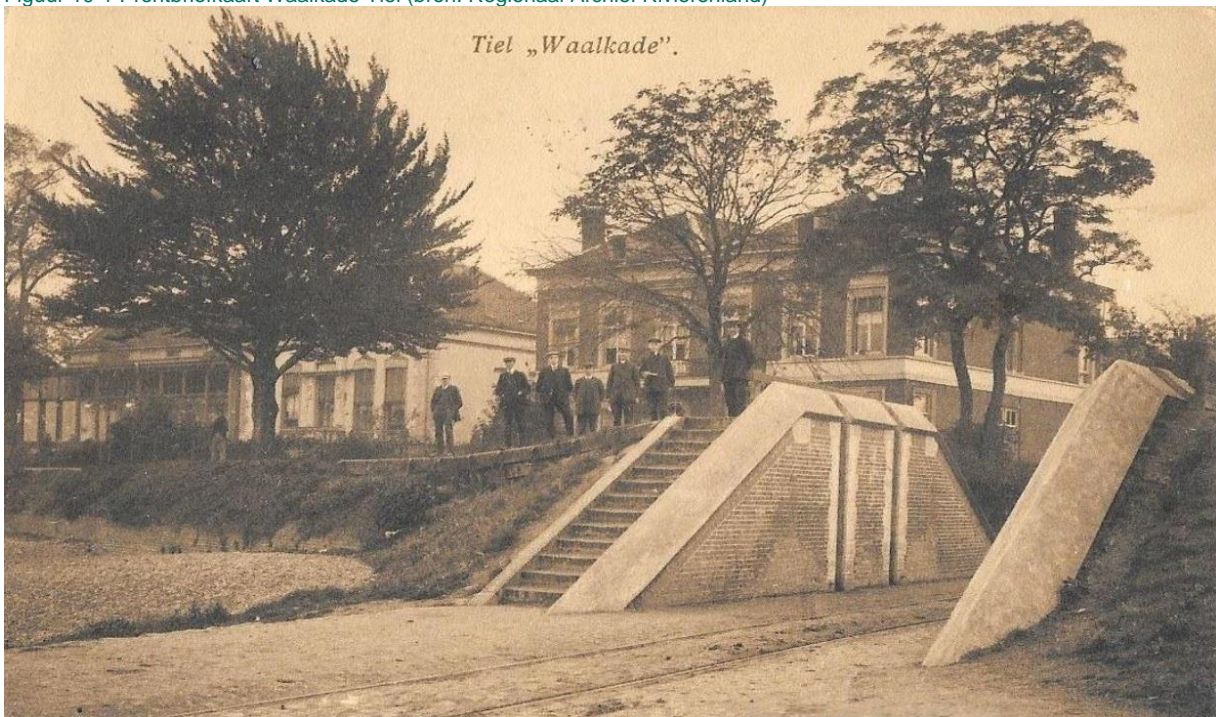
In plaats van aanvullend onderzoek naar deze aansluiting kan ook overwogen worden om de aansluitingen preventief grond dicht te maken.

BIJLAGEN

A. Huidige situatie



Figuur 10-1 Prentbriefkaart Waalkade Tiel (bron: Regionaal Archief Rivierenland)



Figuur 10-2 Ansichtkaart Tiel Waalkade, Jan Versteegh (bron: www.tiel-bijzonder-verleden.nl)



Figuur 10-3 Een der doorgangen in de wallen rond Tiel, J. van Wijk, ca. 1930 (bron: Regionaal Archief Rivierenland)



Figuur 10-4 Coupure Waalstraat hier nog aangeduid als Westluidensche poort (bron: Regionaal Archief Rivierenland)

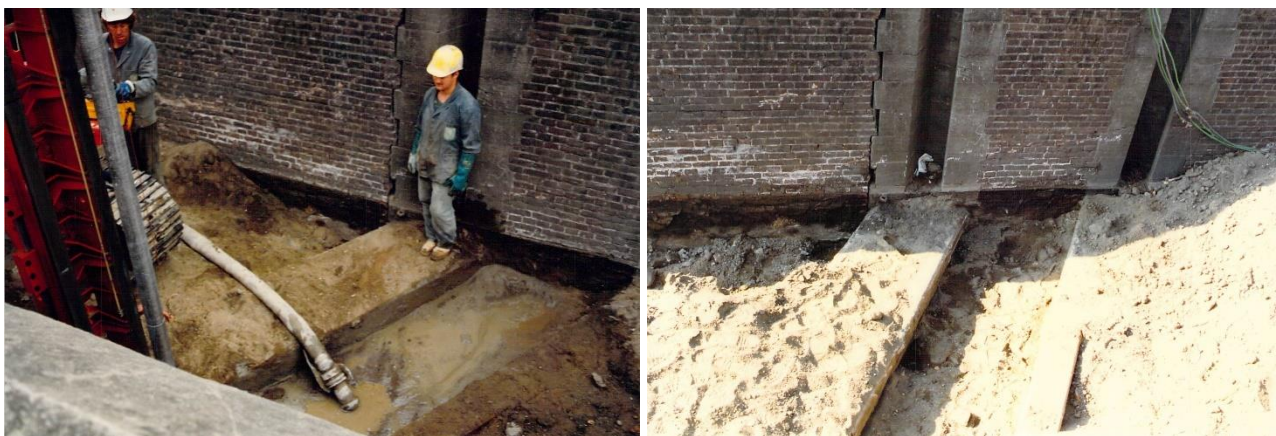


© RAR / collectie Bouwhuis

Figuur 10-5 Coupure Waalkade hoogwater, 04-02-1995, Jan Bouwhuis (bron: <https://detielenaar.nl/historie/2020/02/hoogwater-periode-1995-4-februari-een-beeldverslag/>)



Figuur 10-6 Ontgraving noordelijke wand (links) en aanbrengen jetgroutkolommen achter zuidelijke wand (rechts), Jack Buis, 1996-1997



Figuur 10-7 Aanbrengen jetgroutkolommen, Jack Buis, 1996-1997



Figuur 10-8 Renovatie wanden en noordelijke trap, Jack Buis, 1996-1997



Figuur 10-9 Renovatie noordelijke wand en trap, Jack Buis, 1996-1997



Figuur 10-10 Aanbrengen metselwerk rollaag noordelijke wand (links) en vernieuwen voegwerk zuidelijke wand (rechts), Jack Buis, 1996-1997



Figuur 10-11 Scheuren in natuurstenen sponning (links en rechts) en aanbrengen metselwerk rollaag zuidelijke wand (rechts), Jack Buis, 1996-1997



Figuur 10-12 Aanbrengen jetgroutkolommen (links) en volledige sloop zuidelijke trap buitendijks (rechts), Jack Buis, 1996-1997



Figuur 10-13 Hoogwater Tiel, 12-01-2011, Kees Tjaden (bron: [Beeldbank RWS](#))



Figuur 10-14 Hoogwater Waalkade Tiel, 13-01-2010, J.C. van Tuil (bron: Regionaal Archief Rivierenland)



Figuur 10-15 Betonnen funderingsplaat t.p.v. zuidelijke wand binnendijkse zijde (links; zie [11]) en tussen wanden binnendijks (rechts; zie [11])



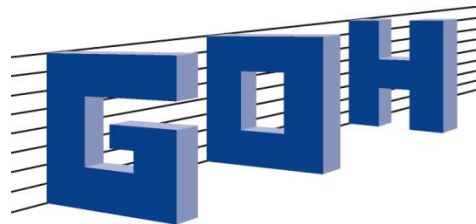
Figuur 10-16 Betonnen funderingsplaat t.p.v. zuidelijke wand buitendijkse zijde (links; zie [11]) en onderlagbalk sponning zuidelijke wand binnendijkse zijde (rechts; zie [11])

B. Productfolder DPS2000

Mobiele hoogwaterbeveiliging

DPS 2000® -- Veiligheid met systeem

Gesellschaft für operative Hochwasserschutz mbH



Wiesenweg 32

D-51147 Köln

Tel ++49 (0) 2203 / 20 22 3 – 0

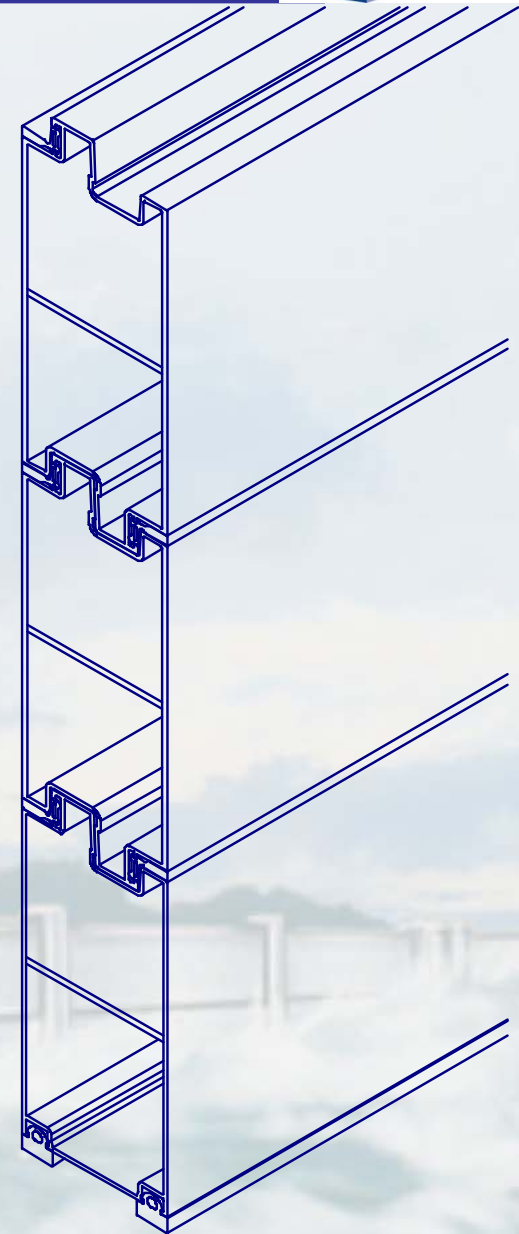
Fax ++49 (0) 2203 / 20 22 3 – 11

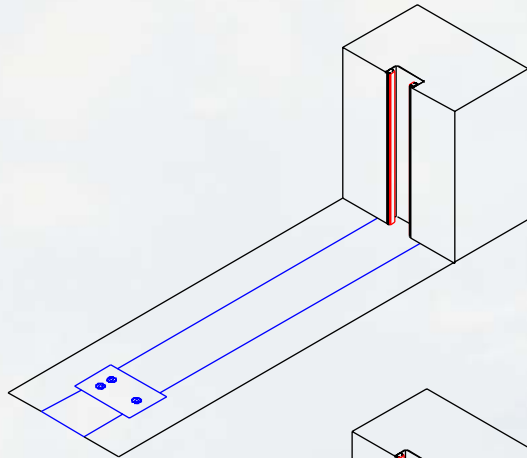
www.goh.de

e-mail: info@goh.de

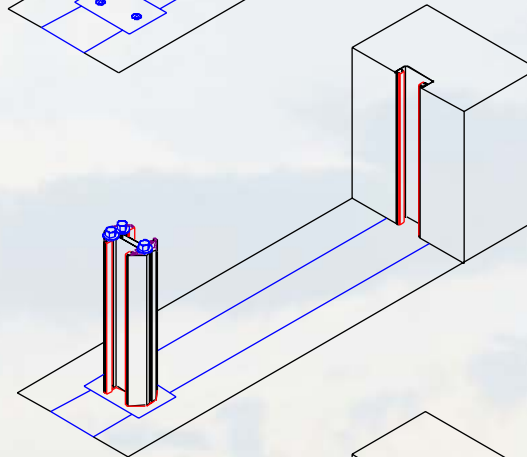
Veiligheid met SYSTEEM

- Gepatenteerd hoogwaterveiligheidssysteem uit lichte aluminium-schotbalken, die tussen aluminium-steunen over elkaar worden gestapeld.
- De vertande aluminiumprofielen vullen zich bij stijgen van het waterpeil met water en verhoogt de stabiliteit van de wand.
- Onbegrensde beschermwandlengte bij gemeentelijke projecten.
- Verhoging van voorhanden beschermmuren.
- Individuele speciale oplossingen passen zich aan iedere lokale situatie aan.

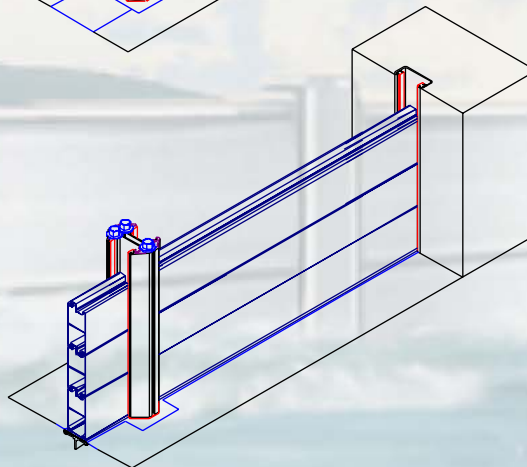




Voor de voorbereiding van de wandmontage worden geleiderails en ankerplaten in het fundament ingebetoneerd.



Op de ankerplaten worden in geval van inzet de steunen vastgeschroefd.



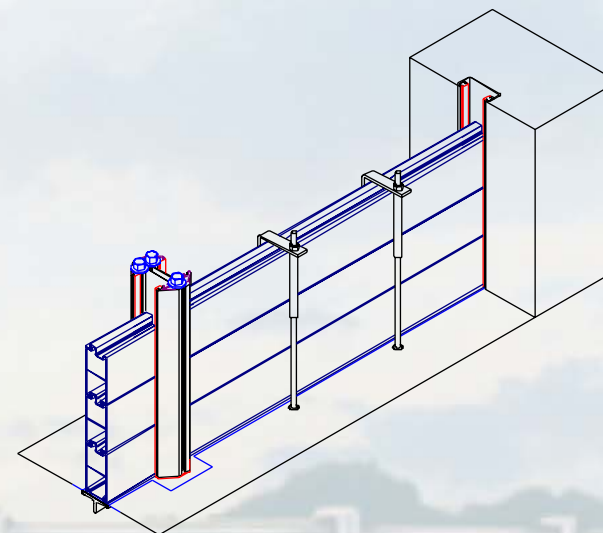
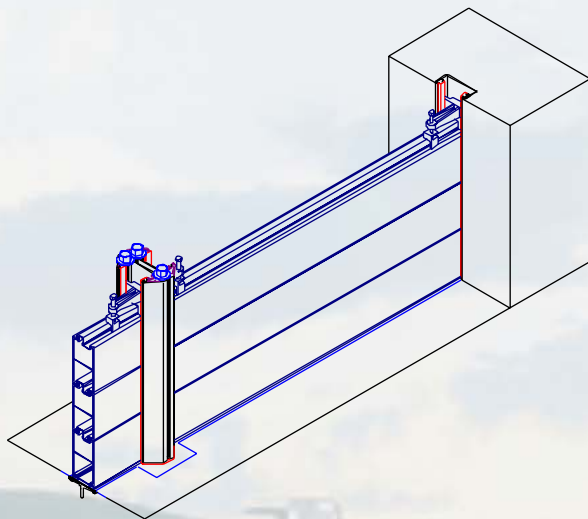
De schotbalken worden over elkaar gestapeld.

Een spannen van de aparte schotbalken onder elkaar is NIET noodzakelijk !

Door de gepatenteerde vertanding grijpen de schotbalken in elkaar en dichten automatisch tegen elkaar af.

Tenslotte wordt het aanstaande water in de schotbalken gesimuleerd.

De verticale spanning gebeurt door spanklemmen... of naar keuze door spanstangen



Van een horizontale spanning kan afhankelijk van het systeem worden afgezien.

Ter voorbereiding van de systeemmontage worden edelstaal-ankerplaten in het fundament – evenals zijdelingse wandaansluitprofielen ingebetonneerd.

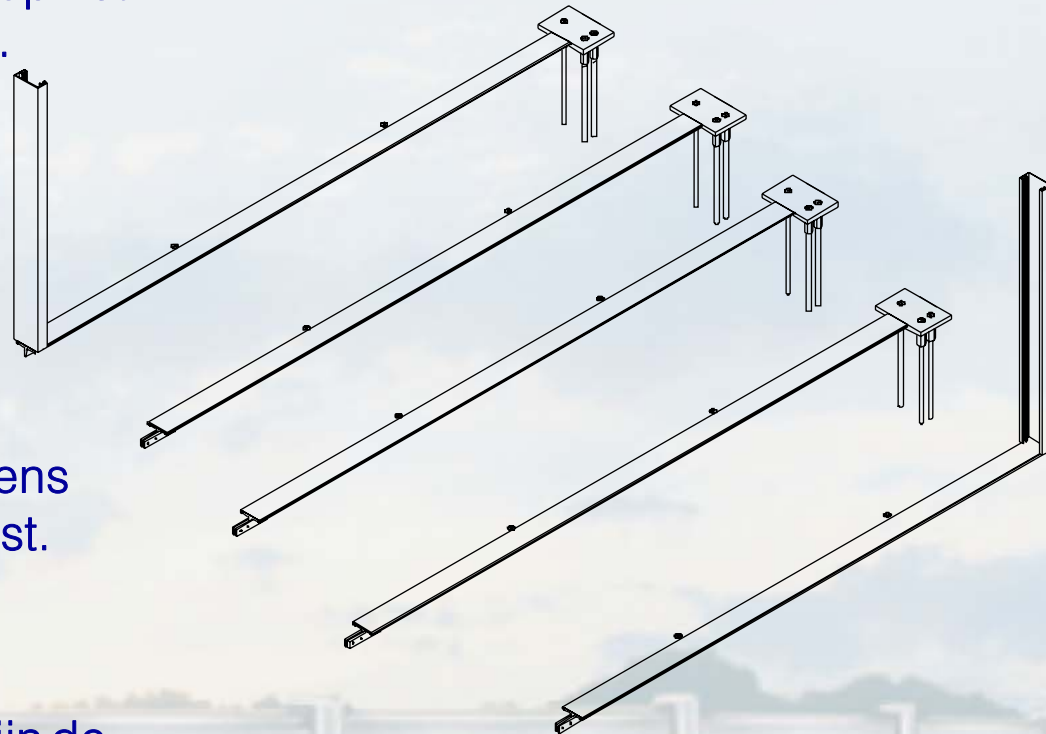
De boringen in de ankerplaten worden weers- en vandalismezekeer gesloten. Op wens zijn afdekplaten voor wandaansluitingen in verschillende uitvoeringen verkrijgbaar.



Als standaard bieden wij de ankerplaten in een doorlopende bodemrail geïntegreerd aan.



Voor de verlichting van de montage wordt de doorlopende bodemrail als steekstelsysteemproject betrokken op het eindmaat voorbereid - geleverd .



De wandaansluitingen zijn op wens eveneens reeds aan de rail gelast.

Worden spanstangen ingezet, zijn de opnamehulsen eveneens geïntegreerd en vormen geen aanvullende montage-inzet.



Bij de installatie worden de geprefabriceerde elementen ineengezet, gericht, ingebetonneerd- klaar.

Het richten van afzonderlijke ankerplaten valt weg. Dit vermindert de kosten voor de eerste montage aanzienlijk en verhoogt de pasprecisie.

Hoekankerplaten zijn in willekeurige hoeken realiseerbaar en zijn eveneens geprepareerd.



Het zetten van afzonderlijke ankerplaten is met DPS 2000 natuurlijk ook mogelijk.



Eerst worden de blinde schroeven uit de ankerplaten geschroefd.



De steunen worden opgezet en vastgeschroefd.



Nadat de steunen werden gemonteerd, kunnen de balken licht en vlot worden ingelegd.



Een montage tot aan de complete beschermhoogte is NIET ONMIDDELLIJK vereist.

De beschermwand kan bij stijgend hoogwater worden verhoogd.

De montage kan aan meerdere plaatsen gelijktijdig begonnen en doorgevoerd worden.



Na het bereiken van de gewenste of maximale beschermhoogte worden de verticale spanners bevestigd.



De complete wand is op grond van de lichte systeemelementen uit aluminium snel gemonteerd.



