

Hoogwaterbeschermingsprogramma Noordelijke Maasvallei

Technisch Programma van Eisen Steyl-Maashoek

Datum: 11-12-2020

Kenmerk (SP):

Versienummer: 1.2

Status: concept

In opdracht van



**waterschap
limburg**

INHOUDSOPGAVE

1.	Inleiding.....	4
1.1	Aanleiding	4
1.2	Overzicht huidige situatie	4
1.3	Opgave	6
1.4	Doel technisch Programma van Eisen.....	7
1.5	Leeswijzer.....	7
1.6	Te hanteren leidraden en richtlijnen	7
2	Technische eisen	8
2.1	Dimensies en systeemruimte.....	8
2.2	Normering	8
2.3	Faalkansbegroting.....	8
2.4	Ontwerplevensduur	8
2.5	Sluitpeil	9
2.6	Belastingen.....	9
2.6.1	Hydraulische belasting	9
2.6.2	Hydraulische belasting door scheepvaartgolven	10
2.6.3	Overige belastingen	10
2.7	Geohydrologische effecten	11
2.8	Veiligheid.....	11
2.9	Faalmechanismen	11
2.9.1	Hoogte kunstwerk (HTKW)	11
2.9.2	Piping bij kunstwerk (PKW).....	12
2.9.3	Constructieve sterkte en stabiliteit.....	12
2.9.4	Betrouwbaarheid sluiten kunstwerk (BSKW).....	13
2.9.5	Macrostabiliteit buitenwaarts (STBU).....	15
2.9.6	Aansluitconstructies.....	16
3	Eisen kabels en leidingen	17
4	Eisen uitvoering.....	18
5	Eisen beheer en onderhoud.....	19
6	Geotechnische- en geohydrologische parameters	20
7	Referenties.....	21



Bijlage 1: Inmetingen	22
Bijlage 2: Nota van uitgangspunten 2.0	23
Bijlage 3: Analyse resultaten meetnet en effecten schermen	24
Bijlage 4: Kelderinventarisatie	25
Bijlage 5: Faalkansen database RWS	26
Bijlage 6: Eisen kabels en leidingen	27
Bijlage 7: Protocol werken aan de waterkering WL	28
Bijlage 8: Geotechnisch onderzoek	29
bijlage 9: Interpretatierapport geotechnisch onderzoek	30
bijlage 10: Systeemruimtekaart	31



1. Inleiding

1.1 Aanleiding

Waterschap Limburg (hierna WL) beschikt over het grootste areaal aan demontabele waterkeringen in Nederland. Langs het zuidelijke eind van traject 68-1, ter plaatse van Steyl-Maashoek, is de aanwezige demontabele waterkering afgekeurd op o.a. betrouwbaarheid sluiting. Om het bestaande systeem toekomstbestendig te maken is versterking noodzakelijk.

Eind 2018 is er een variantenstudie uitgevoerd, waarin meerdere varianten zijn vergeleken ter vervanging van de demontabele waterkering. Als voorkeursalternatief is gekozen voor een zelfsluitende waterkering in combinatie met een drempel- en maaiveldverhoging van 0,7 m.

1.2 Overzicht huidige situatie

Het projectgebied Steyl-Maashoek maakt deel uit van traject 68-1. Dit 10,04 km lange normtraject loopt van Steyl in het zuiden tot de A67 in het noorden. Traject 68-1 is weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1: Normtraject 68-1, met Steyl-Maashoek rood omcirkeld



Het zuidelijk uiteinde van traject 68-1 ligt bij Steyl, is gesitueerd rondom de straten Maashoek en Jochumhof en ligt tussen de (huidige) dijkpalen 68.032 en 68.034 + circa 40m. De huidige situatie is te zien in Figuur 2 en de leggerzonering in Figuur 3. De huidige waterkering bestaat uit een demontabele kering, een permanente keermuur en een aansluiting op hoge grond. Voor de kering ligt een buitentalud met een grasbekleding en een steenbekleding. Deze zijn ook onderdeel van de kernzone, zoals te zien in Figuur 3. Er zijn in 2019 hoogteprofielen (dwarsprofielen) ingemeten. In bijlage 1 is een overzicht met alle beschikbare inmetingen bijgevoegd.



Figuur 2: Huidige constructies Steyl-Maashoek



Figuur 3: Leggerzonering WL



1.3 Opgave

Vanwege het historische dorpsgezicht van Steyl-Maashoek is er een maximale drempelhoogte voorgeschreven voor het tracé waar momenteel de demontabele kering ligt. Deze maximale drempelhoogte van 18,9 m+NAP is ruim 2,0m onder de benodigde kerende hoogte. Het verschil wordt overbrugd met een beweegbare waterkering. Tijdens reguliere omstandigheden blijft de waterkering onder het drempelniveau. Tijdens hoogwater reikt de waterkering tot de benodigde kerende hoogte.

Vanwege het grote aantal coupures en andere beweegbare waterkeringen in het normtraject is de beschikbare faalkansruimte voor het faalmechanisme 'betrouwbaarheid sluiten' beperkt. Er is daarom in het voortraject bepaald dat een zelfsluitende waterkering benodigd is om aan de faalkanseis te voldoen. Het uitgangspunt is hierbij dat voor de sluiting geen menselijk handelen benodigd is. Dit betekent ook dat de gehele kering op locatie aanwezig is.

Er is een ontwerp voor het plein achter de waterkering gemaakt. In Figuur 4 is een principe-impressie van het plein weergegeven. Het definitieve ontwerp is te vinden in het esthetisch programma van eisen [ref. 1] (exclusief de nieuwe waterkering). De zelfsluitende waterkering vervangt de demontabele kering en de coupure en komt tussen punten A en B te liggen. Tussen punten B en C komt een permanente keermuur die de waterkering aansluit op de hoge grond. De nieuwe waterkering bestaat zodoende uit 3 onderdelen:

1. een beweegbaar keermiddel;
2. een draagconstructie voor het beweegbaar deel (inclusief alle benodigde grond delen aan de binnen- en buitenzijde van de waterkering, zoals bijvoorbeeld buitentalud en/of voorland);
3. een keermuur.

De ontwerp-opgave beslaat deze drie onderdelen.



Figuur 4: Principe-impressie ontwerp plein Maashoek met punten A, B en C

Er is daarnaast een voorziening tegen onder- en achterloopsheid van het kunstwerk nodig, waarbij er rekening dient te worden gehouden met de effecten op de grondwaterstroming tijdens reguliere omstandigheden. Dit is nader uitgewerkt in paragraaf 2.7.



1.4 Doel technisch Programma van Eisen

Het doel van dit Technisch Programma van Eisen (TPvE) is het beschrijven en onderbouwen van de technische eisen ten behoeve van het opstellen van het ontwerp van de zelfsluitende waterkering te Steyl-Maashoek.

1.5 Leeswijzer

De notitie begint met een overzicht van de technische eisen in hoofdstuk 2. In hoofdstuk 3 zijn de eisen met betrekking tot de kabels en leidingen te vinden. In hoofdstuk 4 zijn de eisen met betrekking tot de uitvoering opgenomen. In hoofdstuk 5 zijn de eisen met betrekking tot beheer en onderhoud opgenomen. In hoofdstuk 6 zijn de relevant aspecten met betrekking tot de geotechnische en geohydrologische parameters opgenomen.

1.6 Te hanteren leidraden en richtlijnen

Primaire Waterkeringen dienen te voldoen aan de Waterwet. Dit betekent dat een dijktraject, bestaande uit een aaneenschakeling van dijken, kunstwerken, verholten keringen, etc. zodanig moet zijn ontworpen dat de kans op een overstroming met substantiële schade of slachtoffers kleiner is dan de maximaal toelaatbare overstromingskans.

Ter ondersteuning van het ontwerp van waterkeringen op basis van overstromingskansnormen zijn instrumenten, zoals het OI2014v4 en de WOWK ontwikkeld. In dit TPvE wordt regelmatig verwezen naar (onderdelen van) deze ontwerpinstrumenten. Er wordt voor specifieke onderdelen verwezen naar het WBI2017, CUR 166 'Damwandconstructies' en NEN 3651 'Eisen voor buisleidingen in of nabij belangrijke waterstaatswerken'.

Er is een programmabrede Nota van Uitgangspunten opgesteld voor alle trajecten van het versterkingsprogramma HWBP Noordelijke Maasvallei. Deze is bijgevoegd in bijlage 2. Er dient voldaan te worden aan deze programmabrede uitgangspunten, tenzij daar in dit document expliciet van wordt afgeweken. Bij eventuele tegenstrijdigheden prevaleert dit document boven de Nota van Uitgangspunten volgens bijlage 2.



2 Technische eisen

In dit hoofdstuk staan de relevante technische eisen beschreven. Naast de eisen beschreven in dit hoofdstuk dient ook te worden voldaan aan de gestelde eisen in de programmabrede nota van uitgangspunten (NvU). Deze is bijgevoegd in bijlage 2.

2.1 Dimensies en systeemruimte

In bijlage 10 zijn een bovenaanzicht en dwarsprofielen bijgevoegd. Hierin is de beschikbare systeemruimte aangegeven.

2.2 Normering

De zelfsluitende waterkering is onderdeel van normtraject 68-1. In de Waterwet zijn voor dit dijktraject de volgende overstromingskansnormen opgenomen:

Signaleringsnorm: 1/1.000 per jaar
Ondergrens: 1/300 per jaar

De overstromingskans van het dijktraject dient kleiner te zijn dan 1/300 per jaar.

2.3 Faalkansbegroting

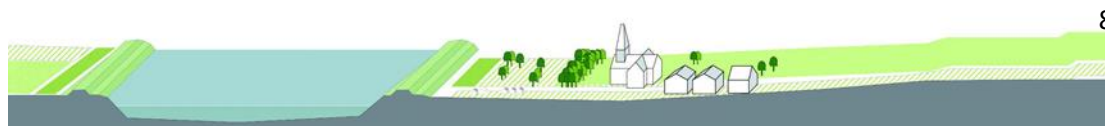
Er dient te worden uitgegaan van de standaard faalkansbegroting is, zoals weergegeven in Tabel 1. In de standaard faalkansbegroting is 4% gereserveerd voor het faalmechanisme niet-sluiten. Er dient te worden uitgegaan van een faalkanseis voor betrouwbaarheid sluiting op objectniveau van 10^{-5} per jaar voor de zelfsluitende waterkering [ref. 7].