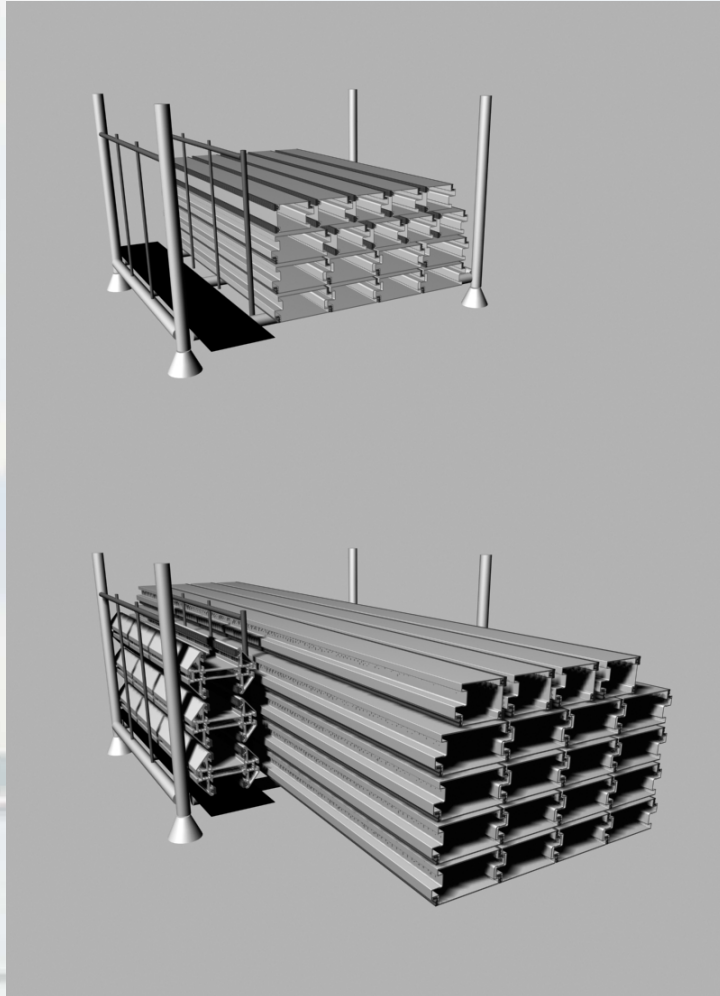
Alu- balken en alu-steunen worden compleet gedemonteerd.

De mobiele elementen moeten eventueel van sedimenten en slijk, bijv. met een hogedrukreiniger worden gezuiverd.

Dichtingen zuiveren en met silicone of talkpoeder behandelen.



Passende opslag-/stapelpalletten verlichten een plaatssparende opslag van alle systeemcomponenten.

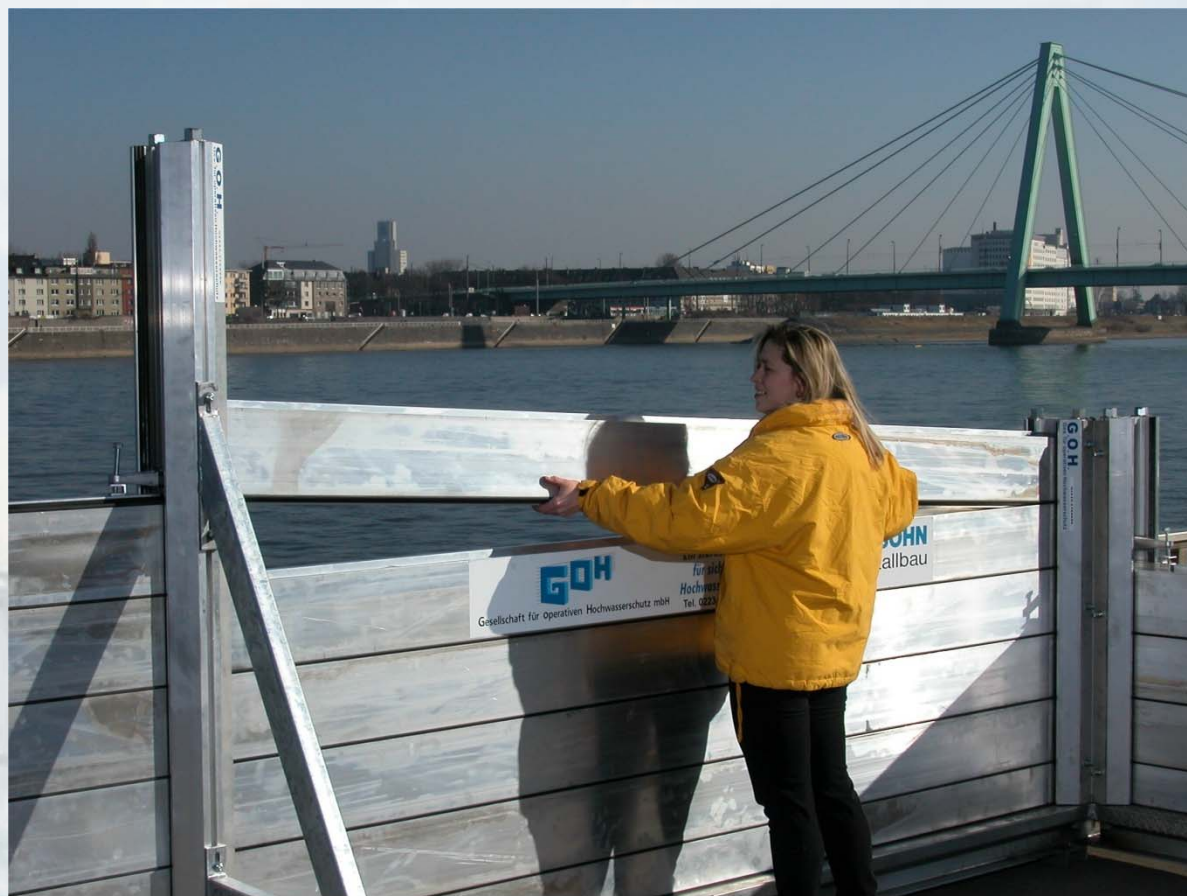


Opslagsysteem palletten met rongen:

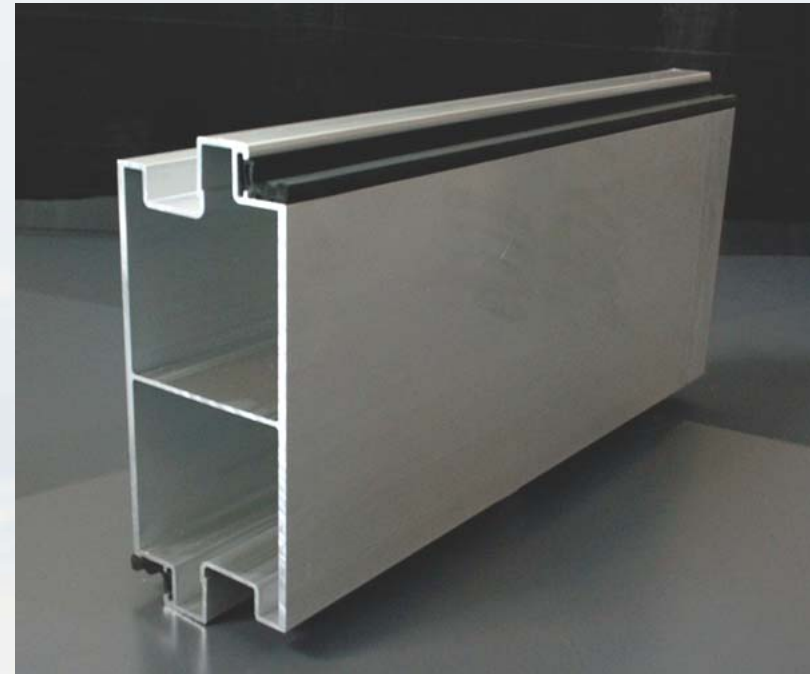
- De schotbalken en steunen worden op palletten met rongen opgeslagen.
- De palletten hebben leeg de afmetingen 1.500 x 870 x 750 mm en zijn verkrijgbaar in verzinkte of gelakte uitvoering.
- De schotbalken worden liggend opgeslagen, waarbij de aparte lagen van elkaar bijv. door dunne hout-pf PVC-latten worden gescheiden om een koud aaneenlassen te verhinderen.
- De steunen kunnen liggend of staand opgeslagen worden.
- Bij staande opslag worden gaten in de bodemplaat van de pallet ingewerkt, zodat het schroefstuk van de steunen erin past.

Systemdetails

DPS 2000® -- Weiligheitsmetzsystem



- De systeem-standaardbalk weegt slechts 7 kg per strekkende meter.
- Bij de montage worden de balken over elkaar gestapeld. Doorde bijzondere S-vorm grijpen de balken in elkaar en vertanden zich.
- **De vorm van de schotbalken verhoogt de gehele stabiliteit.**
- De gepatenteerde vorm van de schotbalken maakt een hoogte van 200 mm per balk mogelijk.
- **DPS 2000® biedt hierdóór 50 mm meer beschermhoogte per schotbalk tegenover eenvoudige profielen**
- en dat bij een nog kleiner gewicht.



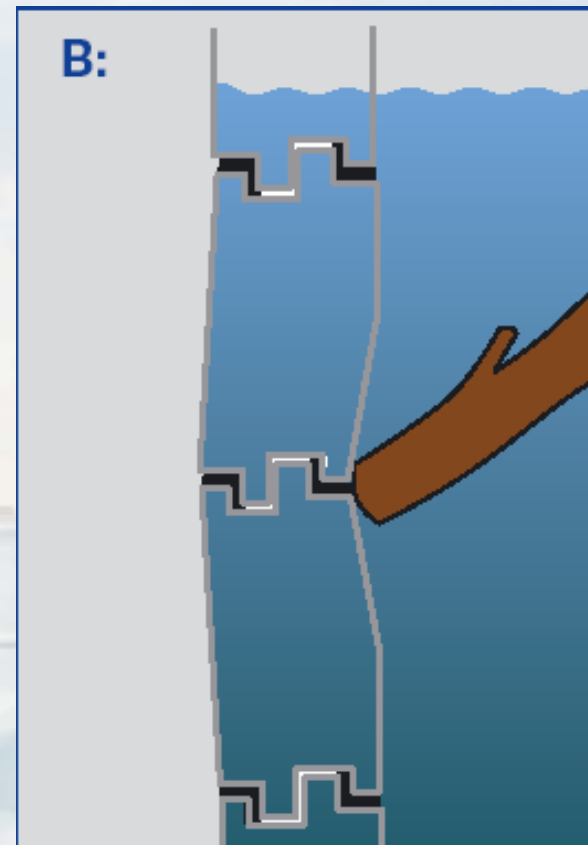
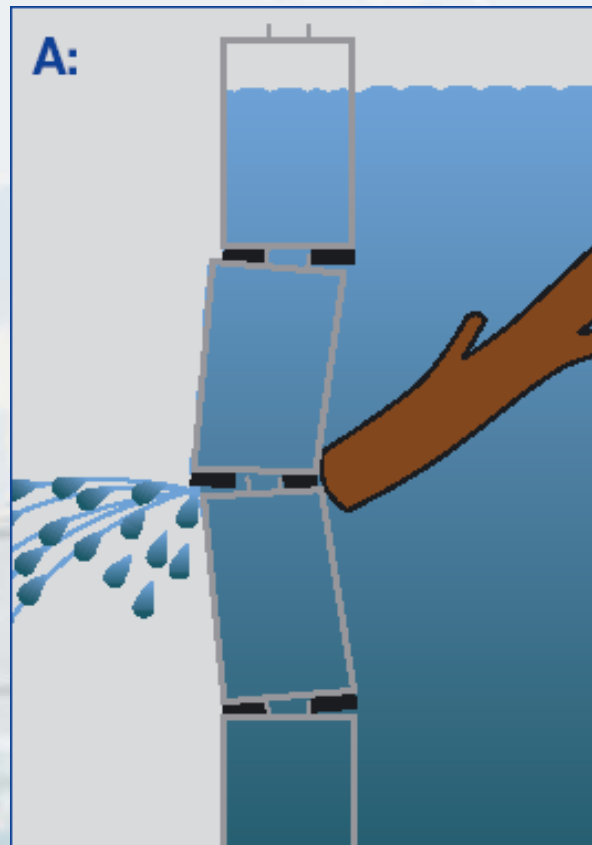
- De ingelegde systeem-dichting bestaat uit EPDM / sponsrubber en is zo nodig apart vervangbaar.
- Het geringe gewicht van de afzonderlijke schotbalken verlicht de montage – en dat bij een gegarandeerde statiek.

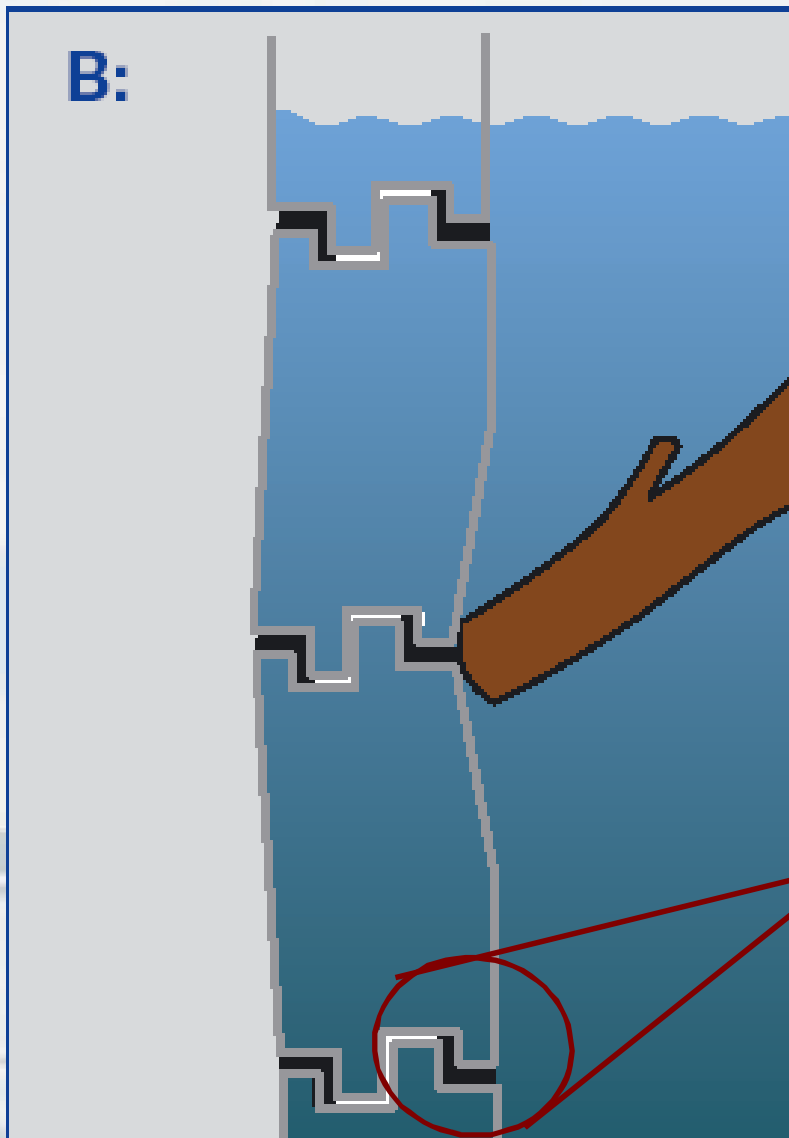
- De systeem-bodembalk weegt slechts 7 kg per strekkende meter.
- De bodembalk is eveneens 200 mm hoog.
- In tegenstelling met de standaard-balk is de bodembalk doorlopend in blauw poedergecoated.
- Dat verlicht de onderscheiding bij de montage en demontage evenals de opslag.



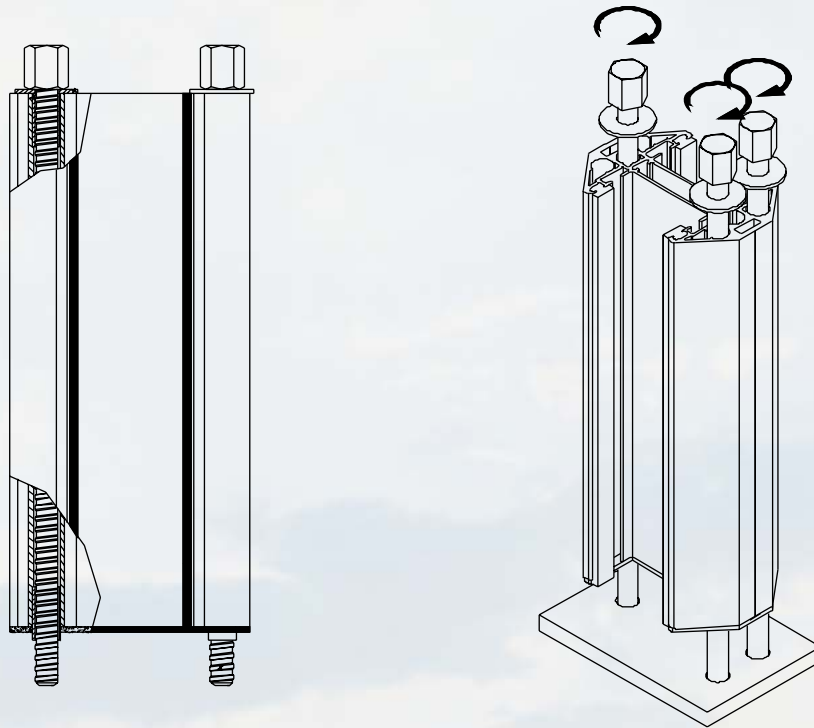
A: Systemen met eenvoudige profieldoorsnede houden het risico in bij de eerste schok te barsten.

B: **De vertande DPS 2000®-schot-balken bieden hoge stabiliteit en maximale veiligheid** tegen mechanische beschadiging door drijvend goed evenals ook tegen vandalisme.





- Bij eenvoudige systemen kan de dichting door te hoge druk worden angegrepen.
- Door de profielvorm van DPS 2000® ontstaan kamers voor de dichtingen.
- De dichtingen kunnen dus nooit zo sterk worden samengedrukt, dat zij kunnen worden beschadigd.



- Gewicht slechts 17 kg per strekkende meter, daarom zonder kraan te manipuleren.
- eenvoudige hantering
- Geen losse schroeven
- Vastschroeven van boven met **doorlopende rolschroefdraadstangen**





- **Geen metrische of fijne schroefdraad**, omdat heel storingsgevoelig tegen vervuiling en verkeerde hantering
- Centreerhulsen aan de onderkant van de steunen zorgen voor een snelle en eenvoudige montage



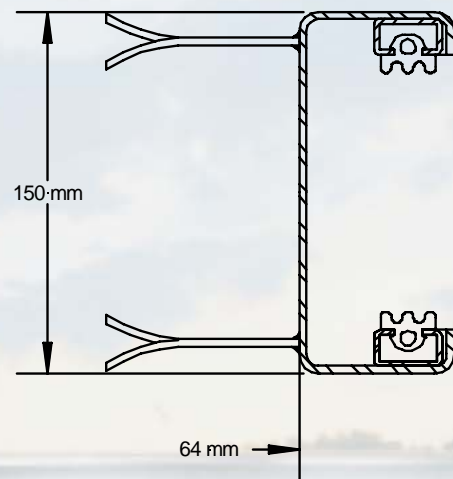
De aluminiumsteunen zijn tot en met een beschermhoogte van 1,60 m over het algemeen vrijstaand. Bij grotere beschermhoogten is het van de veldbreedte afhankelijk wanneer en welke achterste stut wordt ingezet.

De achterste stut van DPS 2000® moet ook bij grotere beschermhoogten eerst dan worden gemonteerd, wanneer meer schotbalken als de beschermhoogte 1,60 m worden ingelegd.

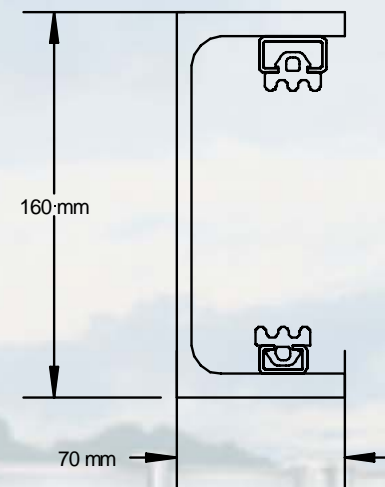
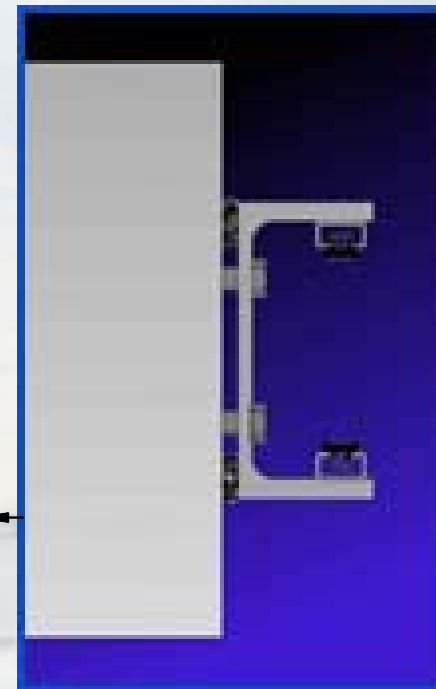


De wandaansluitprofielen zijn in verschillende uitvoeringen verkrijgbaar:

ingebetonnerde wandaansluitingen uit edelstaal



...of wandaansluitingen voor een montage achteraf uit vuurverzinkte staal

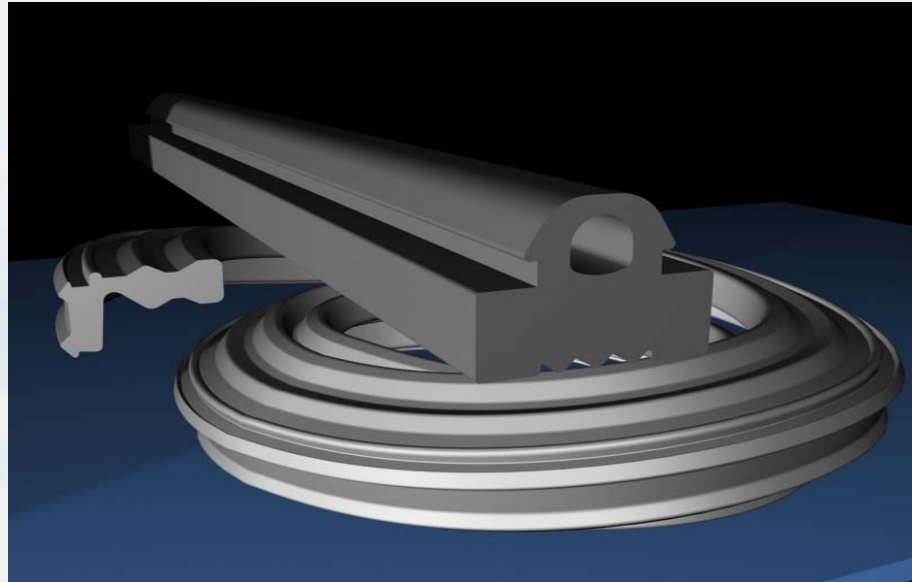


Dichtingen

- Inzet van hoogwaardige EPDM / sponsrubber-systeemdichtingen.
- Geen gevoelige slangdichtingen.

Afmetingen: Gebruikelijke dichtingen hebben slechts geringe afmetingen.

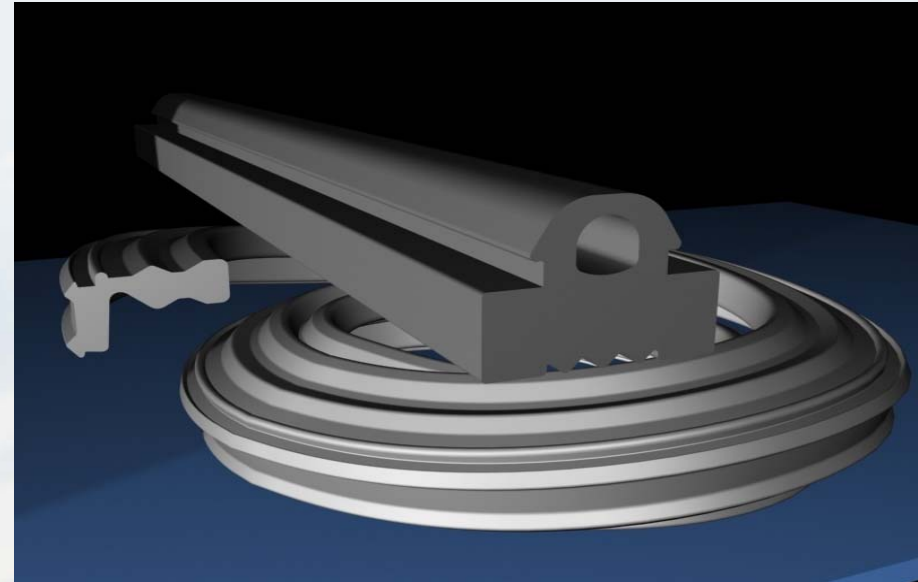
Bij grotere afmetingen ontstaan zoals de ervaring leert hierbij vrij vaak problemen met de dichtheid van het systeem.

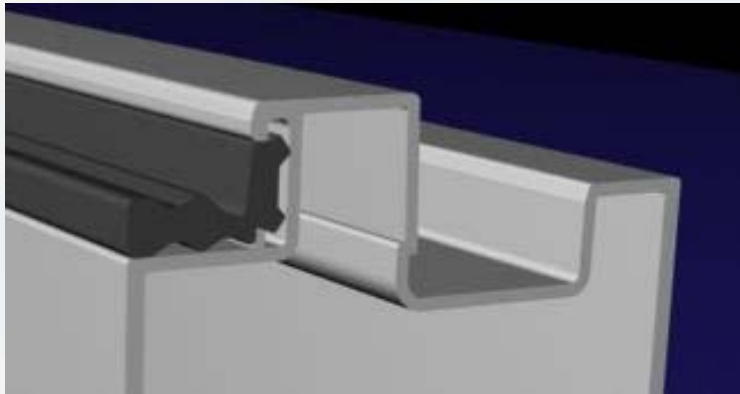


De dichtingen van het DPS 2000® systeem hebben in de afmetingen en in de kwaliteit hun deugdelijkheid bewezen.

Materiaal: Gebruikelijke dichtingen zijn EPDM-dichtingen (dus slechts hardrubber) en kunnen licht uit de schotbalk en steun uitschuiven, omdat de opname voor de dichtingen te groot is.

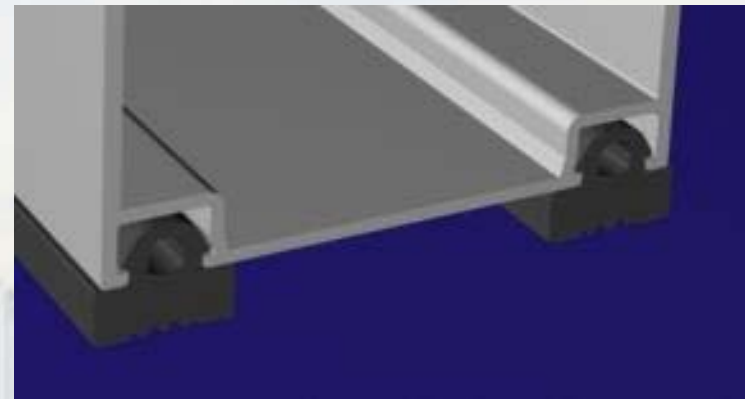
De dichtingen van het DPS-systeem zijn een combinatie uit hard-en zacht rubber. (Sponsrubber met twee verschillende Shore-hardheden).

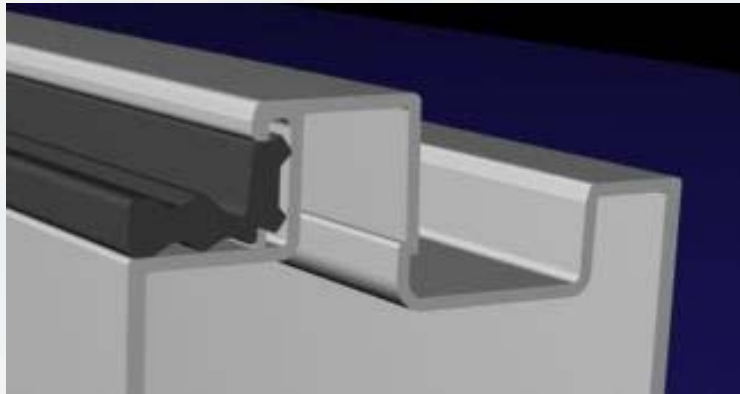




Bevestiging: Het harde deel van de DPS-dichtingen wordt in de daarvoor voorgeziene openingen in de steunen en schotbalken geklemd.

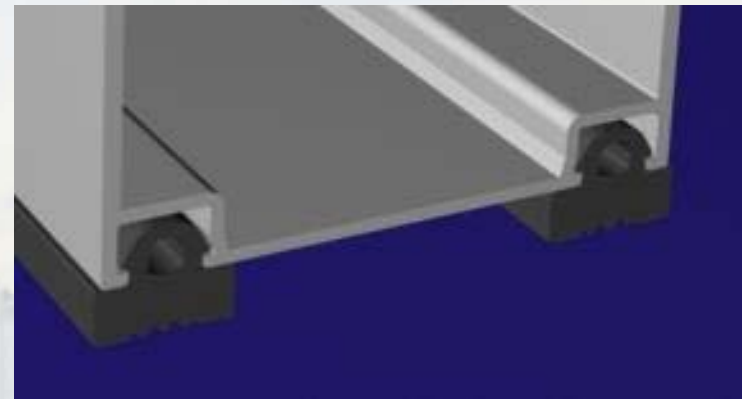
De dichtingen hebben dus – zonder dat zij opgeplakt zijn – een vaste zit, en zijn zonder de inzet van werktuig bij behoefte te vervangen.





Lipdichtingen: Bij gebruikelijke EPDM-dichtingen handelt het zich om eenvoudige lipdichtingen, d.w.z. De dichtingen worden bij stijgende druk niet samengedrukt.

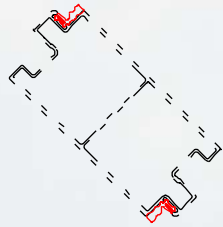
Sponsrubber biedt hier het voordeel, dat de dichting op grond van zijn elasticiteit ook door steentjes of zand niet wordt beschadigd. De levensduur van de dichtingen is bijgevolg groter.



DPS 2000®

Veiligheid vs. symmetrie ?!?

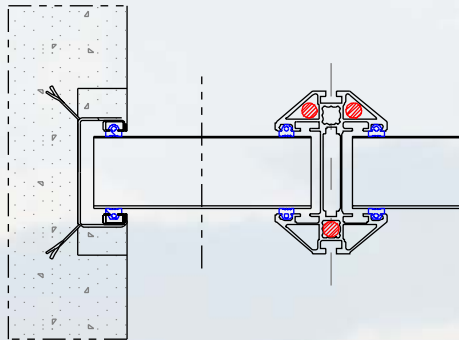




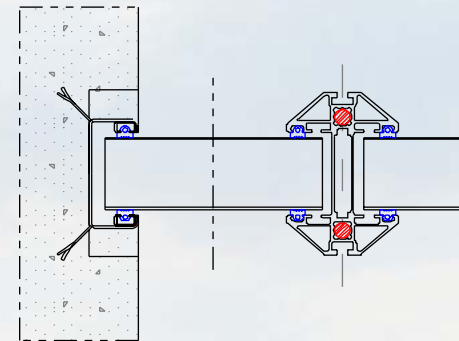
Bij het inleggen van de schotbalken is geen water-of landzijde in acht te nemen.

- Eerst wordt de bodem-schotbalk ingelegd. Voor een betere onderscheiding is deze schotbalk doorlopend blauw gekleurd.
- Alle overige schotbalken kunnen in een willekeurige volgorde worden ingelegd.
- Op de bovenkant van iedere schotbalk is een dichting zichtbaar. Het speelt geen rol, of deze dichting water- of landzijdig ligt.

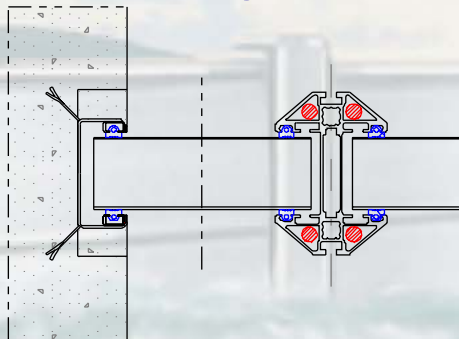
Als standaard worden de DPS 2000® aluminium-steunen met 3 schroefverbindingen per steun geleverd, om bij een event. uitvallen van een verankering waterzijdig dubbele veiligheid te bieden.



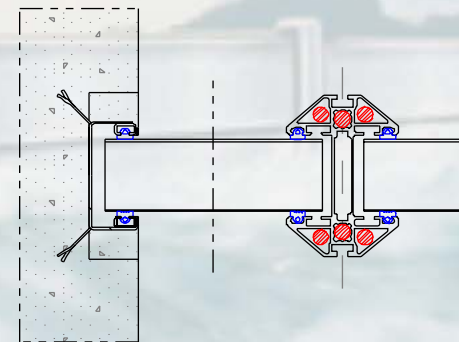
Het steunprofiel maakt echter ook een vastschroeven met 2 doorlopende stangen..



...of 4 stangen



...en al naar wens of vereisten tot en met 6 stangen mogelijk.





Referentie-projecten

DPS 2000® -- ~~Weggeleid met systeem~~





Stad Bingen

- gerealiseerd in het jaar 2003
- in totaal 50 m²



ASTRON Hotel Keulen

- gerealiseerd in het jaar 2001 ter bescherming tegen het 200-jarig hoogwater van de Rijn in Keulen
- in totaal 102 m²
- beschermhoogten tot 2,00 m
- steunen uit aluminium tot 1,60 m vrijstaand
- Bijzonderheden: in de bodemrails werden de opnamen voor de leuning met ingewerkt.



Stad Krakau, Polen

- gerealiseerd in het jaar 2000
- in totaal 833 m²
- beschermhoogten tot 1,60 m
- Bijzonderheden: Statiek in het Pools voorhanden
- gekruisde proef











Parkview Home, Edinburgh, Schotland

- Gerealiseerd in het jaar 2002
- 12,30 m breed, beschermhoogte 1,00m
- Steunen uit aluminium vrijstaand
- Bijzonderheden: De hoogteovergang naar de stoepranden werd in de bodemrail en de steunen ingewerk





Stad Wesseling, Zweedse residentie

- gerealiseerd in het jaar 1999- in totaal 61 m²
- Beschermhoogten tot 1,20m
- doorlopend met bodemrails
- Steunen uit aluminium vrijstaand
- Inzet van spanstangen in plaats van gangbare spanklemmen



Rheinstr. , Bonn

- Gerealiseerd in het jaar 1999
- 7,20 m breed, met 90°-hoek, beschermhoogte 2,00 m
- Steunen uit aluminium 2,00 m met achterste stut
- Bijzonderheden: De 90°-hoek werd hier in plaats van een hoeksteun door een in 90°-hoek samen-gelaste schotbalken gerealiseerd.
- De stutten van de steunen zijn demontabel en kruisen zich in de 90°-hoek
- Daardoor, dat de schotbalken bijna tot aan de bovenkant van het plafond gaan, werden de steunen landzijdig losgehaakt, om een inleggen mogelijk te maken.





Waterschap Peel en Maasvallei , bescherming van het gebied Venlo

- Gerealiseerd in het jaar 1995- in totaal 897 m²
- Beschermhoogten tot 3,80 m
- doorlopend met bodemrails
- Steunen uit staal, vuurverzinkt
- Bijzonderheden: voor de inzet op een betonmuur werden de steunen van GOH extra aangepast

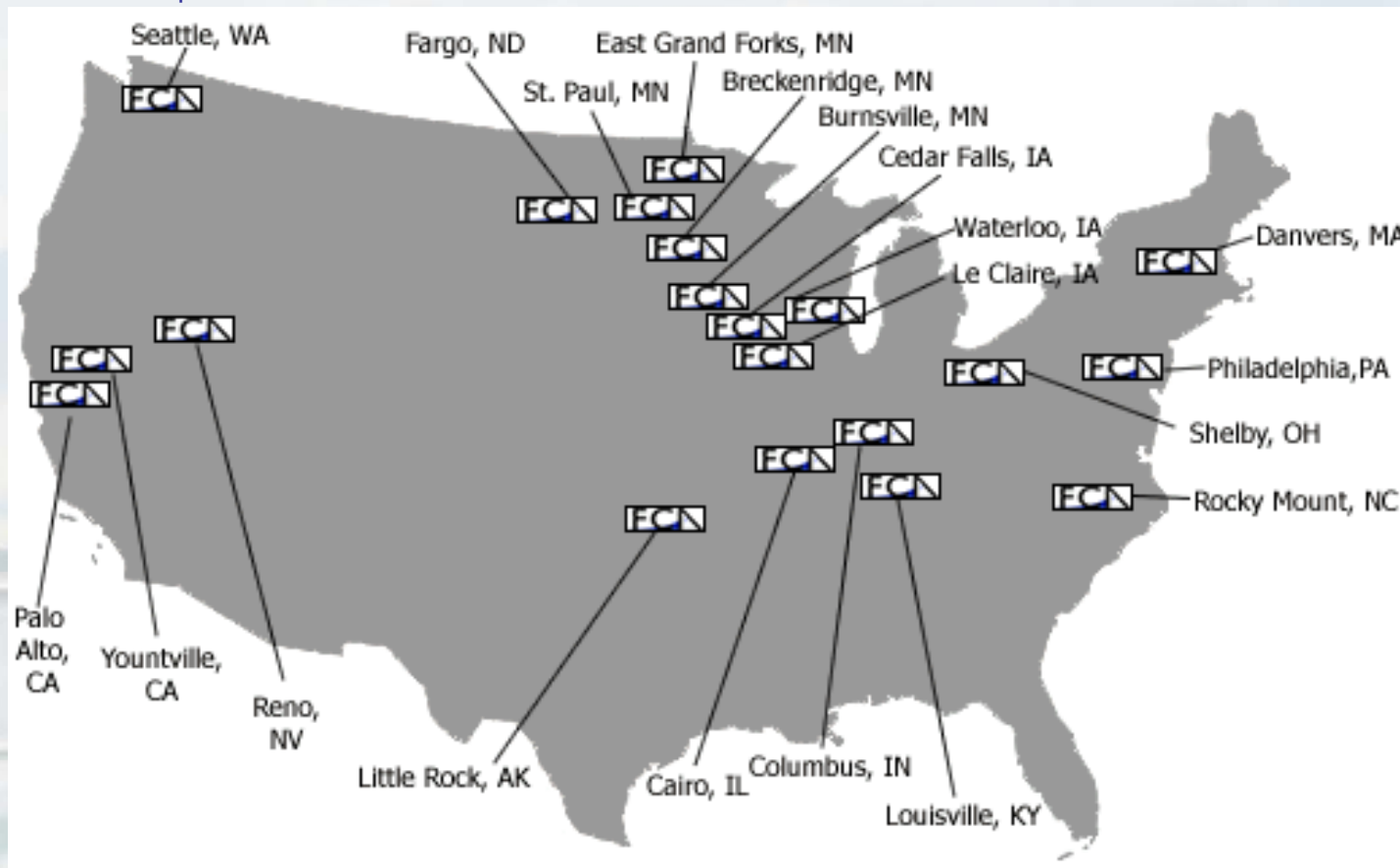


Licentiehouders in USA



www.floodcontrolam.com

Installatieplaatsen van DPS 2000® in USA





Louisville Kentucky USA

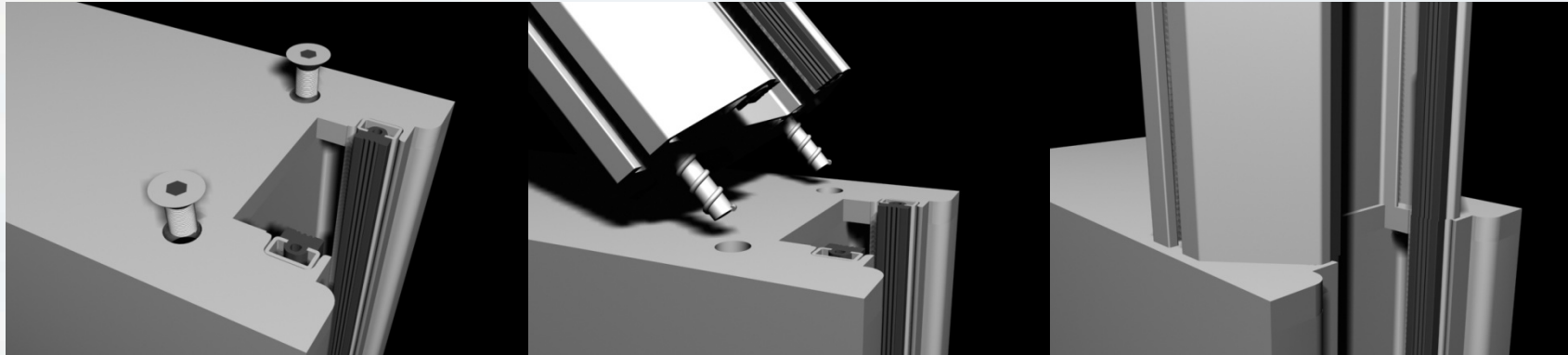
- gerealiseerd in het jaar 2000
- in totaal 485m²
- Beschermhoogte 2,10m