Tabel 1: Faalkansbegroting

Type waterkering	Faalmechanisme	Faalkansruimte (standaard)
Dijk of kunstwerk	Overloop en golfoverslag	0,24
Dijk	Opbarsten en piping	0,24
	Macrostabiliteit binnentalud	0,04
	Bekleding en erosie	0,10
Kunstwerk	Niet sluiten	0,04
	Piping	0,02
	Constructief falen	0,02
Overig		0,30
Totaal		1,00

2.4 Ontwerplevensduur

De zelfsluitende waterkering dient te worden ontworpen uitgaande van zichtjaar 2125 (ontwerplevensduur 100 jaar). Er dient rekening te worden gehouden met de minimale levensduren beschreven in Tabel 2.



Tabel 2: Standaard minimale levensduur

	Levensduur
Constructieve onderdelen en keermiddelen	100 jaar
Werktuigbouwkundige onderdelen	50 jaar
Elektrotechnische onderdelen	25 jaar

De waterkering dient minimaal 100 jaar zijn waterkerende functie te kunnen vervullen. Daarnaast dient de levensduur van onderdelen die niet direct in één van de bovenstaande categorieën valt te worden beschreven, zoals bijvoorbeeld afdichtende rubbers of elementen.

Daarnaast geldt voor alle onderdelen met een levensduur kleiner dan 100 jaar dat deze vervangbaar moeten zijn zonder ingrijpende en destructieve maatregelen aan te handhaven constructieonderdelen en/of componenten van het systeem. Deze onderdelen dienen tevens te worden meegenomen in een LCC-analyse.

2.5 Sluitpeil

De zelfsluitende waterkering heeft 4 posities waarin deze zich kan bevinden:

1. ruststand (tijdens dagelijkse omstandigheden);
2. activatiestand rust naar kerend (het sluitproces);
3. kerende positie (waarin de vereiste kerende hoogte wordt behaald);
4. deactivatiestand kerend naar rust (de constructie gaat terug naar de ruststand).

Het sluitpeil (buitenwaterstand bij start activatiestand rust naar kerend) dient minimaal 1,0m onder de drempelhoogte van 18,9 m+NAP te liggen. Tijdens het sluitproces (activatiestand rust naar kerend) dient de constructie te allen tijde een kerende hoogte van minimaal 2,0m te hebben. De kerende positie dient bereikt te zijn voordat het stijgende buitenwater de drempelhoogte bereikt.

Wanneer de constructie zich in de kerende positie bevindt, dient deze waterdicht te zijn. Er is geen lekdebiet toegestaan.

2.6 Belastingen

2.6.1 Hydraulische belasting

Er dienen twee belastingsituaties te worden beschouwd:

1. Hoogwater;
2. Val na hoogwater, conform de NvU (bijlage 2) van WBN tot WBN - 2,75m.

In de ontwerpverificatie voor constructief falen dient bij de hoogwatersituatie rekening te worden gehouden met de verval- en golfbelasting, uitgaande van de werkwijze uit de WOWK [ref. 2].

De voor de ontwerpverificaties benodigde hydraulische belastingen bij hoogwater dienen te worden bepaald met Hydra-NL v. 2.7.1 uitgaande van het klimaatscenario W+ en inclusief onzekerheid.

Daarbij dient te worden uitgegaan van de methodiek uit de NvU bijgevoegd in bijlage 2; er dient een afvoerstatistiek te worden toegepast waarin de mogelijke overstromingen in Wallonië zijn



meegenomen en er dient gebruikt te worden gemaakt van het HOB-model met Netto waterstandseffecten.

2.6.2 Hydraulische belasting door scheepvaartgolven

Er wordt uitgegaan van een scheepvaartverbod bij hoogwater. Belasting door scheepvaartgolven hoeft daarom niet te worden beschouwd.

2.6.3 Overige belastingen

Er dient rekening te worden gehouden met alle belastingen zoals geformuleerd in de WoWK [ref. 2]. De belasting door ijs, stootbelasting, verkeersbelasting en vandalisme zijn in deze paragraaf voorzien van extra uitleg, maar onderstaande opsomming is dus niet-uitputtend.

Belasting door ijs

Er dient rekening te worden gehouden met belasting door ijs. Hiervoor kunnen conform WOWK [ref. 2], de rekenwaarden in CUR Rapport 166 Damwandconstructies [ref. 3] worden gebruikt. Een ijsbelasting in combinatie met een waterstand boven drempelhoogte van 18,9 m+NAP hoeft niet te worden beschouwd. De ijsbelasting is daarom niet relevant voor het beweegbare deel van de zelfsluitende waterkering.

Stootbelasting

Gelet op de ligging van de zelfsluitende kering, is een stootbelasting door drijfvuil niet uit te sluiten. Tijdens hoogwater is de scheepvaart gestremd, waardoor de kans op een aanvaring niet relevant is.

Er dient uit te worden gegaan van een stootbelasting door een boomstam van 40 cm diameter, een lengte van 8 meter en een gewicht van 750 kg. Er dient uit te worden gegaan van een stroomsnelheid van 3,0 m/s. De resulterende stootkracht is afhankelijk van het materiaal van de kering en dient door de opdrachtnemer te worden onderbouwd. Hierbij dient gebruik te worden gemaakt van de kentallen in Tabel 3.

Tabel 3: Stootkracht per materiaalsoort

	Beton	Glas	Aluminium
Stootkracht	150 kN	75 kN	45 kN

De stootbelasting vindt plaats op de stilwaterlijn en dient te worden gecombineerd met de vervalbelasting conform WOWK. De invalshoek van de belasting is afhankelijk van de hoek van de kering met de stroomrichting. Bij delen van de waterkering parallel aan de stroomrichting of flauwer dient te worden uitgegaan van een invalshoek van 15 graden. Bij delen van de waterkering die rechter op de stroomrichting staan dient uit te worden gegaan van een grotere invalshoek.

Verkeersbelasting

Er dient een situatie met- en een situatie zonder verkeersbelasting achter de waterkering te worden beschouwd. In deze berekening dient te worden uitgegaan van een verkeersbelasting van 13,3 kN/m² over een breedte van 2,5m. Er mag worden uitgegaan van een belastingspreiding van 2:1 in de ondergrond.

Vandalisme



Er dient aannemelijk te worden gemaakt dat vandalisme of sabotage niet tot het falen van de waterkering kunnen leiden, dan wel tijdig geconstateerd en hersteld kunnen worden.

2.7 Geohydrologische effecten

Het grondwater stroomt bij Steyl-Maashoek richting de Maas, omdat de Maas de omgeving draineert. Tijdens hoogwater neemt de drainerende functie van de Maas af. Hierdoor stijgt het grondwater in de omgeving.

Het ontwerp van een pipingmaatregel geeft een risico op (grond)wateroverlast in de kelders in Steyl tijdens dagelijkse omstandigheden, zie bijlage 3. Daarom is aanvullend een kelderinventarisatie uitgevoerd. Deze is bijgevoegd in bijlage 4.

Voor de huizen waar geen kelder aanwezig is of waar geen informatie aanwezig is, dient te worden uitgegaan van een kruipruimte onder het huis met een hoogte van 1,0m.

Het ontwerp mag niet leiden tot een merkbare toename van de dagelijkse grondwaterstand. Een merkbare toename is hierbij gedefinieerd als een stijging van meer dan 0,1 m ten opzichte van de huidige situatie. Wanneer in het ontwerp aannemelijk wordt gemaakt dat een grotere stijging niet tot een toename van (grond)wateroverlast op het bestaand gebruik leidt, dan is een grotere stijging toegestaan. Dit dient dan te zijn onderbouwd met een grondwaterstromingsmodel dat een passende weergave geeft van de lokale situatie. In beide gevallen moet een voorstel gegeven te worden voor een monitoringsplan inclusief de afweging of het huidige meetnet voldoende dekking biedt.

2.8 Veiligheid

De opdrachtnemer dient toe te lichten hoe de menselijke veiligheid wordt geborgd tijdens alle in paragraaf 2.5 beschreven standen van de constructie.

2.9 Faalmechanismen

In dit hoofdstuk worden de (voor constructies meest relevante) faalmechanismen beschouwd. De faalmechanismen 'Hoogte KW', 'Piping KW' en 'Sterkte en Stabiliteit KW' en 'Macrostabiliteit buitenwaarts' worden kort besproken. Het faalmechanisme 'betrouwbaarheid sluiten' wordt uitgebreider behandeld.

In een integraal ontwerp zijn alle faalmechanismen relevant. Het overzicht van de faalmechanismen in dit hoofdstuk is dan ook niet limitatief.

De invloed van de kelders en kruipruimten, zoals beschouwd in paragraaf 2.7, dient te worden meegenomen in de beschouwing van de verschillende faalmechanismen.

2.9.1 Hoogte kunstwerk (HTKW)

De hoogte van het kunstwerk dient ontworpen te worden op zichtjaar 2125. De benodigde kerende hoogte dient te worden berekend conform de uitgangspunten voor traject 68-1 Steyl-Maashoek zoals weergegeven in Tabel 4. Er mag lineair geëxtrapoleerd worden vanaf de zichtjaren 2050 en 2100 om tot zichtjaar 2125 te komen. Gelet op het beperkte kombergend vermogen achter de kering dient bij het ontwerp als uiterste grenstoestand een overslagdebiet van 5 l/s/m te worden



aangehouden. Het overslagdebiet dient te worden berekend uitgaande van de geometrie van de kering (bijv. verticale wand).

Ter illustratie en ter controle is in Tabel 5 een (voorbeeld)berekening van de vereiste kerende hoogte van een verticale wand weergegeven. Ook is de Waterstand bij Norm gegeven voor het zichtjaar 2125.