Cedar Falls Iowa

- gerealiseerd in het jaar 1998
- in totaal 120 m²
- Beschermhoogte 2,40m
- Bijzonderheden: Aanpassing aan spoorrails



Hoogtevergang



Hoekvorming door schotbalken



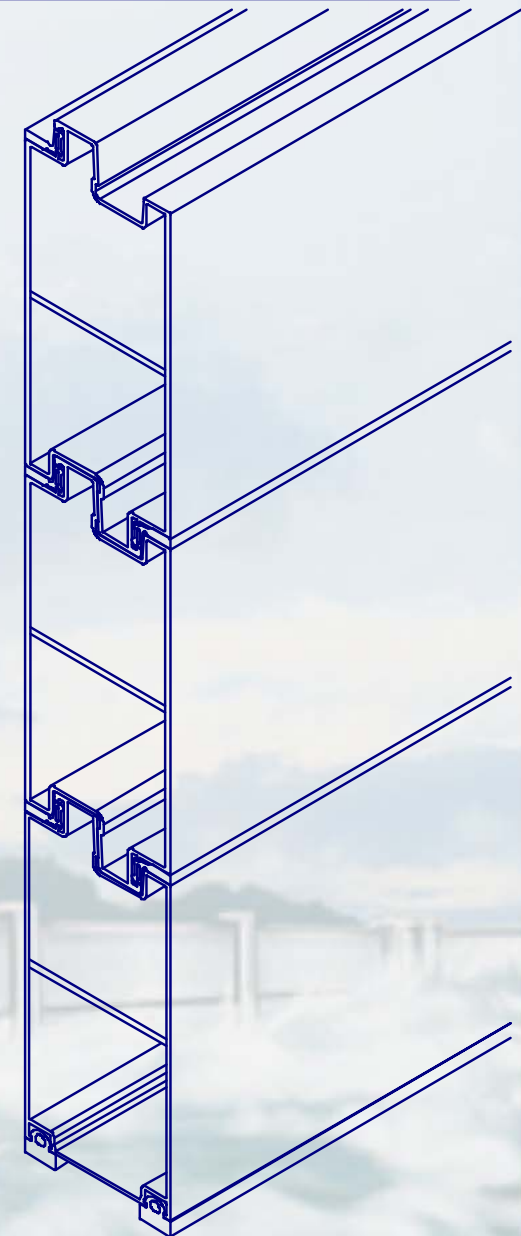
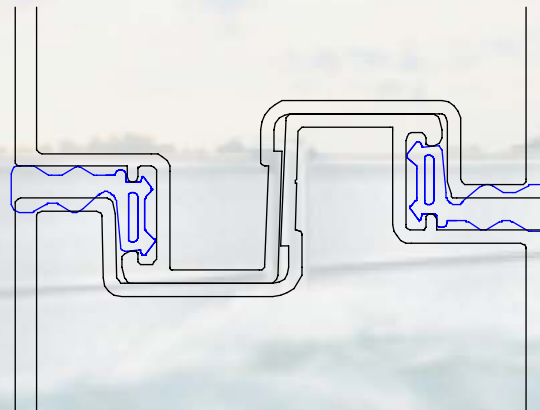
Hoogtevergang door schuine schotbalken en hoekse voetpunten van de steunen

Stabiliteit en veiligheid:

- **Vertande schotbalken bieden hoogste stabiliteit bij maximale veiligheidsweid.**
- De schotbalkhoogte bedraagt doorlopend 20 cm
- **GEEN horizontale spanning vereist**

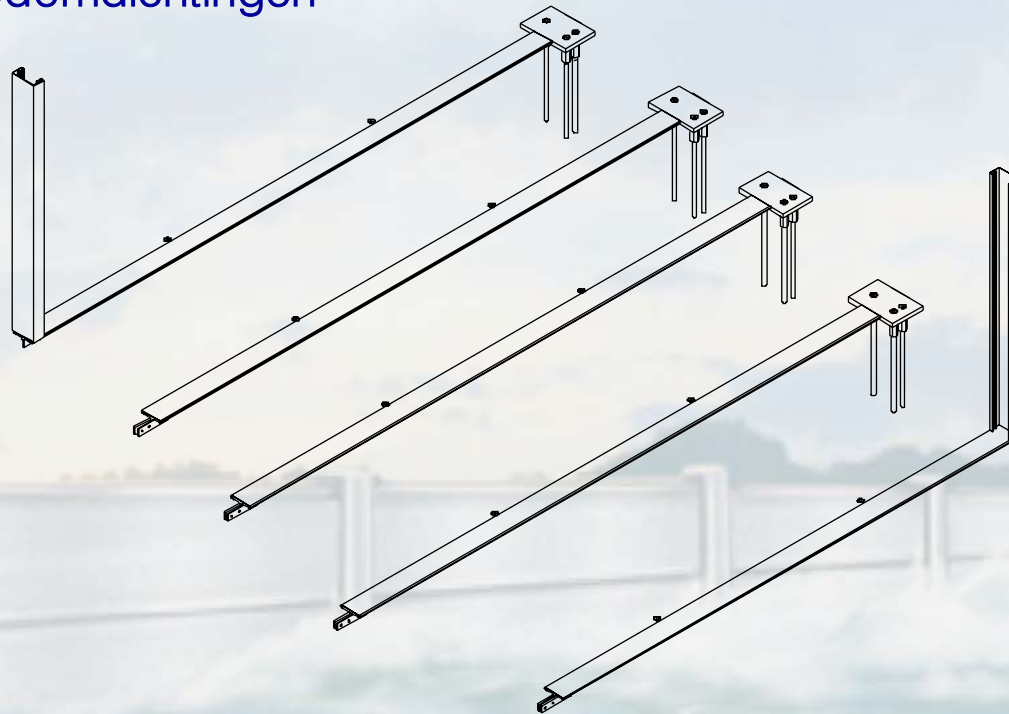
Dichtingen:

- Hoogwaardige EPDM/ sponsrubberdichtingen
- Dichtingen liggen in beschermde kamers



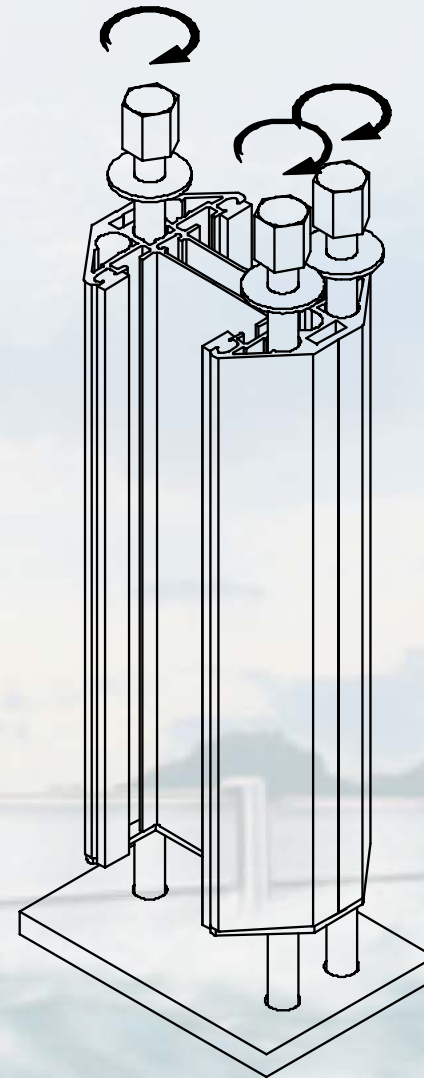
Bodemaansluiting:

- Precies passend geprefabriceerd
- Eenvoudige montage
- Zetten van aparte ankerplaten mogelijk maar niet noodzakelijk !
- Hoge levensduur voor bodemdichtingen



Middensteunen:

- Vastschroeven met rolschroefdraadstangen:
- **Geen losse schroeven**
- **Geen metrische schroefdrad**
- Vuilafstotend
- Steunen tot 1,60 altijd vrijstaand
- Minimum gewicht
- Extra versterkingen demontabel
- Symmetrische uitvoering verkrijgbaar





- Gewichtgeoptimaliseerd en daarom het snelst te monteren systeem.
- Gepatenteerde S-vormige vertanding van de schotbalken biedt de beste bescherming tegen barsten door aangespoeld drijvend goed of vandalisme.
- Speciale hard-zacht rubber-dichtingen in hoge mate beschadigingsresistent.
- Praktijkgeoriënteerde ontwikkeling van speciale oplossingen
- In inzet in Europa en USA vaak hun deugdelijkheid bewezen.
- Reservedelen prompt leverbaar.
- Amortisatie reeds bij de eerste inzet !





- Wij bieden U de planning en korte levering van de mobiele hoogwater-beschermsystemen DPS 2000® incl. De vereiste statische berekeningen aan. Daarbij worden ook speciale oplossingen voor Uw speciale situatie ontwikkeld.
- Wij adviseren U bij de efficiënte opslag van de elementen, het opstellen van de montage-inzetplannen en scholen van de montage-inzet.



C. Berekening D-Foundations coupure Waalstraat

Rapport voor D-Foundations 19.1

Ontwerp en Verificatie volgens Eurocode 7 van Strook- en Paalfunderingen
Ontwikkeld door Deltares

Datum van rapport: 3/26/2021
Tijd van rapport: 10:40:01 AM
Rapport met versie: 19.1.2.26122

Datum van berekening: 3/26/2021
Tijd van berekening: 10:38:42 AM
Berekend met versie: 19.1.2.26122

Bestandsnaam: C:\..\Tiel\Coupure Waalstraat\Dfoundations\Fundering Waalstraat_rev0

Projectbeschrijving: INFR200121 TIEL
FUNDERING WAALSTRAAT
D-Foundations Fundering Waalstraat_rev0

1 Inhoudsopgave

1 Inhoudsopgave	2
2 Invoergegevens	3
2.1 Algemene Invoergegevens	3
2.2 Rapportage Gegevens	3
2.3 Toepassingsgebied Model Fundering op staal	3
2.4 Bovenbouw	3
2.5 Algemene Sondeergegevens	3
2.5.1 Overzicht Sonderingen in Funderingsplan	4
2.6 Grondgegevens	4
2.6.1 Grondprofiel Waalstraat	4
2.7 Funderingsgegevens	5
2.8 Funderingsplan	6
2.8.1 Overzicht Funderingsplan	6
2.9 Belastingsgegevens	6
2.9.1 Verticale belastingen	6
2.9.2 Horizontale belastingen	6
2.10 Eisen	7
2.11 Opgegeven Parameters	7
2.12 Model Opties	7
3 Shallow Foundations (EC7-NL): Resultaten Toetsing	8
3.1 Toetsing Grenstoestand EQU	8
3.1.1 Verticale Draagkracht, Ongedraineerde Situatie	8
3.1.2 Verticale Draagkracht, Gedraineerde Situatie	8
3.1.3 Stabiliteit	8

2 Invoergegevens

2.1 Algemene Invoergegevens

Model Shallow Foundations (EC7-NL)

2.2 Rapportage Gegevens

Geotechnisch adviseur :
Constructeur bovenbouw :
Opdrachtgever :
Titel 1 : INFR200121 TIEL
Titel 2 : FUNDERING WAALSTRAAT
Titel 3 : D-Foundations Fundering Waalstraat_rev0
Nummer project :
Locatie project :

2.3 Toepassingsgebied Model Fundering op staal

De toetsingen uitgevoerd door het model fundering op staal van D-FOUNDATIONS hebben betrekking op funderingen op staal waarop statische of quasi-statische krachten werken. Het funderingsoppervlak mag hierbij een hoek met de horizontaal maken van ten hoogste 2.5 graden.

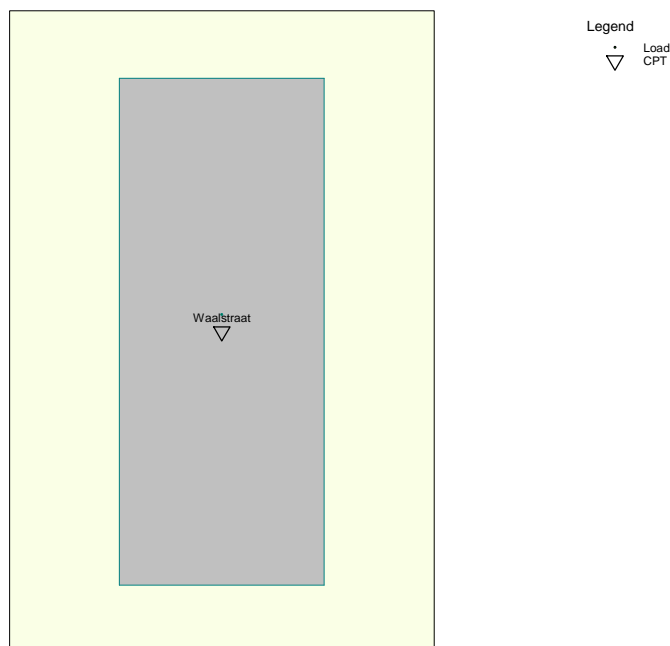
2.4 Bovenbouw

Stijfheidskarakteristiek : Slap

2.5 Algemene Sondeergegevens

Aantal sonderingen : 1

2.5.1 Overzicht Sonderingen in Funderingsplan



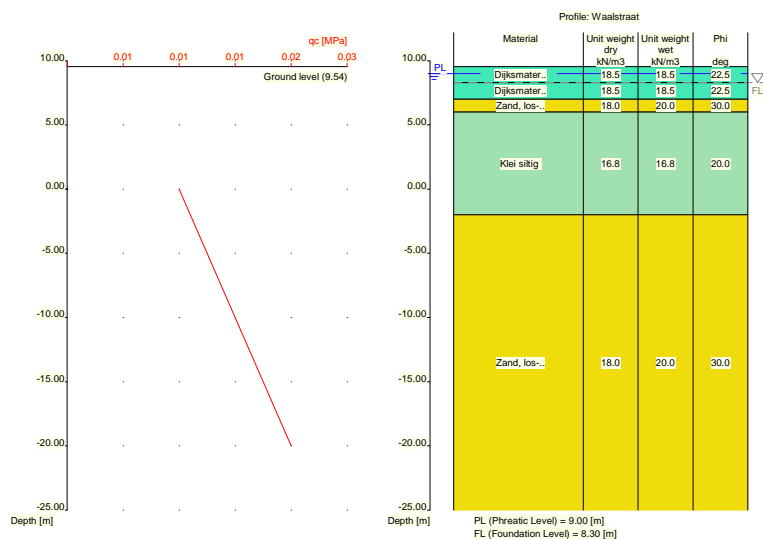
Naam sondering	X-coördinaat [m]	Y-coördinaat [m]
Waalstraat	0.00	0.00

2.6 Grondgegevens

Aantal grondprofielen: 1

2.6.1 Grondprofiel Waalstraat

Behorende bij sondering	Waalstraat
Maaiveldniveau in [m. t.o.v. referentie niveau] :	9.54
Niveau grondwaterstand in [m. t.o.v. referentie niveau] :	9.00
Funderingsniveau in [m t.o.v. R.N.] =	8.30
Concentratiegetal van Frohlich [-] =	3
Aantal lagen in profiel :	5



Nummer laag	Niveau bov.laag [m R.N.]	Gamma [kN/m ³]	Gamma sat [kN/m ³]	Phi [deg]	Cohesie [kPa]	f;undr [kPa]	Cc [-]	Ca [-]
1	9.540	18.54	18.54	22.50	5.00	80.00	0.01	0.00
2	8.300	18.54	18.54	22.50	5.00	80.00	0.01	0.00
3	7.000	18.00	20.00	30.00	0.00	0.00	0.01	0.00
4	6.000	16.82	16.82	20.00	2.50	50.00	0.01	0.00
5	-2.000	18.00	20.00	30.00	0.00	0.00	0.01	0.00

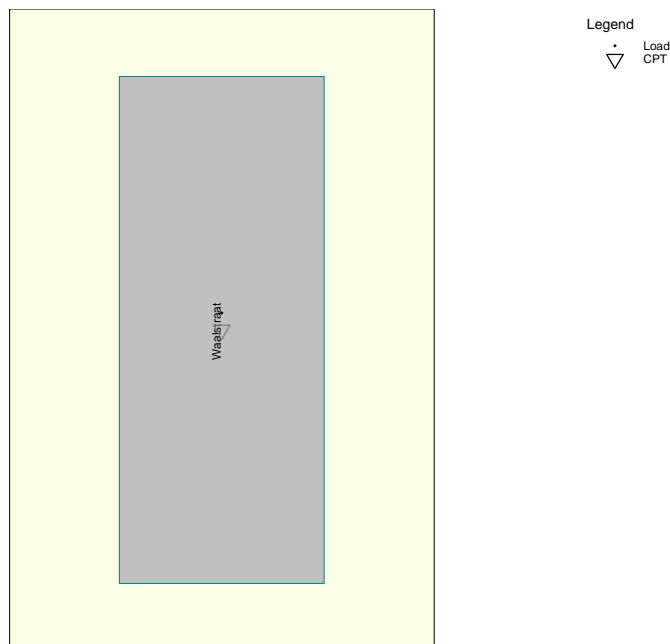
Nummer laag	Niveau bov.laag [m R.N.]	e0 [-]	Grondsoort
1	9.540	0.26	Zand
2	8.300	0.26	Klei
3	7.000	0.26	Zand
4	6.000	0.26	Klei
5	-2.000	0.26	Zand

2.7 Funderingsgegevens

Element naam	Element vorm	Breedte [m]	Lengte [m]	Diameter [m]	Type
Waalstraat	Rechthoekige poer	5.30	13.13	nvt	In het werk...

2.8 Funderingsplan

2.8.1 Overzicht Funderingsplan



Element nummer/naam	Xm [m]	Ym [m]	hoek [deg]	Element type naam	Grond-profiel naam	Belastings-geval naam	Talud nr.
1: 1	0.00	0.00	0.00	Waalstraat	Waalstra...	2125	None

2.9 Belastingsgegevens

2.9.1 Verticale belastingen

Belastings-geval	GT EQU/STR/GEO			BGT		
	eB [m]	eL [m]	Vd [kN]	eB [m]	eL [m]	Vd [kN]
2125	0.00	0.44	1685.00	0.00	0.44	1685.00

2.9.2 Horizontale belastingen

Belastings-geval	GT EQU/STR/GEO		BGT		Kappa [deg]
	eH [m]	Hd [kN]	eH [m]	Hd [kN]	
2125	1.80	616.00	1.80	616.00	0.00

2.10 Eisen

Grenstoestand STR/GEO	
Maximaal toegestane zakking in [m] :	0.150
Maximaal toegestane (relatieve) rotatie :	1 / 100
Bruikbaarheidgrenstoestand	
Maximaal toegestane zakking in [m] :	0.150
Maximaal toegestane (relatieve) rotatie :	1 / 300

2.11 Opgegeven Parameters

Alle parameters volgens de standaard.

2.12 Model Opties

Geen gebruik tussenresultatenfile
Maak geen gebruik van het interactie model.

3 Shallow Foundations (EC7-NL): Resultaten Toetsing

3.1 Toetsing Grenstoestand EQU

Eis volgens NEN 9997-1:2016 art. 2.4.8: $E_d \leq C_d$.

3.1.1 Verticale Draagkracht, Ongedraineerde Situatie

Fund. elem. naam	Berekeningsgeval	Vd [kN]	Rd [kN]	Rd (Squeeze) [kN]	Ftrek [kN]	Resultaat toetsing
1	Geval C	1685.00	12089.91	0.00	0.00	VOLDOET

- voor de toetsing is de hoogste waarde van Rd aangehouden!
 -Ftrek ($0.5 * b' * c_u; d$) is de trekkracht per strekkende meter welke opgenomen moet kunnen worden door de fundering bij squeeze (zie art. 6.5.2.2 (r) NEN 9997-1:2016).

3.1.2 Verticale Draagkracht, Gedraineerde Situatie

Fund. elem. naam	Berekeningsgeval	Vd [kN]	Rd [kN]	Vd (Pons) [kN]	Rd (Pons) [kN]	Resultaat toetsing
1	Geval C	1685.00	7851.12	1685.00	8492.38	VOLDOET

NB:bij toetsing voor zowel situatie met als zonder pons, moet aan beide worden voldaan!

3.1.3 Stabiliteit

Fund. elem. naam	Minimale l' [m]	Minimale b' [m]	Phi`d [deg]	Kantelstabiliteit	Totale stabiliteit
1	10.79	5.30	20.32	VOLDOET	VOLDOET

Einde Rapport

D. Betrouwbaarheid sluiting



Notitie

Voor: Waterschap Rivierenland
Van: N. den Adel
Gecontroleerd: M. Verduijn
Bedrijf: Iv-Infra b.v.

Datum: 12 maart 2021
Referentie: INFR200121-N02
Revisie: 2
Onderwerp: Betrouwbaarheid sluiting bestaande coupures

In deze notitie is, voor de primaire waterkering rond Tiel, een nadere uitwerking van de beoordeling van het faalmechanisme betrouwbaarheid sluiting (BSKW) voor de bestaande coupures, de nieuwe coupures en de demontabele keringen uitgevoerd. In deze revisie is de herstelmaatregel met big-bags om de bestaande coupures te kunnen sluiten opgenomen in de faalkansanalyse.

Revisie document	Omschrijving
0	Conceptversie ter bespreking
1	Conceptversie ter bespreking, wijzigingen zijn: <ul style="list-style-type: none">- Berekenen hydraulische randvoorwaarden met HKV-database- Gedetailleerde analyse technische falen toegevoegd
2	Conceptversie ter bespreking, wijzigingen zijn: <ul style="list-style-type: none">- In overleg met WSRL is de faalkans aangescherpt door een herstelmaatregel op te nemen in de faalkansanalyse

Samenvatting

Vanwege het relatief grote aantal coupures dat gerealiseerd wordt binnen het dijkversterkingsproject stad Tiel, is de faalkanseis per kunstwerk ten aanzien van betrouwbaarheid sluiting streng. Om te voldoen aan de faalkanseis zijn aanscherpingen in het hoogwaterdraaiboek noodzakelijk. Daarnaast dient een alternatieve sluiting met big bags voorbereid te zijn in het geval de reguliere sluiting faalt. Een gedetailleerde lijst met aspecten waaraan voldaan dient te worden is opgenomen in de paragraaf aanbevelingen op pagina 8.



Faalkanseis betrouwbaarheid sluiting kunstwerk

De faalkanseis voor het faalmechanisme betrouwbaarheid sluiting is bepaald met onderstaande formule.

$$P_{eis;KW,bskw} = \frac{P_{norm} * \omega_{KW,bskw}}{N}$$

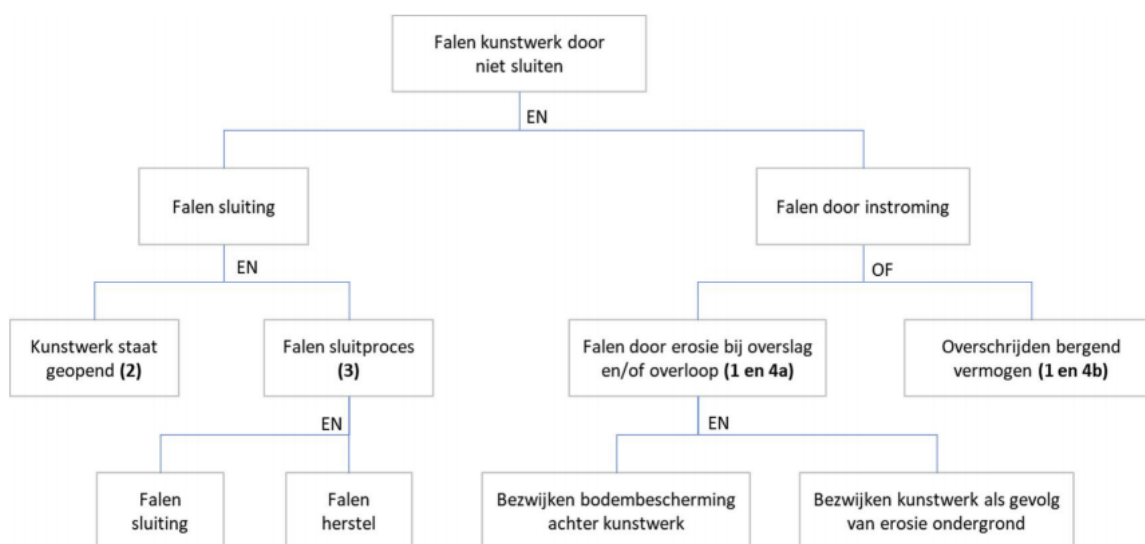
Waarin:

- $P_{eis;KW,bskw}$ Faalkanseis voor het faalmechanisme betrouwbaarheid sluiting per individueel kunstwerk per jaar.
- P_{norm} Faalkanseis voor gehele dijktraject (normtraject), voor dijktraject 43-6 is dit voor de ondergrens $P_{norm} = \frac{1}{10.000}$ per jaar
- $\omega_{KW,bskw}$ Faalkansruimtefactor voor het faalmechanisme betrouwbaarheid sluiting bedraagt 0,04 [-] [2].
- N Lengte-effectfactor voor het faalmechanisme betrouwbaarheid sluiting is afhankelijk van het aantal kunstwerken dat een bijdrage heeft aan dit faalmechanisme. In het ontwerp wordt conform het OI2014 uitgegaan van de maximale waarde van 10 [-]. Deze maximale waarde is een conservatieve keuze waarin rekening is gehouden met eventuele kunstwerken die in de toekomst toegevoegd worden. ¹

$$P_{eis;KW,bskw} = \frac{P_{norm} * \omega_{KW,bskw}}{N} = \frac{\frac{1}{10000} * 0,04}{10} = \frac{1}{2.500.000} \text{ per jaar}$$

Faalkans betrouwbaarheid sluiting

De foutenboom voor het faalmechanisme betrouwbaarheid sluiting is opgenomen in Figuur 1.



Figuur 1: Foutenboom faalmechanisme betrouwbaarheid sluiting [1]

¹ In de bestaande situatie zijn er in ieder geval 5 kunstwerken die bijdragen aan dit faalmechanisme. Daarnaast worden er 5 nieuwe coupures gerealiseerd. Het totale aantal relevante kunstwerken bedraagt 10. Er dient daarom uitgegaan te worden van de maximale waarde voor de lengte effect factor, N=10.



Uit de foutenboom volgt de onderstaande formule voor het bepalen van de faalkans:

$$P_{f,KW,NS} = P_{open} * P_{ns} * P_{f,herstel} * P(\{Z_{NS1} < 0 \text{ EN } Z_{NS2} < 0\} \text{ OF } Z_{NS3} < 0) * N$$

Hierin is:

- $P_{f,KW,NS}$ Kans op overstroming na niet-sluiten [per jaar];
- P_{open} Kans op open kering bij een sluitvraag [-];
- P_{ns} Kans op falen sluiting bij een sluitvraag [1/vraag];
- $P_{f,herstel}$ Kans op falen herstel van gefaalde sluiting [-];
- $P(Z_{NS1} < 0)$ Kans op bezwijken bodembescherming [-];
- $P(Z_{NS2} < 0)$ Kans op bezwijken kunstwerk in geval van een bezweken bodembescherming [-];
- $P(Z_{NS3} < 0)$ Kans op overschrijden van het kombergend vermogen [-].
- N Betreft het aantal sluitvragen [per jaar]

De bijdragen van de componenten bodembescherming en komberging is gering. Vanwege de ligging van de coupures in het bebouwd gebied, is er bij een gering instromend debiet al sprake van 'overlast' door overstromingsgevolgen. In deze beoordeling wordt de formule daarom vereenvoudigd tot:

$$P_{f,KW,NS} = P_{open} * P_{ns} * P_{f,herstel} * N$$

Voor de bestaande coupures wordt, om het aantal sluitvragen per jaar te bepalen, uitgegaan van de overschrijdingsfrequentie van de waterstand gelijk aan het drempelniveau van de coupures. Het uitgangspunt bij deze faaldefinitie is dat eventuele instroom door golfoploop tot aan de drempelhoogte door de achterliggende kom geborgen kan worden en de achterliggende bestrating (bodembescherming) niet bezwijkt. Het drempelniveau van de bestaande coupures is ca. NAP+9,50 m tot NAP+9,75 m. De coupures hebben een relatief lang (ca. 30 m tot 90 m) voorland. Dit voorland verloopt vrijwel horizontaal en bevindt zich op ca. NAP+9,50 m (= ca. het drempelniveau van de coupures). Door dit voorland blijft de instroom door golven beperkt.

Voor de nieuwe coupures wordt het aantal sluitvragen bepaald door uit te gaan van een waterstand bij sluiting die 50 cm onder het drempelniveau ligt. Bij een waterstand van 50 cm onder het drempelniveau dienen de coupures gesloten te zijn. De nieuwe coupures bevinden zich in de buitenkruinlijn van de waterkering. Het drempelniveau van deze coupures ligt tussen de ca. NAP+11,65 m en ca. NAP+11,98 m. Bij een dergelijke hoge waterstand is de waterdiepte in het voorland ca. 2 tot 2,5 m. Het voorland heeft bij deze waterstand niet of nauwelijks invloed op de golven. Hierdoor wordt voor de nieuwe coupures rekening gehouden met de instroom ten gevolge van golfoploop. Er wordt voor het bepalen van het aantal sluitvragen 50 cm marge aangehouden t.o.v. het drempelniveau.

Onderstaand worden de invoerparameters voor het bepalen van de faalkans van de bestaande coupures toegelicht.

P_{open} Kans op open kering bij een sluitvraag [-]



De coupures hebben als functie om de waterkering passeerbaar te maken onder normale omstandigheden. Vanuit deze functie zijn de coupures dus altijd geopend, $P_{open} = 1 \text{ per jaar}$.

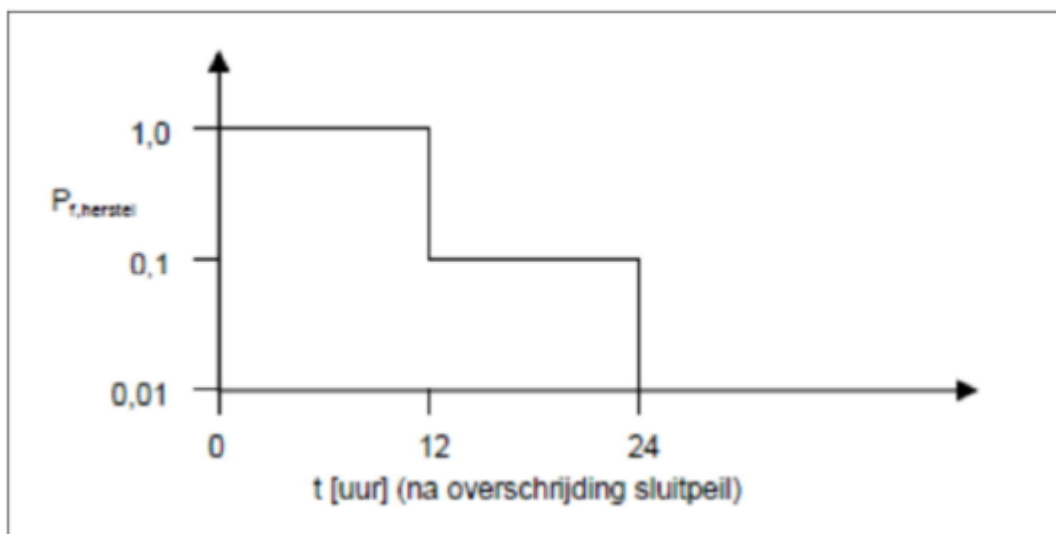
$P_{f,herstel}$ Kans op falen herstel van gefaalde sluiting [-]

In overleg met de dijkbeheerder en assetmanager van het Waterschap Rivierenland is het plaatsen van big bags opgenomen als herstelmaatregel. Voor deze herstelmaatregel is een protocol beschikbaar en daarnaast wordt deze sluiting geoefend. Door de beheerder is aangegeven dat het stapelen van big bags 3 hoog (=3 m) niet eerder gedaan is. Om deze herstelmaatregel voor de bestaande coupures in rekening te brengen dient het Waterschap Rivierenland de volgende aspecten verder uit te werken:

- De procedure voor het sluiten met big bags tot 3 rijen hoog dient bekend te zijn, bijvoorbeeld door de procedure uit te werken in een werkinstructie.
- De procedure dient periodiek geoefend te worden.
- Het materiaal en materieel voor de sluiting dient voorradig en beschikbaar te zijn.
- Onderzoeken of de big bags ook onder storm (hoge windsnelheden) geplaatst kunnen worden.
- Onderzoeken of de big bags ook voor de demontabele kering in deeltraject 4C als herstelmaatregel van toepassing kan zijn

Het uitgangspunt in deze analyse is dat aan bovenstaande voorwaarden voldaan wordt. De sluiting met big bags is daarmee uitvoerbaar. Daarnaast is onderzocht of er voldoende tijd beschikbaar is om deze alternatieve sluiting uit te kunnen voeren. Uit de sluitingsprotocollen van de bestaande coupures volgt dat overgegaan wordt tot sluiting van de coupures bij een waterstand van NAP+9,15 m. Dit is ca. 0,50 m onder het drempelniveau van de coupures. In bijlage A is het waterstandsverloop t.p.v. Tiel onderzocht. Er is ca. 25 uur beschikbaar tussen het overschrijden van het sluitpeil en het overschrijden van het drempelniveau. Conform Figuur 2, overgenomen uit de schematiseringshandleiding betrouwbaarheid sluiting [3], mag in dit geval een faalkans van herstel van $P_{f,herstel} = 0,01$ in rekening gebracht worden.

Voor de nieuwe coupures is minimaal eenzelfde of een grotere tijdsperiode beschikbaar om de sluiting te herstellen. Daarnaast is de kerende hoogte van deze coupures maximaal 1,0 m waardoor herstel eenvoudiger uitvoerbaar is. De $P_{f,herstel} = 0,01$ kan daarom ook toegepast worden voor de nieuwe coupures. Vanwege het hoge drempelniveau van de nieuwe coupures is deze herstelmogelijkheid pas vereist vanaf het zichtjaar 2100 om te voldoen aan de faalkanseis.



Figuur 2: Faalkans van herstel op basis van beschikbare tijd conform WBI2017 [3]

N het aantal sluitvragen per jaar betreft [1/jaar].

Voor de bestaande coupures is het aantal sluitvragen per jaar bepaald door de overschrijdingsfrequentie van een waterstand gelijk aan drempelniveau te bepalen. Voor de nieuwe coupures is uitgegaan van een waterstand van 50 cm onder het drempelniveau. Deze overschrijdingsfrequenties zijn gelijk aan het aantal sluitvragen per jaar vanuit de hoogwaterkerende functie. In Hydra-NL is de overschrijdingsfrequentie van dit niveau bepaald. Hiervoor is gebruik gemaakt van de aangepaste hydraulische database ter plaatse van Tiel [11]. Hierin zijn meerdere randvoorwaardepunten² beschikbaar waardoor er per coupure een overschrijdingsfrequentie van het drempelniveau is bepaald.

Tabel 1: Aantal sluitvragen per jaar per coupure

Coupures:	Drempelniveau [m+NAP]	Aantal sluitvragen [1/jaar]			
		2050	2075	2100	2125
DT3: Groene krib (nieuw)	11,48*	1/2.479	1/999	1/468	1/266
DT3: Nieuwe Havendijk (nieuw)	11,32*	1/1.359	1/570	1/287	1/169
DT4a: Waalkade (nieuw)	11,15*	1/693	1/302	1/173	1/93
DT4a: Havendijk (nieuw)	11,46*	1/2.261	1/950	1/442	1/253
Waterpoort (bestaand)	9,75	1/17	1/12	1/8	1/6
DT4c1 Demontabele kering (nieuw)	11,35*	1/1.571	1/673	1/318	1/184
Waalstraat (bestaand)	9,75	1/18	1/13	1/9	1/6
DT4c2 en 4c3 Demontabele kering (nieuw)	11,35*	1/1.571	1/673	1/318	1/184
Bellevue (bestaand)	9,50	1/12	1/8	1/6	1/5

* Voor de nieuwe coupures wordt uitgegaan van sluiting bij een waterstand van 50 cm onder drempelniveau. Het weergegeven niveau betreft dus drempelniveau – 50 cm.

² In de OI-database zijn slechts twee uitvoerpunten beschikbaar ter plaatse van Tiel.



P_{ns} Kans op falen sluiting bij een sluitvraag [-]

De kans op falen van de sluiting bij een sluitvraag wordt bepaald op basis van de 'standaard' scoretabellen.

De kans op falen sluiting bij een sluitvraag is bepaald voor de toekomstige situatie.

Voor het bepalen van P_{ns} in de huidige situatie is gebruik gemaakt van de volgende referenties:

- Sluiting Coupure Waalstraat (034852); d.d. 14-07-2017, Waterschap Rivierenland
- Sluiting Coupure Waterpoort (034853); d.d. 14-07-2017, Waterschap Rivierenland
- Invullingscoretabellen beoordelingsrapportages Movares:³
 - Veiligheidsanalyse stad Tiel, Beoordelingsrapportage KW11, Coupure Waterpoort, 17-04-19, versie 2.0
 - Veiligheidsanalyse stad Tiel, Beoordelingsrapportage KW17, Coupure Waalstraat, 12-03-19, versie 2.0
 - Veiligheidsanalyse stad Tiel, Beoordelingsrapportage KW20, Coupure Bellevue, 04-02-19, versie 2.0

Hierin is aangenomen dat de sluitingsprotocollen en het hoogwaterdraaiboek op een aantal aspecten aangescherpt is. Op basis van de huidige situatie kan er geen voldoende lage faalkans met de scoretabellen behaald worden. Er wordt daarom voorgesorteerd op aanpassingen in het hoogwaterdraaiboek. Deze aanpassingen dienen met Waterschap Rivierenland (en gemeente Tiel) afgestemd te worden. Voorgestelde maatregelen om de faalkans te verlagen zijn:

- Jaarlijks oefenen van de mobilisatie en sluiting coupures. Hierbij hoeven niet jaarlijks alle coupures gesloten worden. Er kan volstaan worden met het sluiten van één van de kunstwerken die een vergelijkbaar sluitproces hebben. Als voorbeeld zou jaarlijks: één van de bestaande coupures, één van de nieuwe coupures en één sectie van de demontabele kering gesloten moeten worden en dient jaarlijks de sluiting met de big bags geoefend te worden. Er dient wel jaarlijks een ander kunstwerk (met een vergelijkbaar sluitproces) gesloten te worden. Daarnaast is het een vereiste dat ieder kunstwerk in ieder geval één keer per vijf jaar gesloten wordt.
- Tweemaal per jaar de coupures en keermiddelen inspecteren en waar nodig maatregelen nemen.
- De keermiddelen en reserve elementen op twee verschillende plaatsen opslaan.