Tabel 4: Randvoorwaarden hydraulische belasting

Traject [-]	68-1	
Uitvoerpunt [-]	MA_1_68-1_dk_00001_01	
Norm [jaar ⁻¹]	1/300 (ondergrens)	
Windstatistiek [-]	Windstation Deelen	
Afvoerstatistiek [-]	Borgharen inclusief onzekerheidstoeslag en overstromingskans Wallonië (HOB-model)	
Modelonzekerheden:	Verwachtingswaarde:	Standaarddeviatie:
- Waterstand [m]	0,00	0,30
- Golfhoogte [m]	0,96	0,27
- Spectrale golfperiode [s]	1,03	0,13
- Piekperiode [s]	1,03	0,13
Klimaatscenario [-]	W+	
Lengte-effectfactor HTKW [-]	1	
Faalkansruimte HTKW [-]	0,24	
Eis op doorsnedeniveau [jaar ⁻¹]	1/1.250 (=1/300 × 0,24)	
Kritiek overslagdebiet [l/m/s]	5	

Tabel 5: Voorbeeldberekening Waterstand Bij Norm en vereiste kruinhoogte voor keermuur

Dijknormaal [°N]	264
Voorbeeldberekening waterstand bij norm, zichtjaar 2125 [m+NAP]	20,63
Voorbeeldberekening vereiste kruinhoogte verticale wand, zichtjaar 2125 [m+NAP]	21,41

2.9.2 Piping bij kunstwerk (PKW)

De zelfsluitende waterkering dient te voldoen aan de eisen voor piping conform WOWK2018 [ref. 2]. Zowel onderloopsheid als achterloopsheid dienen te worden beschouwd. Voor de modellen van Bligh en Lane en het heave-model zijn momenteel nog geen expliciete relaties vastgesteld tussen veiligheidsfactor en faalkans. Het uitgangspunt is dat het kunstwerk voldoet als deze volgens de modellen van Bligh, Lane en/of het heave-model voldoet bij een buitenwaterstand bij norm. Hier dient de afgeleide ontwerpwaterstand (WBN) voor te worden gehanteerd. Hierbij dient gebruik te worden gemaakt van de creepfactoren uit de WOWK2018 [ref. 2].

2.9.3 Constructieve sterkte en stabiliteit

De zelfsluitende waterkering dient te voldoen aan de eisen voor de constructieve sterkte en stabiliteit conform WOWK2018 [ref. 2]. In lijn met de faalkansbegroting conform paragraaf 2.3 en de WOWK2018 dient de constructie minimaal aan de volgende faalkanseis (referentieperiode 1 jaar) te voldoen:



$$P_{eis;KW;CON} = \frac{P_{max} \cdot \omega_{con} \cdot c}{N_{dsn}} = \frac{1/300 \cdot 0,02 \cdot 5}{3} = 1,11E-4 \rightarrow \beta_{eis;KW;CON} = 3,7$$

De constructie dient ook aan de eisen uit de Regeling Bouwbesluit te voldoen. Daarbij dient worden uitgegaan van Consequence Class 2, of CC2 ($\beta_{eis, levensduur} = 3,8$).

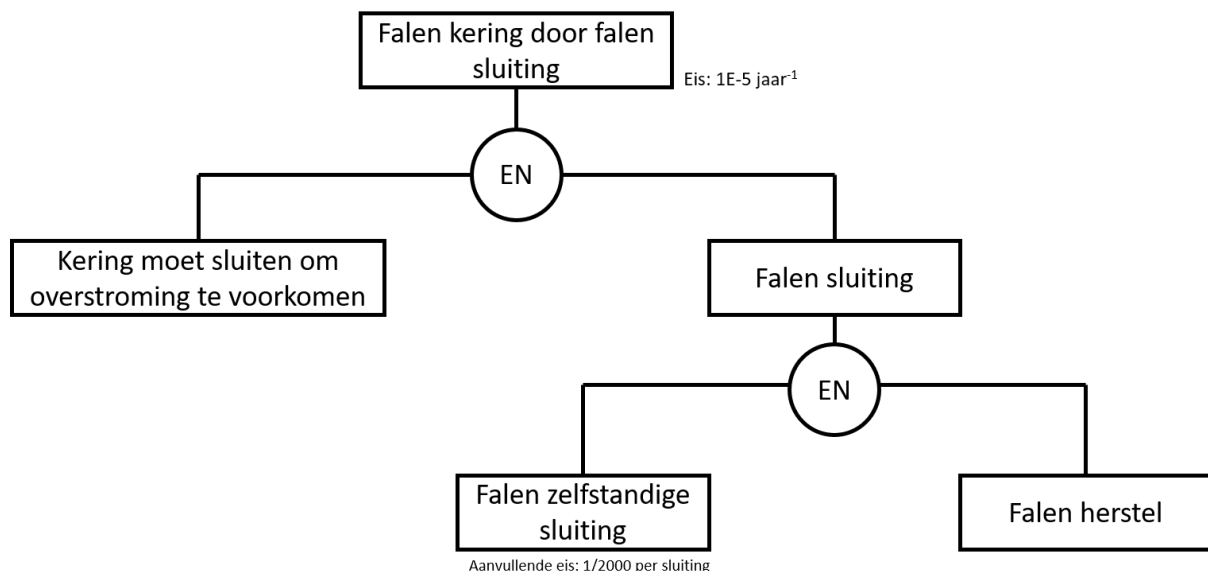
Indien constructie-onderdelen zodanig worden ontworpen dat wel sprake is van grond-constructie-interactie dienen ook de POVM publicaties 'Stabiliteitsverhogende Langsconstructies' (PPL) [ref. 8] en 'EEM toepassing binnen het ontwerp' (PPE) [ref. 9] te worden gevolgd.

2.9.4 Betrouwbaarheid sluiten kunstwerk (BSKW)

Zoals beschreven in paragraaf 2.3 geldt voor BSKW een maximale faalkanseis van 1E-5 per jaar. Het betreft hier een eis aan de jaarlijkse kans op overstroming, leidend tot substantiële schade of slachtoffers, door niet-sluiten. De resulterende eis aan de kans op het niet-sluiten van de kering bij een sluitvraag is getalsmatig groter.

Bovenop deze faalkanseis per jaar geldt een aanvullende faalkanseis voor de zelfstandige sluiting van de waterkering van 1/2.000 per sluitvraag.

Een foutenboom op hoofdlijnen is weergegeven in Figuur 5. De faalkans per jaar wordt bepaald door de jaarlijkse kans op een overstroming bij een continu open kering en de faalkans per sluitvraag. De jaarlijkse kans op een overstroming bij een continu open kering wordt (conservatief) gelijk gesteld aan de kans op meer dan 5 l/s/m overslag/overloop over de drempel (maximale voorgeschreven hoogte 18,9 m+NAP).



Figuur 5: Foutenboom betrouwbaarheid sluiten

Het falen van de sluiting vereist de twee onderstaande gebeurtenissen. Beide dienen op te treden om tot het falen van de sluiting te leiden:

- falen zelfstandige sluiting;



- falen herstel.

Falen zelfstandige sluiting

Bij een zelfstandige sluiting is menselijk handelen (en dus ook alarmering, mobilisatie en bediening) niet aan de orde.

Falen herstel

In de faalkansanalyse mag rekening worden gehouden met de volgende herstelmogelijkheden:

- Voorafgaand aan een sluiting mag er worden uitgegaan van een maximaal 2 uur durende inspectie, inclusief een potentiële proefsluiting¹.
- Het herstel van gebreken die tijdens deze inspectie worden gesignaleerd mag maximaal 6 uur duren.
- Het herstel dient uitvoerbaar te zijn met gangbaar materieel en gereedschap (concreet: passend in een pick-uptruck).
- De aanwezigheid van reserveonderdelen om de reparatietijd te verkorten mag in de analyse worden meegenomen, mits deze in de hierboven benoemde pick-uptruck past.
- Het herstel dient uitvoerbaar te zijn door een monteur/inspecteur van het WL met gangbare elektromechanische en waterbouwkundige kennis (MBO+ opleidingsniveau).

Er moet worden uitgegaan van een faalkans van het uitvoeren van de inspectie van $2,6E-3$ [ref. 4]. De uit te voeren handelingen tijdens de inspectie en eventuele bijbehorende faal- en herstelkansen dienen te worden beschreven in de foutenboom.

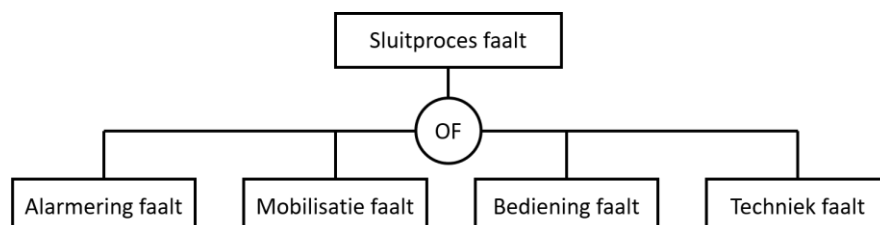
Foutenboomanalyse BSKW

De faalkansprestatie van de zelfsluitende waterkering m.b.t. het faalmechanisme BSKW dient te worden bepaald met een foutenboomanalyse. Hierbij dient gebruik te worden gemaakt van software waarvan de correcte werking is aangetoond door de ontwikkelaar of leverancier (zoals FaultTree+, RiskSpectrum of gelijkwaardige software). Het gaat hierbij zowel over faaloorzaken die betrekking hebben op de kering zelf als over externe oorzaken (bijv. stroomuitval).

In de foutenbomen dienen in ieder geval de volgende aspecten terug te komen (Figuur 6):

1. Alarmering faalt: bijv. falen hoogwatervoorspelling- of waterstandsmeting, falen alarm;
2. Mobilisatie faalt: bijv. bedienend personeel niet tijdig aanwezig;
3. Bediening faalt: bijv. verkeerde handeling of nalaten handeling;
4. Techniek afsluitmiddelen faalt: bijv. bewegingswerk faalt.

Wanneer een aspect niet relevant is, dient dit te worden gemotiveerd.



¹ Het is niet de bedoeling dat de waterkering na de potentiële proefsluiting gesloten blijft tot hoogwater. Het uitgangspunt is dat de waterkering, na de inspectie, zich in de ruststand bevindt en vervolgens zelfstandig sluit.



Figuur 6: Foutenboom falen sluitproces

De faalkansen van hardwarecomponenten dienen te worden onderbouwd. Daarbij dient te worden uitgegaan van de volgende bronnen, in onderstaande volgorde. Er mag alleen een lagere bron gebruikt worden, indien de hogere niet beschikbaar is:

1. statistisch valide onderbouwde praktijkgegevens van het betreffende component;
2. leveranciersgegevens;
3. algemeen geaccepteerde faaldata uit daarop toegesneden wetenschappelijke literatuur of databases, zoals Oreda Handbook of EIReDA met verwijzingen naar versie, paginanummer, etc. en met inachtneming van de voorgestelde onderhoudsstrategie;
4. database met faalgegevens van Rijkswaterstaat, bijgevoegd in bijlage 5;
5. expert judgement.

In geval van gebruik van bron 1 of 2 dient een kopie van het brondocument meegeleverd te worden in de rapportage. In gevallen 3, 4 en 5 mag worden volstaan met een verwijzing. In geval 6 dient een verslag te worden bijgevoegd met daarin: experts vermelden; motivatie gebruikte expertise; bij consultatie meerdere experts een duidelijke rapportage van de gehouden expertsessies en de methode om expertmeningen te combineren.

Proefsluiting

De zelfsluitende waterkering dient de mogelijkheid te bieden voor een proefsluiting. Tijdens deze proefsluiting dient de waterkering volledig te kunnen worden gesloten tijdens niet-hoogwatercondities.

2.9.5 Macrostabiliteit buitenwaarts (STBU)

De zelfsluitende waterkering dient te worden ontworpen zodat deze bestand is tegen het optreden van instabiliteit in de vorm van verticaal of horizontaal verplaatsen, dan wel kantelen. Als het voorliggende grondlichaam of voorland hier een rol in speelt, dan dient de stabiliteit van dit grondlichaam en/of voorland te worden aangetoond. Hierbij dient ook de bekleding van het grondlichaam en/of voorland te worden beschouwd. Er dient rekening te worden gehouden met de volgende faalmechanismen, alsmede met alle relevante faalmechanismen met betrekking tot de aanwezige bekleding:

- macrostabiliteit buitenwaarts;
- zettingsvloeiing voorland;
- afschuiving voorland;
- golfafslag voorland.

De kans dat zich door macrostabiliteit buitenwaarts een overstroming voordoet, wordt bepaald door (1) de kans op een snelle val van de waterstand na hoogwater, (2) de kans op een buitenwaartse afschuiving, en (3) de kans op een hoogwater (met significante overstromingsgevolgen) binnen de hersteltijd. Vanuit het oogpunt van de overstromingskansnorm zou de kans op een buitenwaartse afschuiving vermoedelijk relatief groot mogen zijn. Vanuit economisch perspectief is een grote kans op schade aan de zelfsluitende kering echter ongewenst. Daarom dient de kans op schade aan de zelfsluitende kering door een buitenwaartse afschuiving kleiner te zijn dan 1/100 in geval van een snelle val van de waterstand na hoogwater.



2.9.6 Aansluitconstructies

De aansluitconstructies moeten dusdanig worden vormgegeven, gedimensioneerd, uitgevoerd en onderhouden, dat deze gedurende de beoogde planperiode geen verzwakking is ten opzichte van het naastgelegen dijklichaam, ervan uitgaande dat dit naastgelegen dijklichaam gedurende de planperiode minimaal aan de daarvoor geldende eisen voldoet. Deze eis geldt ook in het ontwerp van de zelfsluitende waterkering.

Aan beide kanten van de zelfsluitende waterkering sluit deze aan op een kerende muur. Aan de zuidzijde is dit de aansluiting op de permanente keermuur (ook onderdeel van scope).



3 Eisen kabels en leidingen

De eisen betreffende de aanwezige kabels en leidingen zijn opgenomen in bijlage 6.



4 Eisen uitvoering

De marktpartij stelt een plan op voor de uitvoeringsfase. Hierin worden o.a. de volgende aspecten beschreven:

- waterveiligheid tijdens uitvoeringsfase;
- seizoen van werkzaamheden;
- opnemen en vastleggen bestaande bouwkundige schade aan panden;
- monitoring en trillingsmetingen tijdens de uitvoering.

Tijdens de uitvoeringsfase dient de betrouwbaarheid niet lager te zijn dan tijdens de huidige situatie. Dit bestaande veiligheidsniveau dient tijdens de uitvoeringsfase te allen tijde aantoonbaar geborgd te zijn. Hiervoor dient het document 'Protocol werken aan de waterkering' van het WL te worden gevolgd. Dit document is opgenomen in bijlage 7. Conform het protocol dient er een noodplan opgesteld te worden. In dit noodplan zijn o.a. de risico's bij uitvoering beschreven, met bijbehorende beheers- en noodmaatregelen.



5 Eisen beheer en onderhoud

De volgende uitgangspunten dienen te worden gehanteerd met betrekking tot beheer en onderhoud:

- Er is een doorgaande obstakelvrije zone van 4 m binnendijks (vanaf de rand van de constructie) en de gehele kernzone.
- De doorgaande obstakelvrije zone moet ten alle tijde geïnspecteerd kunnen worden.
- De obstakelvrije zone is via de openbare weg bereikbaar en materiaal kan bij voorkeur doorrijden; zo niet dient een keerlus te worden toegepast.
- De testvoorzieningen moeten direct aan de openbare weg grenzen en afdoende worden beschermd tegen aanrijding van (vracht)auto's.

De opdrachtnemer dient een onderhoudsplan te overleggen waarin de activiteiten staan vermeld (preventief onderhoud, tests, opleiding en training) die nodig zijn voor de instandhouding van de kering en het waarborgen van de faalkansprestatie.



6 Geotechnische- en geohydrologische parameters

Het beschikbare geotechnische onderzoek is opgenomen in bijlage 8. Het beschikbare geohydrologische onderzoek is opgenomen in bijlage 3.

De te hanteren geotechnische parameters zijn afgeleid in een interpretatierapport. Deze is opgenomen in bijlage 9 en dient te worden gevolgd.



7 Referenties

1. Esthetisch Programma van Eisen Steyl-Maashoek, versie 1.0 September 2020
2. Werkwijzer Ontwerpen Waterkerende Kunstwerken – Ontwerpverificaties voor de hoogwatersituatie. Groene Versie. 2018.
3. CUR 166 Damwandconstructies. 6^e herziene druk, deel 2. 2012
4. IO.12.001-1.0-Me-Faalkansanalyse demontabele en beweegbare keringen Arcen, Well, Steyl en Buggenum - Zeef 2
5. Ontgronding bij persleidingbreuk of -lek, evaluatie rekenmethode NEN3651.
6. NEN 3651:2020, 'Aanvullende eisen voor buisleidingen in of nabij belangrijke waterstaatswerken.
7. Memo lengte-effectfactor en faalkanseis zelfsluitende kering. R. Jongejan. Oktober 2020.
8. POVM publicatie stabiliteitverhogende langsconstructies, d.d. oktober 2019, v 1.1 concept
9. POVM rekentechnieken, 'EEM toepassingen binnen het ontwerp Aanwijzingen Voorbeelden', d.d. 2019, v 1.1 concept



BIJLAGE 1: INMETINGEN

BIJLAGE 1. Steyl-Maashoek_DTM.zip



BIJLAGE 2: NOTA VAN UITGANGSPUNTEN



IO.PROG.29.002 Nota van uitgangspunten ontwerp Tranche 2

Hoogwaterbeschermingsprogramma Noordelijke Maasvallei

Datum: 21 september 2020

Kenmerk (SP): 495

Versienummer: 0.9-1

Status: 90%

In opdracht van
 waterschap
limburg

Voorwoord

Deze Nota beschrijft de actuele uitgangspunten voor het ontwerp van de HWBP dijkversterkingen op het moment van publicatie van deze nota. Het is een vertrekpunt, want de kennis, innovaties en de werkwijze behorend bij de nieuwe normering zijn nog steeds in ontwikkeling. Daarom is het van groot belang dat per project steeds moet worden nagegaan of de uitgangspunten nog actueel zijn of dat nieuwe inzichten vragen om aanpassing. Het ontwerp moet immers stand houden bij reviews, second opinions en uiteindelijk bij de Raad van State.

Met name moet ook locatie specifiek worden afgewogen waar de focus ligt. De projectlocatie kan aanleiding geven om uitgangspunten aan te scherpen of juist af te zwakken in afwijking van onze algemene of landelijk vrijgegeven uitgangspunten. Denk bijvoorbeeld aan het wel of niet betrekken van het voorland. Ook kan het juist voor een bepaalde locatie interessant en nodig zijn om onderzoeksresultaten, waarvan de uitwerking nog in ontwikkeling is, alvast te betrekken in het ontwerp. Al is het alleen maar om te kijken wat het effect ervan zou zijn, mocht hier landelijk een gevolg aan gegeven worden.

Leg goed vast welke uitgangspunten voor je project worden gehanteerd, en geef aan wanneer en waarom die afwijken van de algemene en landelijke uitgangspunten. Dit zou ook goed kunnen in een projectspecifieke nota. Voor ruggesteun kan het verstandig zijn om de TM van het HWBP begeleidingsteam te betrekken en een review te laten uitvoeren door ADO. Het is aan de projectteams om daar zelf vorm aan te geven.

Kortom, pas deze Nota van Uitgangspunten niet klakkeloos toe, blijf nadenken en om je heen kijken, leg vast en overweeg om HWBP en ADO te betrekken bij de vaststelling van je uitgangspunten.

Roermond september 2020

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	5
1.1	Status NVU2.0	6
1.2	Scope.....	6
1.3	Leeswijzer.....	7
2	Algemene uitgangspunten	8
2.1	Ontwerpinstrumentarium	8
2.2	Ontwerplevensduur (zichtperiode).....	8
2.3	Hydraulische Randvoorwaarden	8
2.4	Faalkansverdeling.....	9
2.5	Hoogte en kruinbreedte	10
2.5.1	Overslagdebiet	10
2.5.2	Kruinhoogte	10
2.5.3	Kruinbreedte	11
2.5.4	Hoge grond	12
2.6	Integraal versterken	12
2.7	Beheer en onderhoud.....	13
2.8	Raakvlakken	14
2.9	SE/KES	14
3	Uitgangspunten geotechniek en dijk.....	15
3.1	Op- en afritten	15
3.2	Bodemgesteldheid	15
3.2.1	Grondmechanische schematisatie	15
3.2.2	Geotechnische parameters.....	16
3.3	Freatische lijn en potentiaalberekening	23
3.3.1	Freatische lijn.....	23
3.3.2	Potentialen.....	27
3.4	Macrostabieliteit (STBI - STBU)	28
3.4.1	Uitvoeringsfase en eindfase	28
3.4.2	Berekening	29
3.4.3	Veiligheidseis	31
3.4.4	Macrostabieliteit bij overslag (STBI q).....	31