In het bepalen van de sluitvraag zijn daarnaast de volgende aannames gedaan. Deze zijn gebaseerd op de invulling van de scoretabellen in de beoordelingsrapportages. Deze aannames dienen geverifieerd te worden:

- Beschikbaarheid van mobilisatieregeling, stand-by regeling en terugmeldingssysteem;
- Beschikbaarheid van OTO-Plan;
- 2 of meerdere aannemers beschikbaar voor sluiting coupures. (Of een andere herstel mogelijkheid in de mobilisatie en bedieningsprocedure);
- Beschikbaarheid onderhoudsplan voor de keermiddelen;
Vastleggen resultaten van proefsluitingen in logboek.

Indien bovenstaande wijzigingen worden doorgevoerd in het hoogwaterdraaiboek neemt de faalkans per sluitvraag af tot 1 x per 8.327 sluitvragen, zie Tabel 2. De invulling van de scoretabellen in de nieuwe situatie is opgenomen in bijlage B.

³ Movares heeft voor de invulling van de scoretabellen een beheerdersinterview afgenomen. Hierin is aanvullende informatie t.o.v. de sluitingsprotocollen beschikbaar. Voor het ontwerp dient de informatie uit het interview nog geverifieerd te worden.



Tabel 2: Faalkans per sluitvraag met aangenomen aanscherpingen in hoogwaterdraaiboek

Element	Symbol	Faalkans	
Faalkans falen alarmering	$P_{ns,alarmering}$	0.0000001	1/ 1E+07
Faalkans falen mobilisatie	$P_{ns,mobilisatie}$	0.00001	1/ 100000
Faalkans falen bediening	$P_{ns,bediening}$	0.00001	1/ 100000
Faalkans technisch falen	$P_{ns,technisch\ falen}$	0.0001	1/ 10000
Totale faalkans niet sluiten	P_{ns}	0.000120098	1/ 8327

Resultaten

In deze analyse is de faalkans voor het faalmechanisme bepaald met de onderstaande formule:

$$P_{f,KW,NS} = P_{open} * P_{ns} * P_{f,herstel} * N$$

Waarin de volgende componenten bepaald zijn:

- P_{open} Kans op open kering bij een sluitvraag [-] $P_{open} = 1$
- P_{ns} Kans op falen sluiting bij een sluitvraag [1/vraag] $P_{ns} = \frac{1}{8327}$ per vraag
- $P_{f,herstel}$ Kans op falen herstel van gefaalde sluiting [-] $P_{f,herstel} = 0,01$
- N aantal sluitvragen per jaar [1/jaar], N is verschillend per coupure en is opgenomen in Tabel 1.

In Tabel 3 is per coupure de berekende faalkans voor het zichtjaar 2125 weergegeven. De faalkansen voor alle coupures zijn lager dan de faalkanseis (1/2.500.000 per jaar). De coupures voldoen hiermee aan de faalkanseis voor het faalmechanisme betrouwbaarheid sluiting. Deze conclusie is geldig mits voldaan wordt aan de aanbevelingen die zijn opgenomen onder Tabel 3. De mogelijkheid tot het herstellen van de sluiting met big bags dient voor de bestaande coupures (Waterpoort, Waalstraat en Bellevue) vanaf zichtjaar 2023 beschikbaar te zijn. Voor de nieuwe coupures dient deze herstelmogelijkheid vanaf zichtjaar 2100 beschikbaar te zijn.

Tabel 3: Faalkans per coupure voor het zichtjaar 2125

Coupures	Aantal sluitvragen 2125 [1/jaar]	Faalkans herstel [-]	Faalkans* [1/jaar]
DT3: Groene krib (nieuw)	1/289	0,01	1/221.288.386
DT3: Nieuwe Havendijk (nieuw)	1/197	0,01	1/140.858.598
DT4a: Waalkade (nieuw)	1/111	0,01	1/77.282.045
DT4a: Havendijk (nieuw)	1/277	0,01	1/210.554.143
Waterpoort (bestaand)	1/6	0,01	1/5.166.921
DT4c1 Demontabele kering (nieuw)	1/659	1,00	1/153.331.655
Waalstraat (bestaand)	1/6	0,01	1/5.374.700
DT4c2 en 4c3 Demontabele kering (nieuw)	1/659	1,00	1/153.331.655
Bellevue (bestaand)	1/5	0,01	1/4.006.465

* Product van aantal sluitvragen en faalkans per sluitvraag

** De faalkanseis gedeeld door de faalkans



Aanbevelingen

Om te voldoen aan de faalkanseis voor betrouwbaarheid sluiting dienen de volgende aspecten te worden opgenomen in de sluitingsprotocollen en het hoogwaterdraaiboek.

- Jaarlijks oefenen van de mobilisatie en sluiting coupures. Hierbij hoeven niet jaarlijks alle coupures gesloten worden. Er kan volstaan worden met het sluiten van één van de kunstwerken die een vergelijkbaar sluitproces hebben. Als voorbeeld zou jaarlijks: één van de bestaande coupures, één van de nieuwe coupures en één sectie van de demontabele kering gesloten moeten worden en dient jaarlijks de sluiting met de big bags geoefend te worden. Er dient wel jaarlijks een ander kunstwerk (met een vergelijkbaar sluitproces) gesloten te worden. Daarnaast is het een vereiste dat ieder kunstwerk in ieder geval één keer per vijf jaar gesloten wordt.
- Tweemaal per jaar de coupures en keermiddelen inspecteren en waar nodig maatregelen nemen.
- De keermiddelen en reserve elementen op twee verschillende plaatsen opslaan.

Voor de bestaande coupures is vanaf het zichtjaar 2023 een herstelmogelijkheid nodig om te voldoen aan de faalkanseis voor het faalmechanisme betrouwbaarheid sluiting: Om deze herstelmaatregel voor de bestaande coupures in rekening te brengen dient het Waterschap Rivierenland de volgende aspecten verder uit te werken:

- De procedure voor het sluiten met big bags tot 3 rijen hoog dient bekend te zijn, bijvoorbeeld door de procedure uit te werken in een werkinstructie.
- De procedure dient periodiek geoefend te worden.
- Het materiaal en materieel voor de sluiting dient voorradig te zijn. In eerst instantie alleen voor de coupures Waterpoort, Waalstraat en Bellevue. Voor de nieuwe coupures dient vanaf het zichtjaar 2100 ook een herstelmaatregel beschikbaar te zijn.
- Onderzoeken of de big bags ook onder storm (hoge windsnelheden) geplaatst kunnen worden.
- Onderzoeken of de big bags ook voor de demontabele kering in deeltraject 4C als herstelmaatregel van toepassing kan zijn

In het bepalen van de sluitvraag zijn daarnaast de volgende aannames gedaan. Deze zijn gebaseerd op de invulling van de scoretabellen in de beoordelingsrapportages. Deze aannames dienen geverifieerd te worden:

- Beschikbaarheid van mobilisatieregeling, stand-by regeling en terugmeldingssysteem
- Beschikbaarheid van OTO-Plan
- 2 of meerdere aannemers beschikbaar voor sluiting coupures. (Of een andere herstel mogelijkheid in de mobilisatie en bedieningsprocedure)
- Beschikbaarheid onderhoudsplan voor de keermiddelen
- Vastleggen resultaten van proefsluitingen in logboek

Referenties

- [1] Werkwijzer ontwerpen van waterkerende kunstwerken, RWS, 2018
- [2] Handreiking ontwerpen met overstromingskansen (OI2014v4), RWS, status Definitief, februari 2017
- [3] Schematiseringshandleiding betrouwbaarheid sluiting kunstwerk, Rijkswaterstaat, status Definitief, 28 november 2019

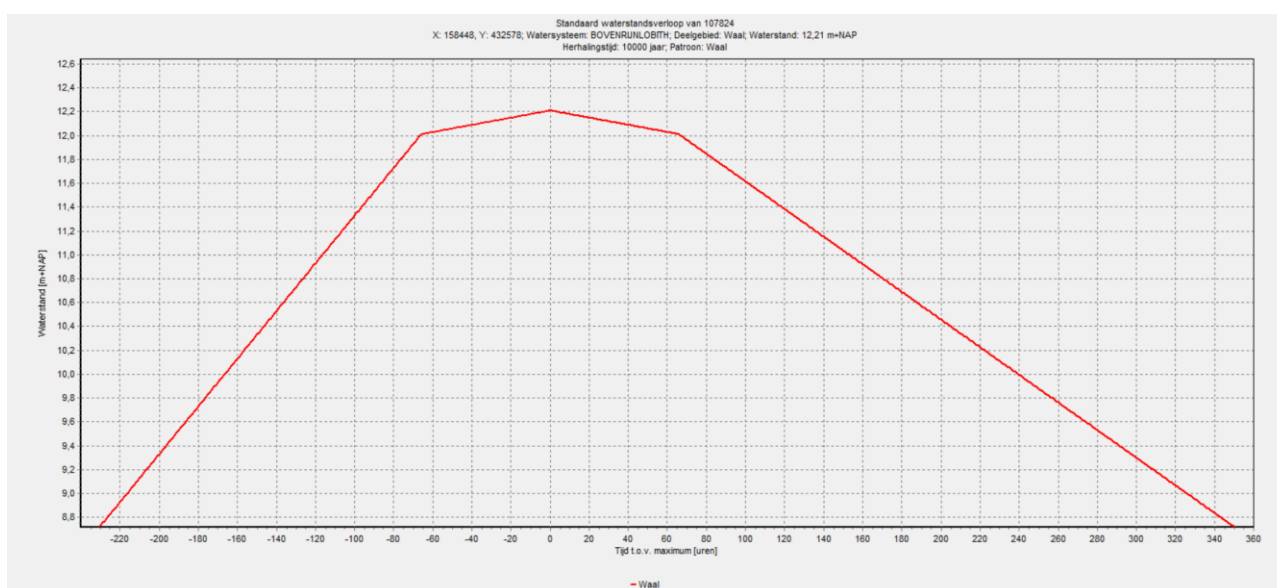


- [4] Sluiting Coupure Waalstraat (034852); d.d. 14-07-2017, Waterschap Rivierenland
- [5] Sluiting Coupure Waterpoort (034853); d.d. 14-07-2017, Waterschap Rivierenland
- [6] Veiligheidsanalyse stad Tiel, Beoordelingsrapportage KW11, Coupure Waterpoort, 17-04-19, versie 2.0, Movares
- [7] Veiligheidsanalyse stad Tiel, Beoordelingsrapportage KW17, Coupure Waalstraat, 12-03-19, versie 2.0, Movares
- [8] Veiligheidsanalyse stad Tiel, Beoordelingsrapportage KW20, Coupure Bellevue, 04-02-19, versie 2.0, Movares
- [9] Betrouwbaarheidsanalyse coupure Berkelkade, status: Definitief, 1 november 2017, Rijkswaterstaat
- [10] Betrouwbaarheidsanalyse coupure Den Oever, status: Definitief, 1 november 2017, Rijkswaterstaat
- [11] Hydraulische randvoorwaarden Stadshart Tiel (HKV), 01-12-2018

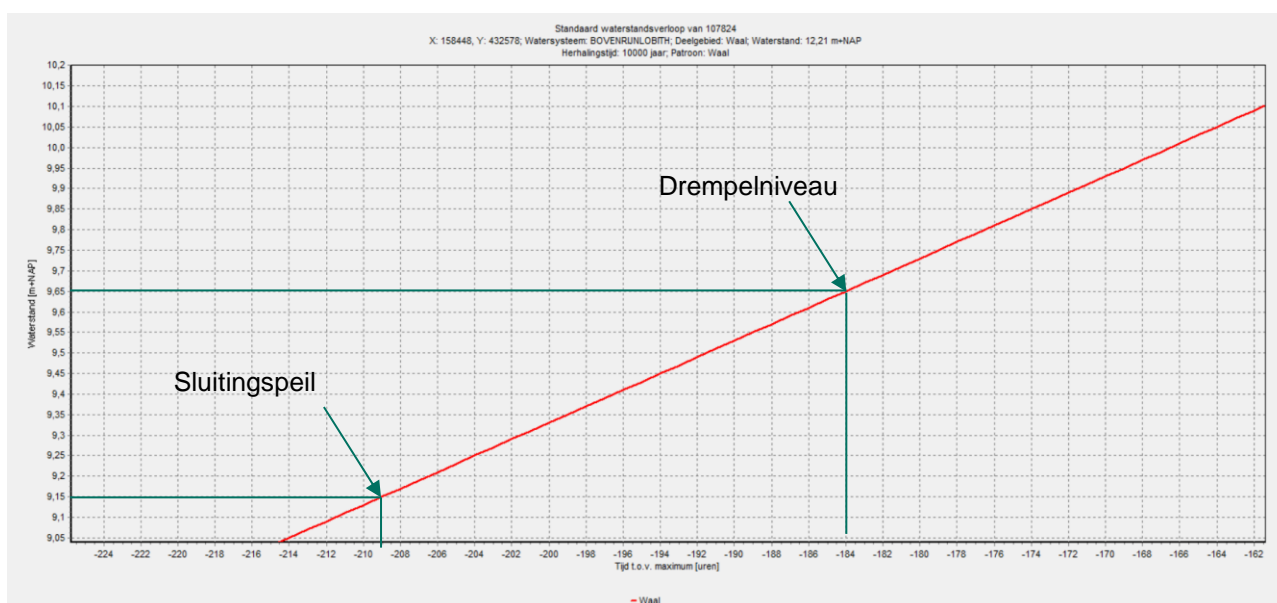


A. Waterstandsverlooptool

In Figuur 1 is een screenshot van het waterstandsverloop t.p.v. Tiel weergegeven. Het verloop is bepaald o.b.v. de overschrijdingsfrequentie van 1/10.000 per jaar en een waterstand van NAP+12,21 m. In Figuur 4 is een vergrote versie van het waterstandsverloop tussen NAP+9,00 en NAP+10,0 m weergegeven. Uit Figuur 4 volgt dat het sluitingspeil (NAP+9,15 m) overschreden wordt op uur -209. Het drempelniveau (NAP+9,65 m) wordt overschreden op uur -184. Er is dus 25 uur beschikbaar tussen het sluitingspeil en het overschrijden van het drempelniveau.



Figuur 3: Screenshot Waterstandsverlooptool voor waterstand bij zichtjaar 2125



Figuur 4: Vergroting van waterstandsverloop tussen NAP+9,00 m en NAP+10,0 m



B. Invulling scoretabel coupures nieuwe situatie

Scoretabellen BSKW

Alarmering					
Onderdeel	Vraag	Antwoord	Score	Toelichting	
	a	Wordt het contact met Rijkswaterstaat tenminste jaarlijks geverifieerd?	Ja	4	Uit de beoordelingsrapportage volgt dat er een jaarlijkse controle is van het contact met Rijkswaterstaat over de (hoog)waterstanden.
	b	Is er een tweede methode voor hoogwateralarmering?	Ja	2	Ja, in het sluitprotocol is als tweede methode een visuele waarneming vermeld.
	c	Is er een mogelijkheid dat de bevolking tijdig waarschuwt?	Ja	1	Alle coupures liggen in bebouwd gebied, dus het is aannemelijk dat bewoners tijdig waarschuwen.
E1	Kunstwerk niet sluiten door falen Alarmering		a+b+c	7	
Mobilisatie					
Onderdeel	Vraag	Antwoord	Score	Toelichting	
	a1	Is er een schriftelijk vastgelegde up-to-date mobilisatieregeling inclusief stand-by regeling en terugmeldingssysteem?	Ja		Ja, het uitgangspunt is dat er een mobilisatieregeling aanwezig is. Voor de nieuwe coupures en demontabele kering dient deze nog opgesteld te worden. Het uitgangspunt is dat dit gereed is voordat de coupures gerealiseerd zijn. (bron: beoordelingsrapportage, nader te verifiëren in PU-fase)
	a2	Wordt de mobilisatie jaarlijks geoefend?	Ja		Uitgangspunt is in de toekomstige situatie in ieder geval jaarlijks één van de coupures met een vergelijkbaar sluitproces te sluiten. Bijvoorbeeld jaarlijks sluiten van één bestaande coupure, één nieuwe coupure en een sectie van de demontabele kering. Hierbij wordt de mobilisatie en bediening van de kunstwerken geoefend.
	a3	Worden de ervaringen van de oefening en mobilisaties teruggekoppeld en verbeteringen doorgevoerd in de mobilisatieregeling?	Ja		Het waterschap heeft (OTO-plan) logboek waarin ervaringen opgenomen worden. De resultaten van de mobilisatieoefening worden geëvalueerd en waar nodig wordt de mobilisatieregeling aangepast. (bron: beoordelingsrapportage, nader te verifiëren in PU-fase)
	a4	Tussenscore: Zijn de vragen a1 - a3 allemaal met ja beantwoord?	Ja	4	
	b	Zijn er mogelijkheden tot herstel en zijn die opgenomen in de mobilisatieregeling? NB1: als vraag a1, a2 of a3 met 'nee' is beantwoord dan is ook geen herstel mogelijk. NB2: voor een kunstwerk in het kust- of merengebied alleen van toepassing als er een permanent keermiddel aanwezig is.	Ja	1	Er zijn in ieder geval twee waakvlamcontracten afgesloten. Hierdoor kan er een tweede ploeg gemobiliseerd worden. (bron: beoordelingsrapportage, nader te verifiëren in PU-fase)
	c	Indien coupure zonder permanent keermiddel: zijn de kerende elementen op dezelfde plaats opgeslagen als de reserve elementen?	Nee	0	Uitgangspunt is in de toekomstige situatie de keermiddelen en reserve elementen op twee verschillende plaatsen worden opgeslagen.
E2	Kunstwerk niet sluiten door falen Mobilisatie		a4+b+c	5	

Bediening					
Onderdeel	Vraag	Antwoord	Score	Toelichting	
	a1	Is een sluitprocedure aanwezig? Wordt de sluitprocedure minstens eenmaal per jaar geoefend?	Ja		Ja, zie antwoord vraag Mobilisatie 1.
	a2	Worden de ervaringen van de oefening en bediening teruggekoppeld en verbeteringen doorgevoerd in de sluitprocedure?	Ja		Uitgangspunt is in de toekomstige situatie in ieder geval jaarlijks één van de coupures met een vergelijkbaar sluitproces te sluiten. Bijvoorbeeld jaarlijks sluiten van één bestaande coupure, één nieuwe coupure en een sectie van de demontabele kering. Hierbij wordt de mobilisatie en bediening van de kunstwerken geoefend.
	a3	Tussenscore: Zijn de vragen a1 - a3 allemaal met ja beantwoord?	Ja	3	Ja, deze worden vastgelegd in een logboek en geëvalueerd. Waar nodig worden aanpassingen aan de sluitprocedure gedaan.
	b	Zijn er mogelijkheden tot herstel en zijn die opgenomen in de sluitprocedure? NB1: als vraag a1, a2 of a3 met 'nee' is beantwoord dan is ook geen herstel mogelijk. NB2: voor een kunstwerk in het kust- of merengebied alleen van toepassing als er een permanent keermiddel aanwezig is.	Ja	2	Ja, er is een tweede ploeg beschikbaar voor het sluiten van het kunstwerk ((bron: beoordelingsrapportage, nader te verifiëren in PU-fase) en de sluiting wordt gecontroleerd door de dijkbeheerder (opgenomen in sluitingsprotocol). Het is hiermee reël dat eventuele bedieningsfouten (bv het onjuist plaatsen van staanders of schotbalken) opgemerkt worden en hersteld kunnen worden.
	E3	Kunstwerk niet sluiten door falen Bediening	a4+b	5	
Technisch falen					
Onderdeel	Vraag	Antwoord	Score	Toelichting	
	a1	Is er een onderhoudsplan voor het keermiddel en wordt dat nageleefd?	Ja	0.5	Er is een onderhoudsplan voor alle kunstwerken en dit wordt nageleefd. Tevens worden ieder jaar de schotbalken op de gemeentewerf geïnspecteerd en zonodig vervangen. ((bron: beoordelingsrapportage, nader te verifiëren in PU-fase))
A	a2	Wordt het primaire en indien van toepassing het secundaire keermiddel minstens tweemaal per jaar gecontroleerd en de sluiting minstens eenmaal per jaar getest, inclusief alle behorende 'aandrijfmechanismen'.	Ja	1.5	Uitgangspunt is in toekomstige situatie dat tweemaal per jaar kunstwerken en keermiddelen inspecteren.
A	a3	Worden de ervaringen van de controles, test en daadwerkelijke sluitingen teruggekoppeld en verbeteringen doorgevoerd in de mobilisatiemaatregeling en bedieningsprotocol of zodanig aan het sluitmiddel zelf?	Ja	0.5	Ja, resultaten van de proefsluitingen worden opgenomen in een logboek. Zonodig wordt de procedure aangepast. (bron: beoordelingsrapportage, nader te verifiëren in PU-fase)
Aandrijving	c	Is het afsluitmiddel op handkracht te sluiten?	Ja	0.5	Ja, de keermiddelen worden gesloten met schotbalken. Deze zijn met handkracht te sluiten.
Aandrijving	b1	Is er een tweede aandrijfsysteem?	Ja	1	Gemeente Tiel heeft nu tenminste 2 aannemers gecontracteerd. Uitgangspunt is dat het Waterschap Rivierenland ook twee aannemers contracteerd. Indien de sluiting door eerste aannemer mislukt, wordt de tweede aannemer ingeschakeld. ((bron: beoordelingsrapportage, nader te verifiëren in PU-fase))
Aandrijving	d	Aandrijving faalt (tussen score)	c+b1	1.5	
Aandrijving	e	Is er een risico van merkbaar falen van het keermiddel van betekenis?	Nee	1.5	Nee, aanvaring en aanrijden niet relevant. Wegen worden afgesloten en coupures liggen relatief ver van de vaarweg.
Aandrijving	f	Is er een risico van niet-merkbaar falen van het keermiddel van betekenis?	Nee	1.5	De keermiddelen bestaan uit relatief weinig onderdelen en zijn op handkracht te sluiten. De faalkans is om deze reden relatief gering.
Aandrijving	g	Is er een risico van betekenis op belemmering waardoor de sluiting faalt?	Nee	1	In de sluitprocedure is onder stap 1 (Gereed maken: controle en voorbereiding sluiting) opgenomen dat de coupure wordt gecontroleerd ter voorbereiding op de sluiting. Bij deze actie worden mogelijke belemmering opgemerkt
Aandrijving	b2	Is er een sluitprotocol geanticipeerd op dit risico van belemmering?	Ja	0.5	Zie bovenstaand
Aandrijving	h	Falen tijdens sluiten: belemmering (tussenscore)	g+b2	1.5	
Aandrijving	i	Keermiddel 1 faalt (tussenscore)	min(e,f,h)	1.5	
Sluiting 1e keermiddel	j	Sluiting keermiddel 1 faalt (tussenscore)	min(d,i)	1.5	
Sluiting 2e keermiddel	b3	Is er een tweede onafhankelijk keermiddel, dat operationeel is indien het eerst keermiddel niet gesloten kon worden? Indien ja: beantwoord de vragen k en l voor het tweede keermiddel.	Nee	0	Een deel van de kunstwerken heeft slechts een rij schotbalken om af te sluiten. Hier is geen herstelkans. Voor de coupures met twee rijen schotbalken is het zeer aanmerkelijk dat indien de eerste rij niet lukt, de tweede ook niet geplaatst kan worden.
Keermiddel	k	Is er een risico van falen van het keermiddel van betekenis?	Nee	0,25	N.v.t.
Aandrijving	l	Is dit tweede afsluitmiddel op handkracht te sluiten?	Nee	0	N.v.t.
Sluiting 2e keermiddel	m	Keermiddel 2 faalt (tussenscore)	min(b3+k,b3+l)	0	
	E4	Kunstwerk niet sluiten door technisch falen en falen herstelactie.	a1+a2+a3+j+m	4	

Resultaten

Element	Symbool	Faalkans	
Faalkans falen alarmering	Pns.alarmering	0.0000001	1/ 1E+07
Faalkans falen mobilisatie	Pns.mobilisatie	0.00001	1/ 100000
Faalkans falen bediening	Pns.bediening	0.00001	1/ 100000
Faalkans technisch falen	Pns.technisch falen	0.0001	1/ 10000
Totale faalkans niet sluiten	Pns	0.000120098	1/ 8327

E. SCIA-berekening sponning



1. Project

Licentiernaam	Iv-Groep
Project	Dijkversterking Stad Tiel
Onderdeel	Coupue Waalstraat
Omschrijving	Natuursteen sponning
Auteur	WME
Datum	01. 04. 2021
Constructie	Algemeen XYZ
Aantal knopen :	5
Aantal staven :	0
Aantal platen :	1
Aantal vaste lichamen :	0
Aantal gebruikte doorsneden :	0
Aantal belastingsgevallen :	1
Aantal gebruikte materialen :	1
Gravatieversnelling [m/s ²]	10,000
Nationale norm	EC - EN

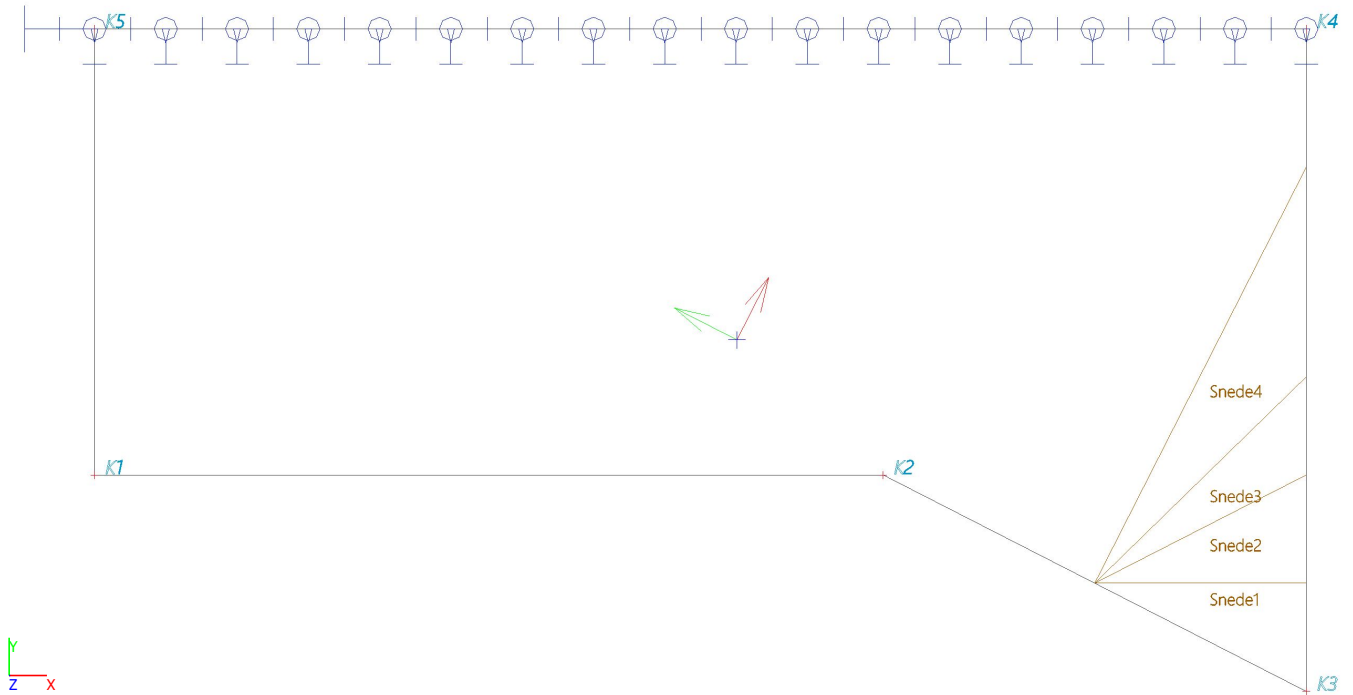
2. Inhoudsopgave

1. Project	1
2. Inhoudsopgave	1
3. Invoer	2
3.1. Rekenmodel	2
3.2. Rekenmodel	2
3.3. Knopen	3
3.4. 2D-elementen	3
3.5. Knoopondersteuning	3
3.6. Ondersteuning op 2D elementranden	3
3.7. Materialen	3
3.8. Belastingsgevallen	3
3.8.1. Belastingsgevallen - BG1	3
3.8.1.1. Lijnlast op 2D elementrand	4
3.9. Berekeningsverslag	4
4. Uitvoer per belastinggeval	5
4.1. Uitvoer per belastinggeval - BG1	5
4.1.1. Interne 2D-krachten; n_1	5
4.1.2. Interne 2D-krachten; n_2	6
4.1.3. Interne 2D-krachten; F_x; F_y	6
4.1.4. Interne 2D-krachten; F_x; F_y	7
4.1.5. Interne 2D-krachten; F_x; F_y	7
4.1.6. Interne 2D-krachten; F_x; F_y	8
4.1.7. Interne 2D-krachten	8

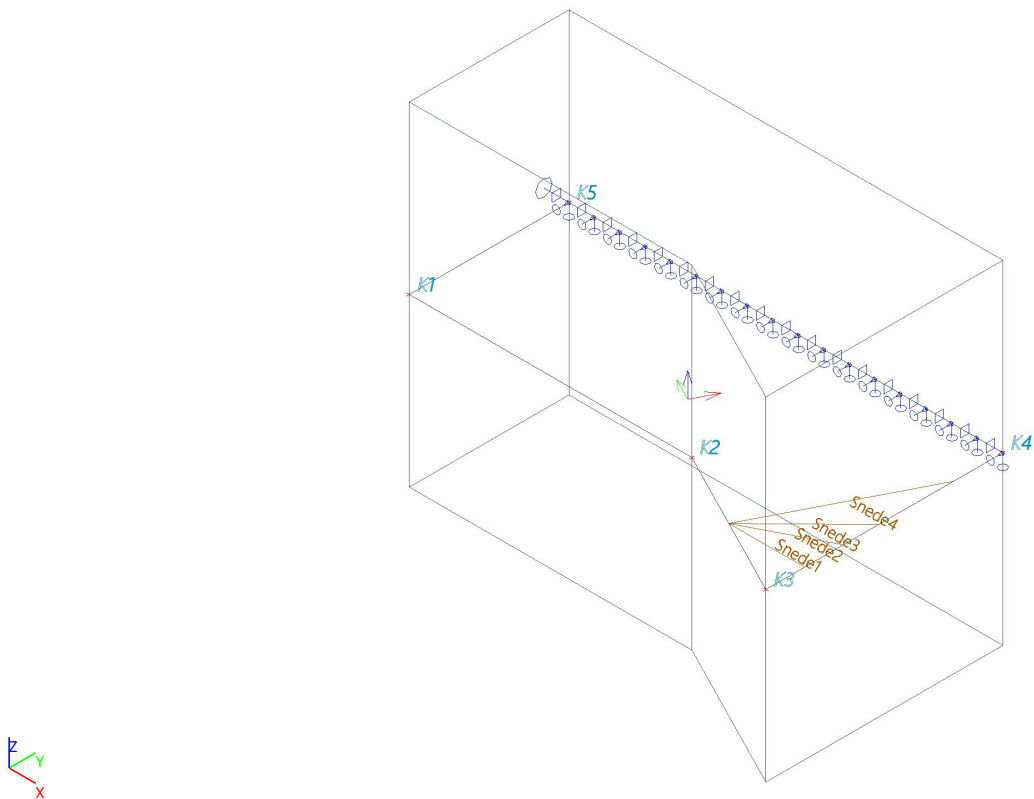


3. Invoer

3.1. Rekenmodel



3.2. Rekenmodel





3.3. Knopen

Naam	Coördinaat X [m]	Coördinaat Y [m]	Coördinaat Z [m]
K1	0,000	0,116	0,000
K2	0,423	0,116	0,000
K3	0,650	0,000	0,000

Naam	Coördinaat X [m]	Coördinaat Y [m]	Coördinaat Z [m]
K4	0,650	0,355	0,000
K5	0,000	0,355	0,000

3.4. 2D-elementen

Naam	Laag	Type	Element type	Materiaal	Dikte type	D. [mm]
E1	Laag1	vloer (90)	Standaard	C30/37	constant	500

3.5. Knoopondersteuningen

Naam	Knoop	Systeem	Type	X	Y	Z	Rx	Ry	Rz
Sn1	K5	GCS	Standaard	Vast	Vrij	Vrij	Vrij	Vrij	Vrij

3.6. Ondersteuningen op 2D elementranden

Naam	2D-element Rand	Oors Coör	Pos x ₁ Pos x ₂	X	Y	Z	Rx	Ry	Rz
Sle1	E1 4	Vanaf begin Rela	0.000 1.000	Vrij	Enkel starre druk	Vast	Vast	Vrij	Vrij

3.7. Materialen

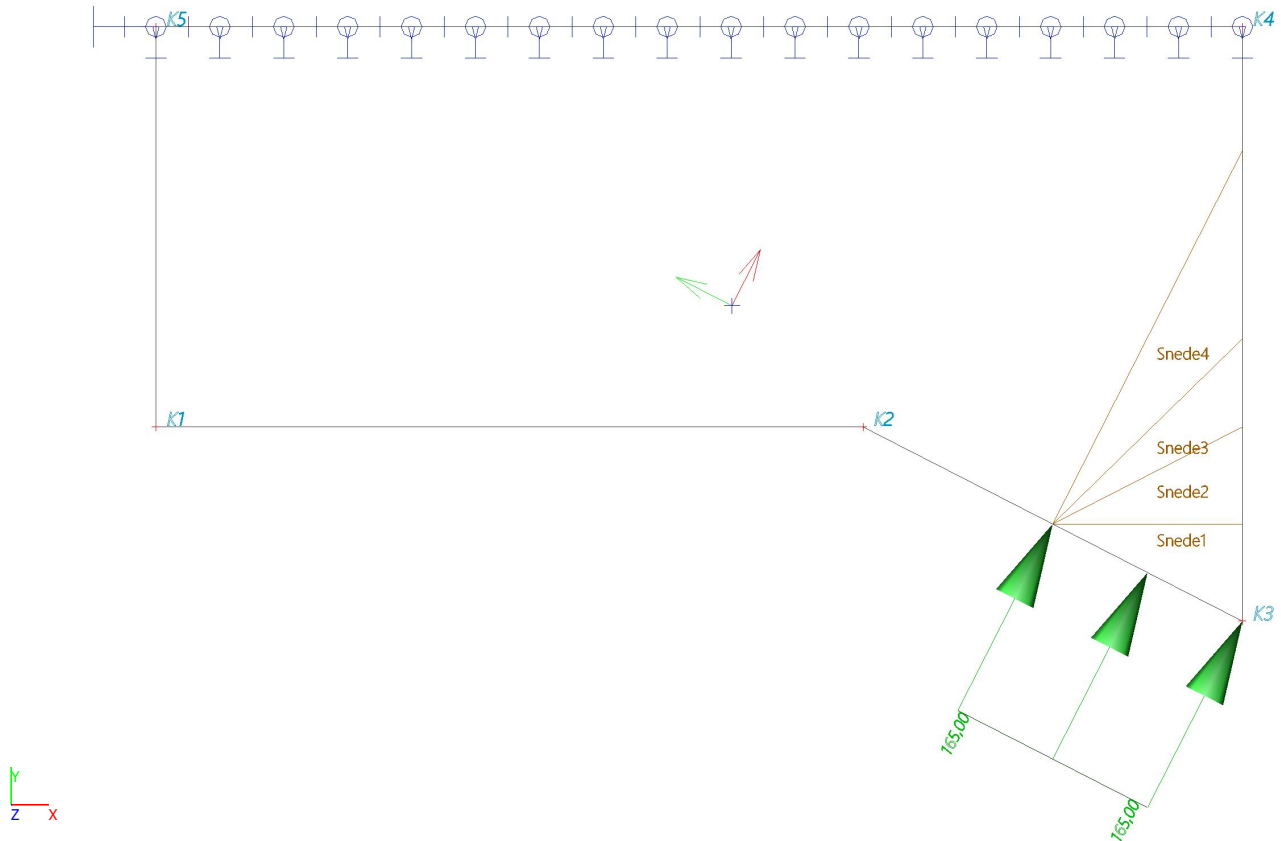
Naam	Type	ρ [kg/m ³]	Dichtheid in natte toestand [kg/m ³]	E_{mod} [MPa]	μ	α [m/mK]	$f_{c,k.28}$ [MPa]	Kleur
C30/37	Beton	2500,0	2600,0	3,2800e+04	0.2	0,00	30,00	■

Verklaring van symbolen	
Dichtheid in natte toestand	De waarde van de dichtheid van het kenmerk nieuwe toestand wordt alleen gebruikt als een samengesteld dek wordt ingevoerd en rekening wordt gehouden met de belasting van het eigengewicht.