3.4.5	Macrostabiliteit bij aardbevingen.....	31
3.5	Piping en heave (STPH)	33
3.5.1	Werkwijze piping.....	33
3.5.2	Berekening	34
3.5.3	Veiligheidseis	36
3.6	Voorland	36
3.6.1	Erosiebestendigheid oevers (VLAF en VLGA)	36
3.6.2	Zettingsvloeiing (VLZV).....	36
3.7	Overige.....	40
3.7.1	Dijkkern	40
3.7.2	Erosiebestendigheid bekleding.....	40
3.7.3	Klei-inkassing	42
3.7.4	Afschuiving bekleding (GABU en GABI)	42
3.7.5	Microstabiliteit (STMI).....	42
4	Waterkerende constructies en kunstwerken.....	43
4.1	(bijzondere) Waterkerende constructies	43
4.1.1	Constructieve wanden.....	43
4.1.2	Pipingschermen of andere oplossingen met beperkt ruimtebeslag .	47
4.2	Kunstwerken	48
4.3	Overgangsconstructies	48
4.4	Aandachtspunten bij ontwerp van constructies	49
5	Niet waterkerende objecten (NWO's).....	50
5.1	Kabels en Leidingen	50
5.1.1	Kruisende leidingen	50
5.1.2	Parallele leidingen	51
5.1.3	Vervangende waterkering	52
5.2	Bepplanting.....	53
5.3	Bebouwing	54
5.3.1	Kelders.....	54
5.3.2	Funderingen.....	55
5.4	Dijkmeubilair	55
5.5	Wegen.....	55
6	Referenties	56
	Bijlage 1 onderbouwing keuze grondgedrag	58
	Bijlage 2 Aandachtspunten voor ontwerp (kruisende) wegen	59
	Bijlage 3 Pipinggevoeligheid grind	70



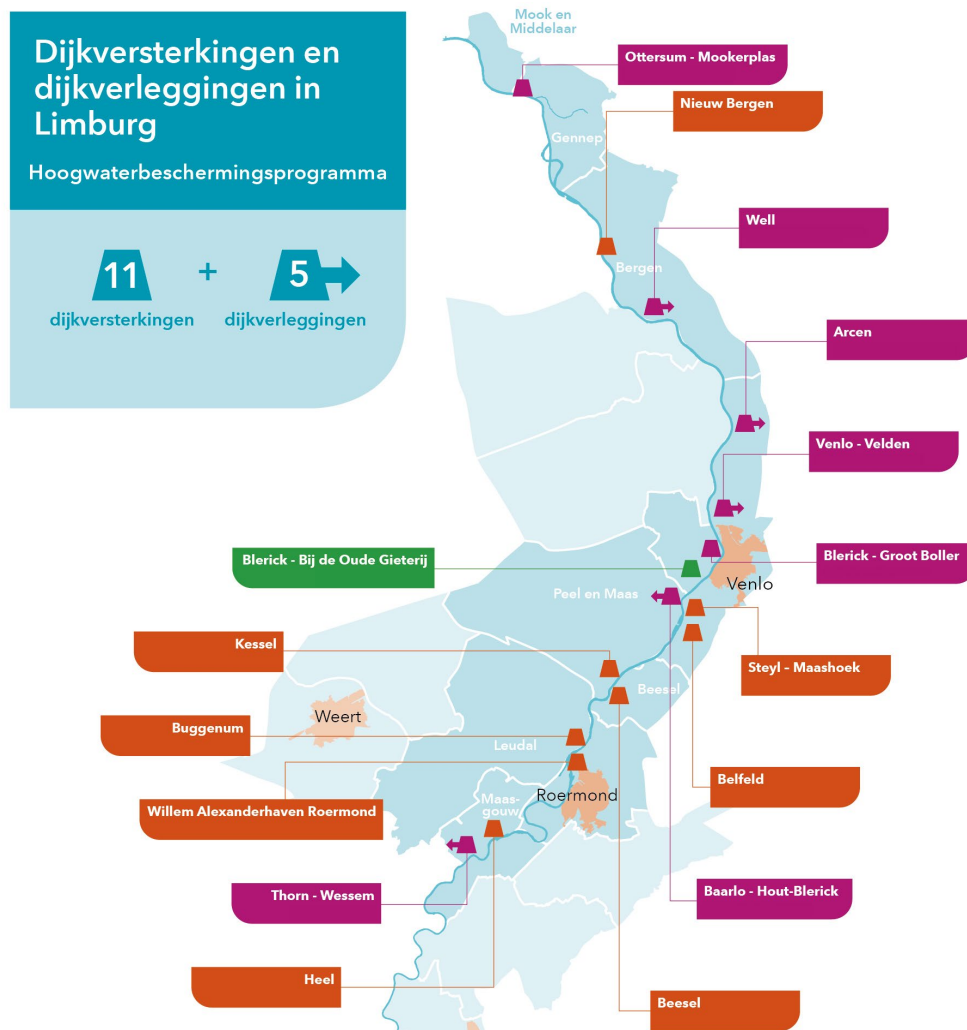
Bijlage 4 Verkeersbelasting	71
-----------------------------------	----



1 Inleiding

De dijken binnen het Programma HWBP Noordelijke Maasvallei voldoen niet aan de wettelijke normen voor waterveiligheid en zijn derhalve afgekeurd. De achterliggende kernen genieten momenteel niet de bescherming die ze wettelijk toekomt. De doelstelling van het programma is dan ook primair "het verbeteren van de waterveiligheid in de Maasvallei" zodanig dat deze voldoen aan de nieuwe landelijke norm. Secundaire doelstelling is het sober en doelmatig verbeteren van de gebiedskwaliteiten.

Het definiëren van uitgangspunten voor het programma is een proces geweest van meerdere jaren, dat nu resulteert in een set van min of meer stabiele eisen. Hiermee kan de planfase van in ieder geval Well (normtraject 60.1), Arcen (65.1), Buggenum (75.1) en Roermond Willem-Alexanderhaven (76.1) worden doorlopen, alsmede het uitvoeringscontract voor Steyl-Maashoek (68.1) worden opgesteld. De ligging van de normtrajecten is weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1 dijkversterkingen langs de Noordelijke Maas.

Dit rapport bevat een set uitgangspunten die, met het oog op een efficiënt werkproces, het beste aansluit op de huidige inzichten. Deze uitgangspunten zijn gezamenlijk met WL vastgesteld. Bij de indeling van deze set uitgangspunten is aangesloten op het "IO.97.001 Nota van uitgangspunten planfase Nieuw Bergen, Belfeld, Beesel en Heel", versie 1.0 van 7 september 2018.

In deze notitie worden actuele uitgangspunten gegeven voor de normtrajecten die in 2020 en 2021 één of meerdere stappen van de planvorming doorlopen. Per normtraject kunnen, zo nodig, in de ontwerpnota keuzes/aannames verder worden gedetailleerd.

1.1 Status NVU2.0

Samen met de KlantEisenSpecificatie (KES) vormt deze uitgangspuntennotitie het pakket van eisen waaraan de waterkering moet voldoen. Hoe hiermee precies omgegaan moet worden is beschreven in paragraaf 2.9 op pagina 14.

De NVU2.0 beoogt om de ontwerpers te voorzien van de belangrijkste technische uitgangspunten, waarmee de meeste berekeningen kunnen worden gemaakt en tekeningen kunnen worden vervaardigd. In uitzonderingssituaties dienen projectspecifieke uitgangspunten te worden verzameld. En voor detaillering van tekeningen is het raadplegen van specifieke eisen in de KES noodzakelijk.

1.2 Scope

Door Waterschap Limburg (WL) wordt samen met partners DGRW, RWS, provincie Limburg en betrokken gemeenten het HWBP-programma voorbereid. Sommige van deze trajecten zitten in de uitvoeringsfase (Steyl-Maashoek, Beesel en Heel), sommige in de planuitwerkingsfase (Nieuw-Bergen, Well, Arcen, Buggenum en Roermond Alexanderhaven) en anderen in een afwegingsfase (Lob van Gennep, Venlo, Blerick, Baarlo en Thorn-Wessem). Voor al deze programma onderdelen kan deze nota van uitgangspunten worden gebruikt onder de voorwaarde dat bij elke fase overgang de uitgangspunten geverifieerd worden.



1.3 Leeswijzer

Het HWBP programma Noordelijke Maasvallei is omstreeks 2015 gestart en is gebaseerd op de resultaten van de toetsing uit 2011/2012. Vanwege de verstreken tijd, is er op meerdere punten sprake van voortschrijdend inzicht. Daarom dient bij elk project een nieuwe afweging worden gemaakt of de versterking echt wel nodig is door scherp te toetsen en indien nodig robuust te ontwerpen.

- Scherp toetsen: indien een opgave kan worden uitgesteld dan heeft dit de voorkeur en anders onderbouwen waarom de versterking nu moet. De gehanteerde uitgangspunten moeten ook in dit licht worden gezien, waarbij het stapelen van onzekerheden voorkomen moet worden.
- Robuust ontwerpen: als duidelijk is dat er een versterkingsopgave is, doe het dan goed en kies voldoende veilige uitgangspunten.
- Per deelproject moeten de uitgangspunten in het kader van de ontwerprondes die leiden tot een definitief (referentie) ontwerp worden geëvalueerd.

Gelet op het voorgaande moeten de uitgangspunten in deze rapportage worden gezien als vertrekpunt en niet als "muur vast".



2 Algemene uitgangspunten

Primaire Waterkeringen dienen te voldoen aan de Waterwet. Dit betekent dat de dijk, het kunstwerk, de verholten kering, etc. zodanig is ontworpen dat de kans op een overstroming met substantiële schade of slachtoffers kleiner is dan de maximaal toelaatbare overstromingskans. Hiertoe dient ontworpen te worden conform het vigerende Ontwerpinstrumentarium.

2.1 Ontwerpinstrumentarium

Ten behoeve van het implementeren voor de planuitwerking wordt het OI2014v4 (december, 2016) gehanteerd [ref 2]. Opgemerkt wordt dat daar waar in het vervolg van deze rapportage wordt gesproken over 'het OI2014' hiermee versie 4 van dit document wordt bedoeld.

2.2 Ontwerplevensduur (zichtperiode)

Voor de zichtperiode wordt in beginsel uitgegaan van 50 jaar ($T = 2075$). Hiervoor wordt gerekend met lineaire interpolatie tussen (2050-2100). Voor constructies is de zichtperiode in 100 jaar ($T = 2125$) en wordt lineair geëxtrapoleerd. Binnen de projecten kan er, bijvoorbeeld vanuit een LCC gedachte, afgeweken worden van deze standaard zichtperiodes. Zie verder OI2014v4, §9.3 Partieel en/of gefaseerd versterken [ref 2].