3.8. Belastingsgevallen

3.8.1. Belastingsgevallen - BG1

Naam	Omschrijving Spec	Actie type Belastingtype	Lastgroep
BG1	Hydraulische belasting sponning	Permanent	LG1
		Standaard	



3.8.1.1. Lijnlast op 2D elementrand

Naam	2D-element	Type	Rich	Waarde - P ₁ [kN/m]	Pos x ₁	Loc	Rand
	Belastingsgeval	System	Verdeling	Waarde - P ₂ [kN/m]	Pos x ₂	Coör	Oors
LFS2	E1	Kracht	X	165,00	0.500	Lengte	2
	BG1 - Hydraulische belasting sponning	LCS	Gelijkmatig		1.000	Rela	Vanaf begin

3.9. Berekeningsverslag

Lineaire berekening

Aantal 2D elementen	2340
Aantal 1D-elementen	0
Aantal netknopen	2442
Aantal vergelijkingen	14652
Buigtheorie	Mindlin
Belastingsgevallen	BG1
Start van de berekening	02.04.2021 08:37
Einde berekening	02.04.2021 08:37

Som van lasten en reacties

Belastingsgeval	Waarde	X [kN]	Y [kN]	Z [kN]
BG1	Lasten	9,55	18,74	0,00
	reactie in de knopen	-9,55	0,00	0,00
	reactie op de lijnen	0,00	-18,74	0,00
	contact 1D	0,00	0,00	0,00
	contact 2D	0,00	0,00	0,00



4. Uitvoer per belastinggeval

4.1. Uitvoer per belastinggeval - BG1

Naam	Omschrijving Spec	Actie type Belastingtype	Lastgroep
BG1	Hydraulische belasting sponning	Permanent	LG1
		Standaard	

4.1.1. Interne 2D-krachten; n_1

Waardes: n₁

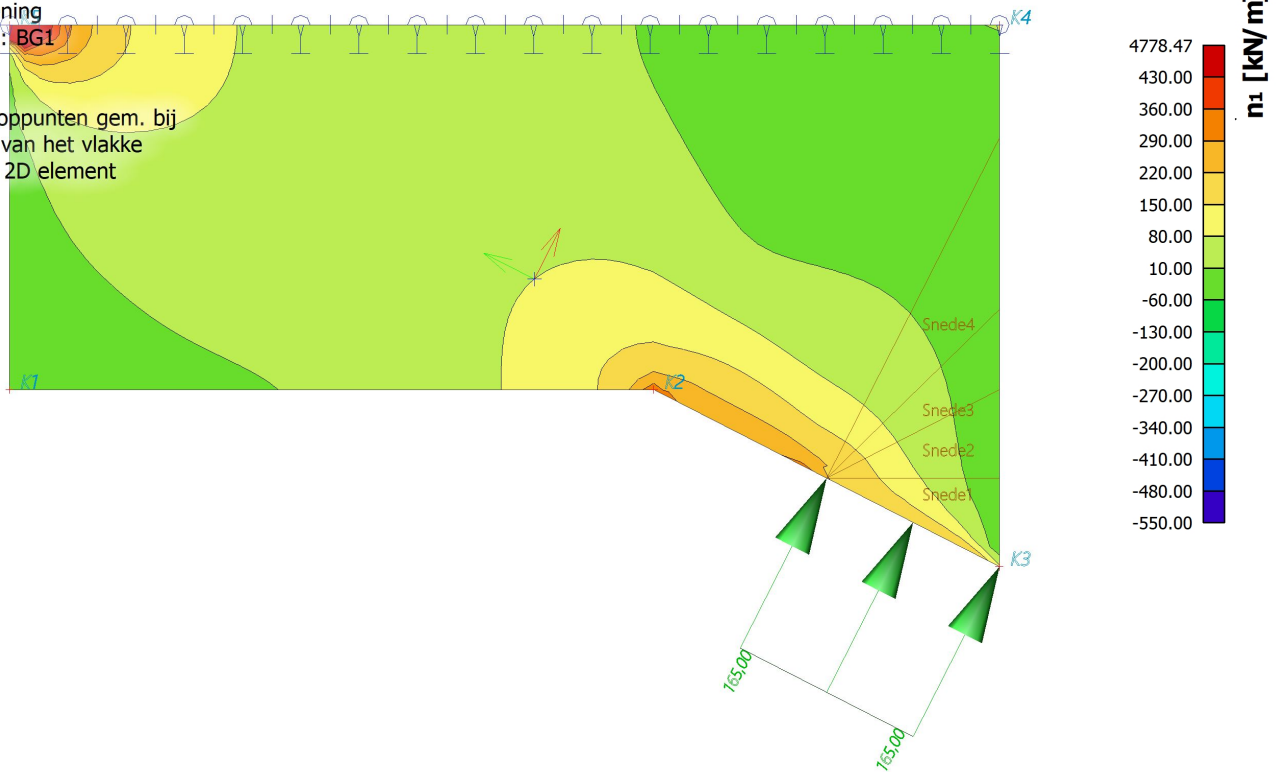
Lineaire berekening

Belastingsgeval: BG1

Extreem: Net

Selectie: Alle

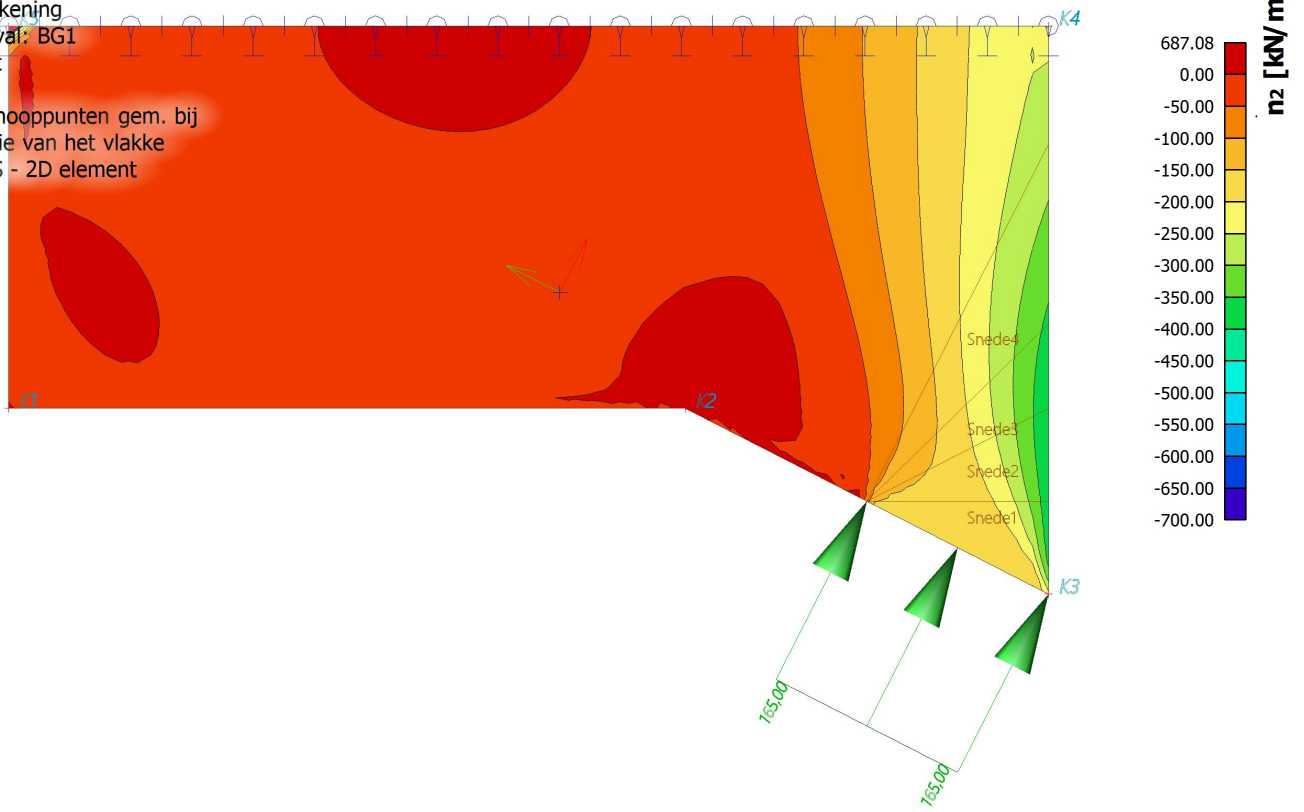
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Rotatie van het vlakke
systeem: LCS - 2D element





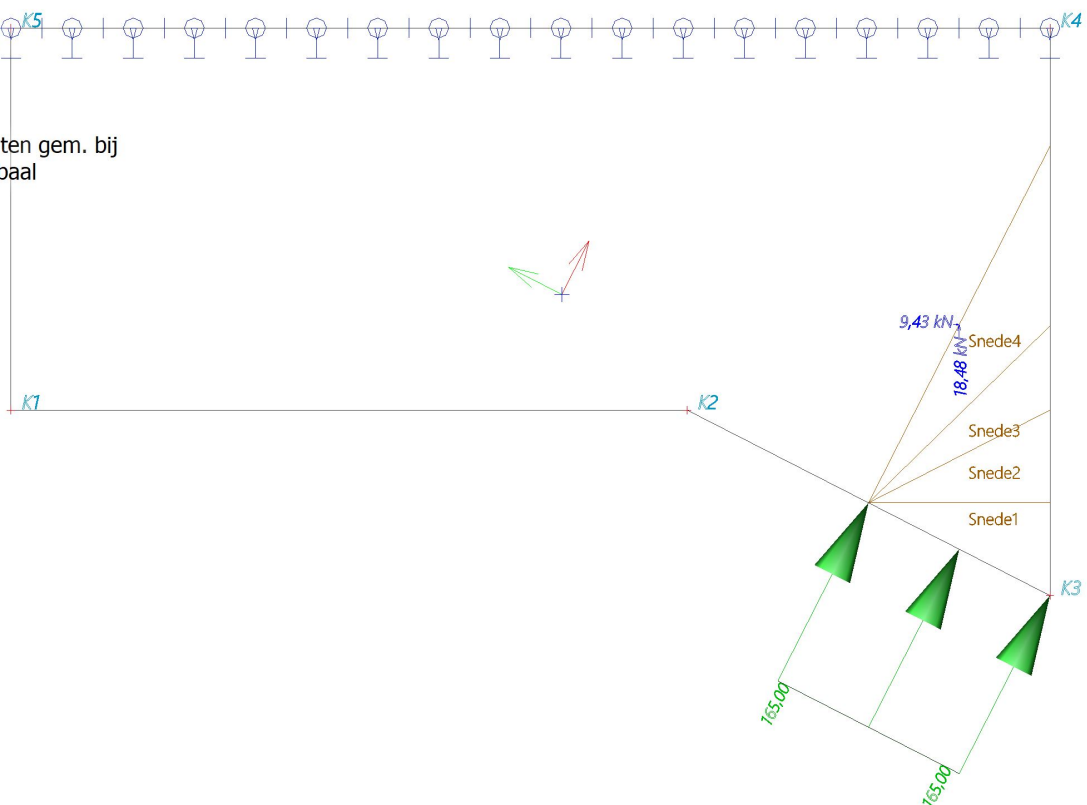
4.1.2. Interne 2D-krachten; n_2

Waardes: n_2
Lineaire berekening
Belastingsgeval: BG1
Extreem: Net
Selectie: Alle
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Rotatie van het vlakke
systeem: LCS - 2D element



4.1.3. Interne 2D-krachten; F_x ; F_y

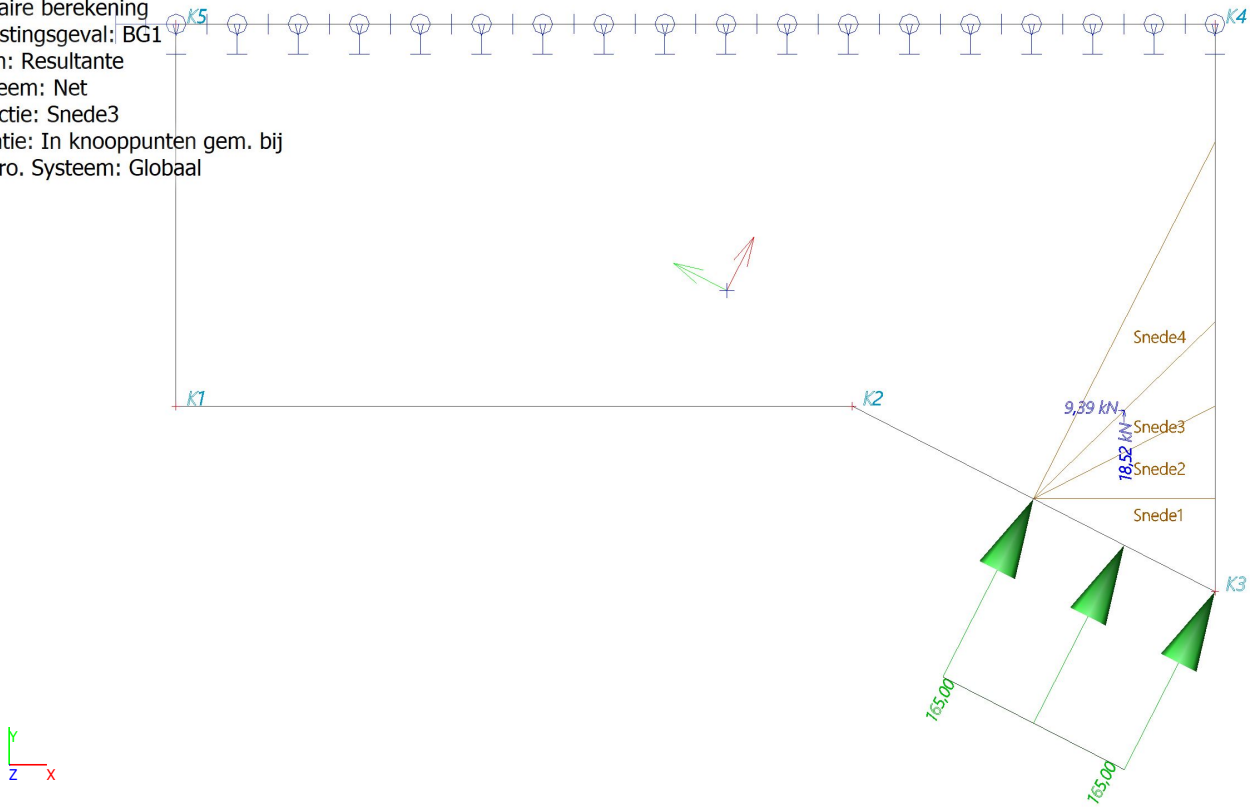
Waardes: F_x , F_y
Lineaire berekening
Belastingsgeval: BG1
Baan: Resultante
Extreem: Net
Selectie: Snede4
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: Globaal





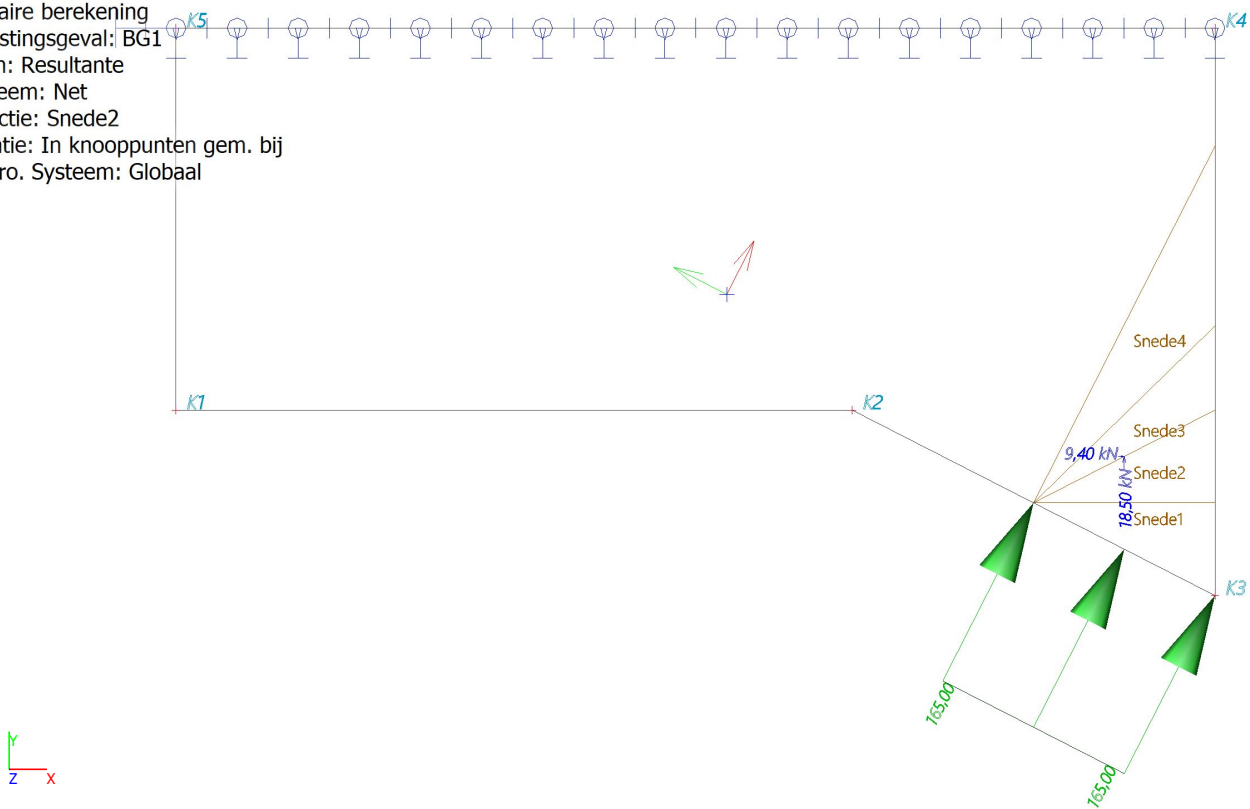
4.1.4. Interne 2D-krachten; F_x; F_y

Waardes: F_x, F_y
Lineaire berekening
Belastingsgeval: BG1
Baan: Resultante
Extreem: Net
Selectie: Snede3
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: Globaal



4.1.5. Interne 2D-krachten; F_x; F_y

Waardes: F_x, F_y
Lineaire berekening
Belastingsgeval: BG1
Baan: Resultante
Extreem: Net
Selectie: Snede2
Locatie: In knooppunten gem. bij
macro. Systeem: Globaal





4.1.6. Interne 2D-krachten; F_x; F_y

Waardes: F_x, F_y

Lineaire berekening

Belastingsgeval: BG1

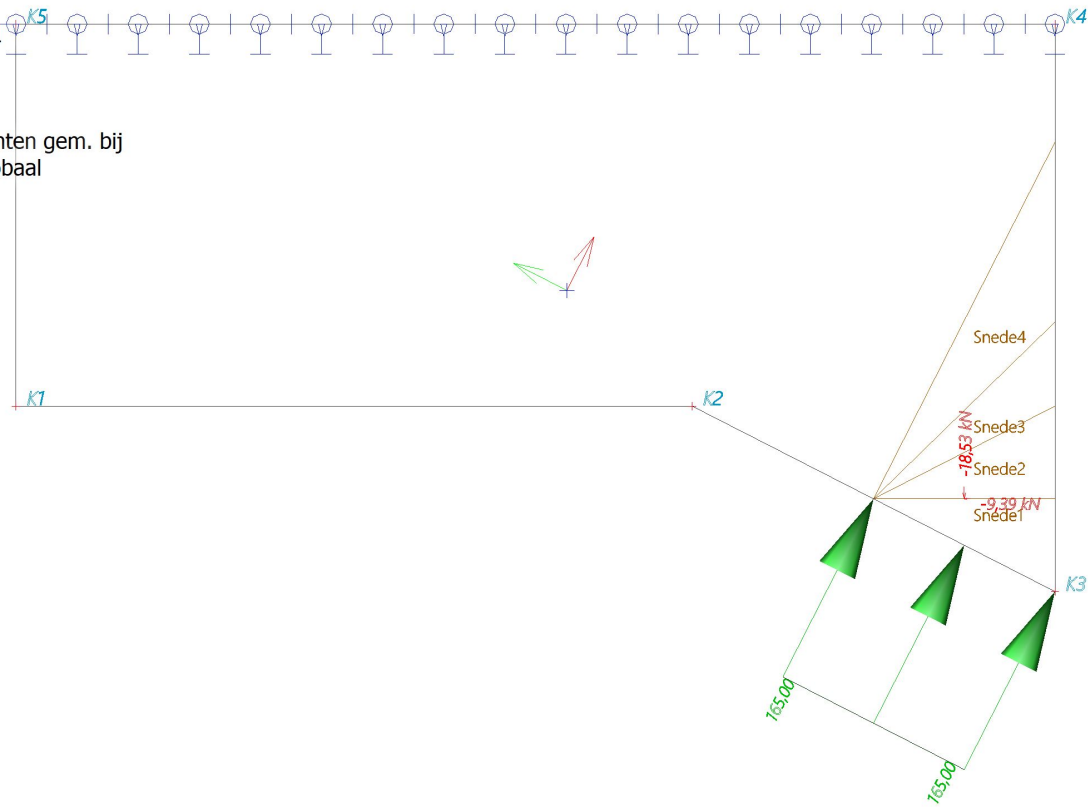
Baan: Resultante

Extreem: Net

Selectie: Snede1

Locatie: In knooppunten gem. bij

macro. Systeem: Globaal



4.1.7. Interne 2D-krachten

Lineaire berekening

Belastingsgeval: BG1

Baan: Resultante

Extreem: Net

Selectie: Alle

Locatie: In knooppunten gem. bij macro. Systeem: Globaal

Resultante - Resultaten op snedes:

Naam	x [m]	y [m]	z [m]	BG	F _x [kN]	F _y [kN]	F _z [kN]	M _x [kNm]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
Snede1 - E1	0,593	0,058	0,000	BG1	-9,39	-18,53	0,00	0,00	0,00	-0,29
Snede2 - E1	0,593	0,087	0,000	BG1	9,40	18,50	0,00	0,00	0,00	0,56
Snede3 - E1	0,593	0,113	0,000	BG1	9,39	18,52	0,00	0,00	0,00	0,81
Snede4 - E1	0,593	0,170	0,000	BG1	9,43	18,48	0,00	0,00	0,00	1,34



Waarderweg 40
2031 BP Haarlem
Nederland

Pettelaarpark 10-15
5216 PD 's-Hertogenbosch
Nederland

Nevelgaarde 10
3436 ZZ Nieuwegein
Nederland

iv-Infra b.v.
Trapezium 322
3364 DL Sliedrecht
Nederland

Telefoon +31 88 943 3200

Trompstraat 36a
9190 Stekene
België

Westervoortsedijk 73
Gebouw CB
6827 AV Arnhem
Nederland

Postbus 135
3360 AC Sliedrecht
www.iv-infra.nl