2.3 Hydraulische Randvoorwaarden

Naar aanleiding van de november 2019 release van Ringtoets / Hydra-NL worden de volgende uitgangspunten toegepast voor de bepaling van de hydraulische randvoorwaarden:

- De windstatistiek van windstation Deelen;
- Uit-integreren van onzekerheden i.p.v. de toepassing van een onzekerheidstoeslag. Dit wordt toegepast door (1) gebruikt te maken van afvoerstatistiek en windstatistiek met onzekerheden en (2) modelonzekerheden toe te passen. Deze modelonzekerheden zijn als normale verdelingen gedefinieerd en moeten worden opgegeven in Hydra-NL:
 - Waterstand: Verwachtingswaarde = 0; standaarddeviatie = 30 cm;
 - Golfhoogte: Verwachtingswaarde = 0,96; standaarddeviatie = 27 cm;
 - Golfperiode: Verwachtingswaarde = 1,03; standaarddeviatie = 13 cm;



- Toepassing van de afvoerstatistiek waarin overstromingen in Wallonië zijn meegenomen;
- Klimaatscenario W+ (onderbouwing is "redeneerlijn keuze klimaatscenario" met reviewbrief door KNMI en TU Delft);
- HOB-model met Netto waterstandseffecten (databases: HOR_F1_Maas_Oever_Netto_2015.mdb, HOR_F1_Maas_Oever_Netto_2050.mdb en HOR_F1_Maas_Oever_Netto_2100.mdb).

2.4 Faalkansverdeling

Er wordt gestart met de standaard faalkansverdeling vanuit het OI2014 (zie Tabel 1), omdat alle bezwijkmechanismen van toepassing kunnen zijn in alle normtrajecten. Op voorhand kan er niet één worden uitgesloten met bijvoorbeeld als reden dat het mechanisme fysiek niet op kan treden.

De noodzaak voor een aangepaste faalkansverdeling volgt tijdens het detailleren van het ontwerp uit het samenspel van ondermeer faalmechanismen, kosten, betrouwbaarheid en ruimtelijk kwaliteit.

Voor de trajecten die de planuitwerkingsfase in gaan wordt in samenspraak met het waterschap en indien opportuun de faalkansverdeling aangepast.

Tabel 1: standaard faalkans verdeling.

Type waterkering	Faalmechanisme	Faalruimte (standaard)
Dijk	Overloop en golfoverslag	0,24
	Opbarsten en piping	0,24
	Macrostabiliteit binnenwaarts	0,04
	Beschadiging bekleding en erosie	0,10
Kunstwerk	Niet sluiten	0,04
	Piping	0,02
	Constructief falen	0,02
Overig		0,30
Totaal		1,00



2.5 Hoogte en kruinbreedte

2.5.1 Overslagdebiet

Er wordt uitgegaan van een toelaatbaar overslagdebiet van 5 l/s/m. Deze waarde is gebaseerd op Tabel 5 uit het OI2014v4 [ref 2] en in overleg met het waterschap gekozen. Argumenten voor deze keuze zijn:

- Er zijn bij een overslag van 5 l/s/m geen eisen aan objecten en overgangen op de kruin van de dijk (bij 10 l/s/m is dit wel het geval);
- Bij een golfhoogte < 2,0 m voldoet een open zode op klei (bij 10 l/s/m is een gesloten zode vereist);
- Het waterbezwaar is bij een keuze voor 5 l/s/m dermate klein, dat effecten binnendijks (vooral wateroverlast) acceptabel worden geacht.

Het verschil in kruinhoogte tussen 5 en 10 l/s/m is voor de Noordelijke Maasvallei 5 à 10 cm.

2.5.2 Kruinhoogte

Op basis van de faalkanseis, gegeven een faalkansruimte voor hoogte, dient de benodigde kruinhoogte afgeleid te worden uit de Hydra-NL berekening, waarbij:

- Wordt uitgegaan van een toelaatbaar overslagdebiet van 5 l/s/m;
- Een zichtperiode van 50 jaar voor groene dijken en van 100 jaar voor verticale constructies (tenzij binnen het project een andere onderbouwde keus wordt gemaakt met een LCC benadering, zie ook §1.3 op pagina 7);
- een taludhelling van 1 op 3 (reguliere groene dijk) of een verticale wand bij constructies (tenzij binnen het ruimtelijk ontwerp een andere onderbouwde keus wordt gemaakt);
- Bij aanwezigheid van uiterwaarden wordt het voorland geschematiseerd.

Voor het bepalen van de kruinhoogte moet probabilistisch rekenen worden overwogen. En elk deelproject dient deze afweging derhalve te maken. Maar in het algemeen is het zo dat het probabilistisch overslagdebiet is geënt op het falen van de grasmat. Deze debieten liggen heel hoog en resulteren in dusdanig veel water over de dijk dat het dijkringbakje alsnog vol loopt met water. Daarom wordt uitgegaan van een vast overslagdebiet van $q = 5$ l/s/m.

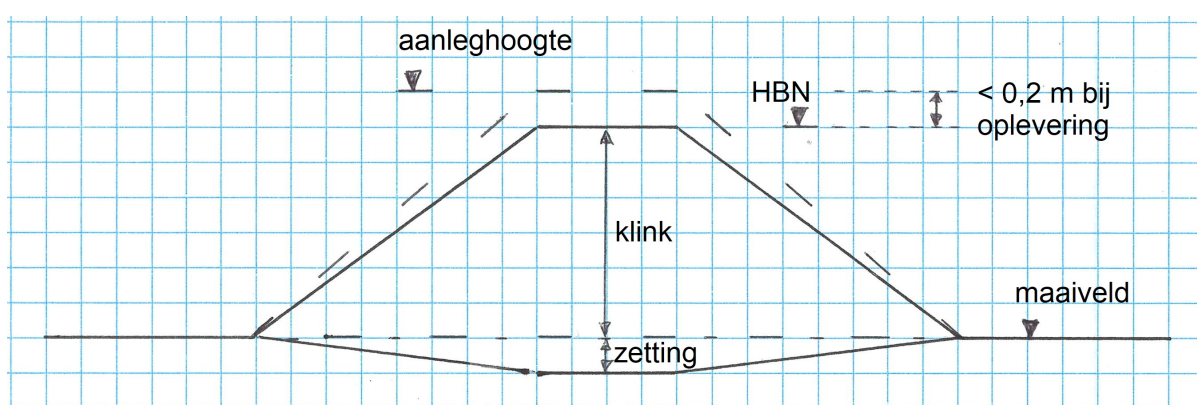


2.5.2.1 Zetting en klink

Voor de dijken dient rekening te worden gehouden met klink van het ophoogmateriaal (zand < 5% en klei < 10% van de aangebrachte ophoging) en zettingen in de ondergrond. De zettingen in de ondergrond dienen per normtraject te worden bepaald:

- Minimaal één zettingsberekening om de zetting van de ondergrond te bepalen door de ophoging van de dijk met zandige Maasklei (volumegewicht = 20 kN/m³);
- Wanneer de bodemopbouw er aanleiding voor geeft (sterk afwijkende bodem opbouw ten opzichte van 2 m Maasklei op zand/grind) dient een extra zettingsberekening te worden gemaakt.

Derhalve is de aanleghoogte: HBN + zetting + klink (Figuur 2).



Figuur 2: verschil tussen aanleghoogte en uiteindelijk profiel.

De hoogte volgens uit de berekening van het HBN dient te worden gehanteerd in berekeningen voor macrostabiliteit, piping en bekledingen. De aanleghoogte dient te worden vermeld in het contract met de aannemer.

Voor trajecten waar geen hoogteopgave geldt, wordt geen opleveringsoverhoogte meegenomen.

Voor constructieve oplossingen wordt de hoogte bepaald bij zichtjaar 2125 en dient, indien nodig bij bepaalde bodemopbouw of constructietype (fundering op staal), rekening te worden gehouden met klink en zetting.

2.5.2.2 Bodemdaling

In Limburg speelt autonome bodemdaling geen rol. Lokaal is zelfs sprake van rijzing langs breuklijnen in de orde grootte van één tot enkele millimeters per jaar.

2.5.3 Kruinbreedte

Voor het ontwerp wordt uitgegaan van een kruinbreedte van 4,5 m (dit is de standaard breedte van 3,0 m vermeerderd met 2x0,75 m wegberm). Indien het



nodig is hiervan af te wijken, wordt dit duidelijk beschreven in de ontwerpnota en wordt afgestemd met landschapsarchitecten, planproducten en kostenramers. Wanneer voor een versterking wordt gekozen voor een tuimelkade dan gelden de volgende eisen voor de kruinbreedte:

- Als de hoogte van de tuimelkade ten opzichte van de dijk, met daarop een weg of inspectiepad, minder dan 1 m is, dan is de kruinbreedte van de tuimelkade 2 m (in de VKA fase was dit nog 3 m met een eis aan de locatie van het onderhoudspad);
- In alle andere gevallen wordt ervan uitgegaan dat de tuimelkade 3 m breed is. (in de VKA fase was dit nog 4,5 m).

Ervaring leert dat een smallere berm 1) lastig buiten te maken is door de aannemer, omdat de semi-verharding dan weinig tot geen steun aan weerszijden heeft, 2) dat er ruimte nodig is voor het plaatsen van de dijkpaalbordjes, 3) dat de randen snel worden stukgereden / worden afgerond.

2.5.4 Hoge grond

Op basis van analyse van de aanwezige hoogte en de vereiste hoogte, is bepaald op welk punt de hoge grond voldoende robuust is om achterloopsheid te voorkomen. Hiervan is een separaat memo opgesteld [ref 3]. Aanwijzingen uit het memo dienen te worden gevolgd in het ontwerpproces.

2.6 Integraal versterken

Waterschap Limburg hanteert het uitgangspunt dat de dijken integraal versterkt worden voor de ontwerplevensduur. Dat wil zeggen voor alle faalmechanismen.



2.7 Beheer en onderhoud

Met betrekking tot beheer en onderhoud gelden de volgende uitgangspunten:

- Overall dient in het ontwerp een inspectie/calamiteiten/bereikbaarheidspad op de kruin van de waterkering te komen. Tenzij er een openbare weg op de kruin ligt danwel een openbare weg direct achter de kruin van de dijk ligt;
- Kruinbreedte: minimaal 4,5 m (padbreedte van 3,0 m + 2x0,75 m wegberm). Indien een openbareweg op de kruin aanwezig is, wordt in principe de huidige breedte gehandhaafd (minimaal 3,5 m asfalt + 2x1,0 m berm) en in geval van een tuimelkade is een smallere breedte mogelijk (circa 3 m);
- Taludhellingen: 1:3 taluds of flauwer;
- Kruin en binnentalud moeten bestand zijn tegen overslag (of bij zeer kleine golven tegen maximaal 5 l/s/m overloop);
- Indien in huidige situatie geen weg op de kruin aanwezig is dan wordt voor een onderhoudspad uitgegaan van:
 - Onderhoudspad op de kruin wordt opgebouwd uit een zanddichtgeotextiel met voldoende sterkte en een hydraulisch gebonden verharding (of "stol"), dikte 300 mm;
 - Breedte onderhoudspad op kruin 3,0 m;
- Tot 2 m uit de teen is sprake van een beheerstrook (onder afschot), waar ook het kielspit van de kleibekleding aanwezig is. Bij een schaarlijk is 3 m (>0,5 m boven stuwpeil) buitendijks nodig.

Ten aanzien van de bereikbaarheid van harde waterkeringen gelden de volgende uitgangspunten:

- In principe een doorgaande obstakelvrije zone van 4 m binnendijks en 1 m buitendijks;
- Voor de nieuwe situatie geldt een vrije zone van 4 m om te kunnen handelen tijdens calamiteitsituaties (zone ligt derhalve binnendijks);
- De doorgaande obstakelvrije zone moet ten alle tijde geïnspecteerd kunnen worden, demontabele keringen kunnen worden opgebouwd en noodmaatregelen kunnen worden getroffen. Afhankelijk van lokale situatie- te allen tijde voldoende ruimte moet zijn zowel in de reguliere als de calamiteitsituatie;
- Kruinpad en obstakelvrije zone zijn via de openbare weg bereikbaar en materiaal kan bij voorkeur doorrijden; zo niet dient een keerlus te worden toegepast.



2.8 Raakvlakken

Bij het ontwerp moet rekening worden gehouden met de volgende raakvlakken:

- Rivierkunde, voor de raakvlakken met rivierkunde wordt de redeneerlijn "buitendijks versterken" [ref 12] gevolgd;
- Diverse conditionerende onderzoeken;
- Herinrichting beeksystemen;
- Standaard faalkansverdeling en analyse drempelhoogte demontabele keringen;
- Eisen vanuit de legger waterkeringen
 - Kernzone: de kernzone betreft het nieuwe waterstaatswerk inclusief de beheerstrook van 2 m.
 - Beschermingszone: bij waterkeringen lager dan 1,0 m 10 m en anders 20 m;
 - Profiel van vrije ruimte: tweemaal beschermingszone, dus 20 of 40 m uit kernzone (niet in bebouwd gebied);
 - Buitenbeschermingszone: 125m uit kernzone.

2.9 SE/KES

Er bestaat een set (KES) eisen programmabreed. Daarnaast zijn er per project projectspecifieke eisen maar per project kan er ook (gemotiveerd) afwijken worden van de programmabrede eisen. Afwijken van eisen vereist een afstemming met de bron.

De ontwerper dient zich er bewust van te zijn dat hij/zij er verantwoordelijk voor is om de eisen uit de KES in het ontwerp te integreren.

De Systems engineering (SE) trekker en KES-beheerder/manager uit het IPM team zorgt ervoor dat alle SE-producten beschikbaar en actueel zijn. Te weten: functieboom en objectenboom, systeembeschrijving, Klant Eis Specificatie (KES) en trade of matrixen (TOM's) voor belangrijkste ontwerpkeuzes in de planstudie (onderdeel van ontwerpnota's).



3 Uitgangspunten geotechniek en dijk

De vigerende bovenliggende norm is het OI2014 [ref 2]. In beginsel dient hiervan uit te worden gegaan bij berekeningen tenzij in deze NVU een ander voorschrift is opgenomen of bij een bezwijkmechanisme specifiek naar een andere onderliggende norm wordt verwezen.

3.1 Op- en afritten

De waterkering moet zonder op- en afritten volledig zelfstandig waterkerend zijn. Aan de afrit mag dus niet de functie van steunbeer worden toegekend. Op- en afritten mogen ook geen negatief effect hebben op de stabiliteit van de waterkering. Ten aanzien van de bekleding maken de op- en afritten wel onderdeel uit van de dijk en dienen deze aan dezelfde bekledingseisen te voldoen als de rest van het dijklichaam.

3.2 Bodemgesteldheid

De vigerende normen voor het vaststellen van grondparameters zijn:

- Piping: Schematiseringshandleiding Piping [ref 8];
- Macrostabieliteit: Schematiseringshandleiding macrostabieliteit [ref 7], hoofdstuk 7, bijlage B4.5 en bijlage E;
- Eindige element methode (EEM berekeningen): [ref 18].

Indien een specifieke bodemopbouw blijkt uit boringen en/of sonderingen sterk afwijkt van de kenmerkende situatie in de Maasvallei, mag afgeweken worden van de parameters in deze paragraaf. De voorwaarde hierbij is dat er een sluitende geohydrologische c.q. geotechnische onderbouwing wordt gegeven op basis van TAW richtlijnen en/of ENW goedgekeurde publicaties.

3.2.1 Grondmechanische schematisatie

Over het algemeen is in de Maasvallei op maaiveldniveau een dunne (1 à 2 m) deklaag aanwezig van zandige klei behorende tot de Formatie van Beegden (met name in Roermond Alexanderhaven) of zijnde een Holocene afzetting. Deze kleilagen zijn over het algemeen relatief goed doorlatend en sterk gestructureerd door veelvuldige uitdroging. Lokaal is ook siltige klei aanwezig met dikwijls een antropogeen karakter, die een lagere doorlatendheid bezit. Boven de 15 kN/m³ stoofdroog volumegewicht is sprake van zandige klei en onder 15 kN/m³ is sprake van siltige klei.

Op de overgang van deklaag naar watervoerend pakket (alsmede in de deklaag) is in veel gevallen een fijnere zandlaag aanwezig behorende tot de Formatie van



Boxtel, Formatie van Beegden of zijnde een Holocene afzetting. Deze laag is potentieel pipinggevoelig.

Het relatief goed doorlatende watervoerend pakket bestaat uit overwegend grof zand en grind en in ieder geval het bovenste deel behoort tot de Formatie van Beegden. Daaronder kunnen de volgende grondlagen aanwezig zijn, afhankelijk van de ligging in de maasvallei (grofweg van noord naar zuid):

- Zand behorende tot de kiezeloöliet Formatie;
- Glauconiet houdende zand behorende tot de Formatie van Breda;
- Zand behorende tot de Formatie van Sterksel.

Zandige klei in de dijk en op andere plaatsen in het bodemprofiel vertoont veel gelijkenissen qua sterkteparameters. Alleen in de mate van overconsolidatie is een duidelijk verschil aanwezig.

Op basis van de begin 2020 beschikbare grondonderzoeken en gebiedskennis wordt de bodemopbouw vastgesteld voor de start van de planuitwerking. Gaandeweg de planuitwerking komt ook het nog uit te voeren uitgebreide grondonderzoek beschikbaar, wordt een geotechnisch lengteprofiel gemaakt en vindt een verificatie plaats.

De samenstelling van de aanwezige dijklichamen is veelal niet bekend.

3.2.2 Geotechnische parameters

Op basis van de schematiseringshandleidingen van Rijkswaterstaat, uitkomsten van POV piping en macrostabiliteit, de SOS, het uitgebreide veldonderzoek en laboratoriumonderzoek van IBM uit de periode 2017-2020 en gebiedskennis is een set met grondparameters vastgesteld. De parameters zijn vastgesteld voor geologische Formaties en derhalve toepasbaar binnen het hele plangebied "Noordelijke Maasvallei".

In Tabel 2 tot en met Tabel 9 zijn de sterkteparameters opgenomen en voor het vaststellen ervan, zijn de bevindingen in de rapportage grondgedrag aangehouden [ref 11] en het interpretatierapport [ref 17].

De verouderde proevenverzameling voor "De Zandmaas" [ref 1] wordt niet meer gebruikt maar is nog wel relevant als achtergronddocument en wordt daarom hier benoemd. In deze verouderde proevenverzameling is onder andere de fysische samenstelling (grofheid zandlagen) vastgesteld en de sterkte volgens het Mohr-Coulomb grondgedragmodel.



3.2.2.1 Dikte watervoerend pakket

Bij de start van de planuitwerking kan uitgegaan worden van de geologische opbouw zoals aangegeven in Tabel 2. **DE BOVENGRENS C.Q. DE MAXIMALE WAARDE IN DE LAATSTE KOLOM MOET ALS REKENWAARDE WORDEN GEHANTEERD IN DE PIPINGBEREKENINGEN.** Deze opbouw is afgeleid uit SOS, REGIS, Ibrahim en aangevuld met gebiedskennis. Tijdens de planuitwerking dient een detaillering te worden uitgevoerd op basis van lokaal grondonderzoek.

Tabel 2: geologische opbouw watervoerend pakket.

Normtraject		Bandbreedte dikte (m)							Maximale dikte (m)
		Holoceen	Boxtel	Beegden	Sterksel	Stamproy	Kiezeloöliet	Breda	
lob van Gennep	54.1	er wordt lokaal onderzoek uitgevoerd							
Nieuw Bergen	57.1	1,25	1,25	10 à 15			7,5	*	25
Well	60.1	1,25	1,25	10 à 15			7,5	*	25
Arcen	65.1	2,5		15			> 5	*	> 22,5
Steyl-Maashoek	68.1	1	1	3 à 15			*		15
Baarlo	70.1		2,5	10			*		12,5
Buggenum	75.1	2,5		7,5 à 15	7,5 à 15	*			30
Alexanderhaven	76.1	2,5		7,5 à 15	7,5 à 15	*			30
Thorn-Wessem	79.1	0 à 5		22,5	22,5	*			45

* = beschouwd als scheidende laag

3.2.2.2 Doorlatendheid zandlagen

In Tabel 3 zijn indicatieve waarden voor de doorlatendheid gegeven. Deze waarden zijn inzichten uit POV piping verkenning "Maasklei en grindlagen" [ref 6]. Voor het bepalen van de doorlatendheid van een samengesteld watervoerend pakket dient, conform de schematiseringshandleiding piping [ref 8], het gewogen gemiddelde te worden bepaald. Behalve wanneer de bovenste laag een hogere doorlatendheid heeft dan k_{eq} . In dat geval geldt de kD van de bovenste laag [ref 8].

$$k_{eq} = \frac{k_1 d_1 + k_2 d_2 + \dots k_n d_n}{d_1 + d_2 + \dots d_n}$$

Waarin:

k_{eq} : equivalente doorlatendheid [m/dag]

n : aantal lagen in watervoerend pakket

d : dikte laag [m]

k : doorlatendheid laag [m/dag]

VOOR PIPINGBEREKENINGEN MOET DE KARAKTERISTIEKE WAARDE VAN k_{eq} EN D70 WORDEN GEHANTEERD. Deze moet worden vastgesteld volgens het stappenplan in paragraaf 3.5.2 op pagina 34.



Tabel 3: indicatie gemiddelde doorlatendheid per Formatie.

Formatie	Holoceen	Boxtel	Beegden	Sterksel	Stamproy/ Kiezeloöliet	Breda
Doorlatendheid (m/dag)	15 à 20	10 à 15	75 à 175	25 à 65	10 à 15	<5

3.2.2.3 Zandgrofheid pipinggevoelige laag

Vanwege de veelvuldig voorkomende situatie van een deklaag van zandige klei op een dunne (< 1 m) laag van relatief fijn zand op een ondergrond van zand met grind, moet de Noordelijke Maasvallei als potentieel pipinggevoelig worden beschouwd.

Alleen wanneer de deklaag direct op grind ligt of sprake is van de combinatie kleine kerende hoogte ($< 1,5$ m) met dunne (< 1 m) goed doorlatende deklaag ($> 0,5$ m/dag), is er geen sprake van een pipinggevoelige opbouw. Lokaal komt deze opbouw voor. Hierbij wordt opgemerkt dat uit onderzoek van Deltares blijkt dat grindhoudend zand minimaal factor 1,8 sterker is, afgaande op uitgebreide proeven van Allen (2018). Grind is naar verwachting nog sterker maar dit kan niet met proefresultaten goed worden onderbouwd door verschillen in samenstelling (bron bijlage 3).

De d_{70} waarden zijn samengesteld uit meerdere onderzoeken die in de afgelopen jaren hebben plaatsgevonden in de Noordelijke Maasvallei. Ter informatie en voor de beeldvorming over de d_{70} per verschillende geologische formatie, zijn meerdere normtrajecten in Tabel 4 gerapporteerd. Van Roermond Willem Alexanderhaven is (nog) geen analyse van historische gegevens beschikbaar. Voor Steyl-Maashoek is vanwege de hoge ligging van het achterland piping niet bijzonder relevant. Zondig kunnen de gegevens van Venlo worden gebruikt.

Voor de variatie dient uitgegaan te worden van de bovengrens waarde die gegeven is in het WBI2017 van $v = 0,12$.



Tabel 4: indicatie gemiddelde d_{70} Noordelijke Maasvallei.

Bron grondonderzoek	Normtraject	Jaar	$d_{70;gem}$ Holocene (μm)	$d_{70;gem}$ Boxtel (μm)	$d_{70;gem}$ Beegden 1 (μm)	$d_{70;gem}$ Beegden 2 (μm)
Iob van Gennep	54.1	2011	er wordt lokaal onderzoek uitgevoerd			
HWBP - Nieuw Bergen	57.1	2019	390	380	n.v.t.	700
POV piping (Well)	60.1	2017	$294*1,3=380$	n.v.t.	n.v.t.	$391*1,3=510$
HWBP - Well	60.1	2017	n.v.t.	n.v.t.	430 (niet uitgesplitst)	
SOS - Arcen	65.1	2017	n.v.t.	230	310-330	550
SOS - Venlo	68.x	2017	n.v.t.	n.v.t.	260	400
Piping onderzoek (Venlo)	68.1	2013	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	390
Baarlo	70.1	2011	er wordt lokaal onderzoek uitgevoerd			
Piping onderzoek (Buggenum)	75.1	2013	340	n.v.t.	340	n.v.t.
POV piping (Thorn)	79.1	2017	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	$349*1,3=450$
Piping onderzoek (Thorn)	79.1	2013	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	425
Proevenverzameling Zandmaas	55 t/m 80	2011	$250*1,3=325$ (niet uitgesplitst)		$450*1,3=585$ (niet uitgesplitst)	

3.2.2.4 Critical state sterkte grondlagen

Van aanwezige Antropogene, Holocene en laat Pleistocene grondlagen zijn de sterkte eigenschappen bepaald.

De Formatie van Beegden bevat sedimenten die door de Maas zijn afgezet op de hogere rivierterassen, voordat het huidige Maasdal werd gevormd. In het huidige Maasdal zijn voornamelijk afzettingen aanwezig, die als Holocene worden aangemerkt.

Ten noorden van Gennep, waar de Niers in de Maas vloeit, worden sedimenten van de Maas tot de Formatie van Echteld gerekend. Dit omdat de Rijn in het Saalien-glaciaal via het Niersdal stroomde en er ten noorden hiervan ook materiaal aanwezig is dat door de Rijn werd aangevoerd. Voor parameters van deze klei wordt verwezen naar de schematiseringshandleiding macrostabiliteit.

Bijzonderheden over voorkomen van lagen:

- De siltige antropogene klei wordt met name in normtraject Heel aangetroffen, maar is ook aanwezig langs andere trajecten in de Maasvallei;
- De klei die tot de Formatie van Beegden wordt gerekend wordt voornamelijk in Roermond aangetroffen.



De sterkte parameters die in de berekening moeten worden toegepast staan in het navolgende overzicht. De opgegeven bandbreedte volgt uit de ondergrenswaarden van de schematiseringshandleiding macrostabiliteit [ref 7] en het interpretatierapport [ref 17].

De in Tabel 5 en Tabel 6 **blauw** gemarkeerde cellen zijn waarden, die vastgesteld zijn op basis van laboratoriumonderzoek op lokaal gestoken monsters. De overige waarden zijn standaard waarden.



Tabel 5: geotechnische sterkteparameters CSSM.

Grondlaag	Formatie	γ_{droog} (kN/m ³)	γ_{nat} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	S_{kar}	m_{kar} (-)	POP_{kar} (kPa)	$\phi'_{\text{cv;kar}}$ (°)
Zand dijk	antropogeen	n.v.t.	19,5	20,1	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	29,0
Klei dijk	antropogeen	16 à 17	19,5	20,1	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	30,5
Klei zandig	Holoceen	16 à 17	19,5	20,1	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	30,5
Klei siltig	antropogeen	13 à 15	17,8	18,6	0,24	0,89	12	n.v.t.
Klei	Beegden	proeven nog uit te voeren, uitgaan van standaard phi uit [ref 7]					50	29,9
Lokale beekdalafzettingen (veen)	Holoceen	n.v.t.	11	11	0,3	0,8	15	n.v.t.
Lokale beekdalafzettingen of opgevulde Maasmeanders (organische klei)	Holoceen	n.v.t.	14	14	0,22	0,8	10	n.v.t.
Zand, matig grof (hoekig zand)	Holoceen	n.v.t.	18	20	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	32,4
Zand, matig fijn (afgerond zand, windafzetting)	Boxtel	n.v.t.	17	19	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	28,6
Zand, grof / grind, fijn	Beegden	17,0	18,5	20,5	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	31,5 à 32,0 *

γ_{droog} = stoofdroog volumiek gewicht

γ_{nat} = veldvochtig volumiek gewicht

γ_{sat} = verzadigd volumiek gewicht

S_{kar} = ongedraineerde schuifsterkte ratio, karakteristieke waarde

m_{kar} = sterkte toename exponent, karakteristieke waarde

POP_{kar} = overconsolidatie, karakteristieke waarde

$\phi_{\text{cv;kar}}$ = hoek van inwendige wrijving, constant volume (eindrek / critical state dus $\psi = 0^\circ$) karakteristieke waarde

* in tegenstelling tot de verwachting is dat de $\phi_{\text{cv;kar}}$ van grindhoudend zand lager dan volgens de schematiseringshandleiding [ref 7]



3.2.2.5 Samendrukkingsparameters

De klei in het projectgebied dient door de sterke mate van uitdroging onder dagelijkse omstandigheden te worden gezien als vaste klei. De variatiecoëfficiënt van de isotachenparameters bedraagt 0,4 en van de waarde van pre overburden pressure 0,25. De parameters in Tabel 6 zijn ontleend aan het interpretatierapport [ref 17].

Tabel 6: isotachen parameters.

grondsoort	A (-)	B (-)	C (-)	POP (kPa)
klei in de dijk (antropogeen)	2,5E-03	3,0E-02	6,0E-04	35
zandige klei deklaag (Holoceen)	2,5E-03	3,0E-02	6,0E-04	15
zandige klei deklaag (Beegden)	2,5E-03	3,0E-02	6,0E-04	50
siltige klei (veelal antropogeen)	4,0E-03	4,2E-02	1,3E-03	variabel

Waarin:

A,B,C = isotachen samendrukkingsparameters

POP = pre overburden pressure

3.2.2.6 EEM parameters

Voor de grondparameters dient te worden uitgegaan van navolgende tabellen. De grondlaagopbouw dient te worden bepaald uit het lokaal beschikbare grondonderzoek. Het volume gewicht en de hoek van inwendige wrijving dienen te worden afgeleid uit Tabel 5.

Het is toegestaan om in afwijking van de critical state theorie enige cohesie aan oppervlakkige lagen (maximaal 2 kPa) of zandlagen (maximaal 0,5 kPa) toe te kennen om numerieke instabiliteit op te lossen.

In verband met opbarsten dient in Plaxis de opgebarsten cohesieve laag weg te worden gelaten uit de schematisatie. Voor de stijfheidsparameters (λ^* en κ^*) geldt een variatiecoëfficiënt van 0,4 en voor de m-waarde en de sterkteparameters (α , G en γ_f) een variatiecoëfficiënt van 0,1. De stijfheidsparameters voor het hardening soil model zijn gebaseerd op expert judgement en correlaties met sonderingen. Het betreffen derhalve richtwaarden die op basis van lokaal beschikbare sonderingen geverifieerd moeten worden.

Tabel 7: geotechnische parameters Soft Soil model.

grondsoort	λ^* (-)	κ^* (-)
klei in de dijk (antropogeen)	0,026	0,005
zandige klei deklaag (Holoceen)	0,026	0,005
klei (Beegden)	0,026	0,005
siltige klei (veelal antropogeen)	0,030	0,006

Waarin:

λ^* = gemodificeerde samendrukkingsindex

κ^* = gemodificeerde zwelindex



Tabel 8: geotechnische parameters Hardening Soil model.

grondsoort	E_{50} (kPa)	E_{oed} (kPa)	E_{ur} (kPa)	m (-)
fijn zand (fluviatiel Beegden of Holoceen)	15.000	15.000	45.000	0,5
fijn zand (eolisch Boxtel)	30.000	30.000	90.000	0,5
grindhoudend zand (Beegden)	15.000	15.000	45.000	0,5

Waarin:

E_{50} = secant stijfheid in standaard gedraineerde triaxiaalproef

E_{oed} = tangent stijfheid in samendrukkingsproef

E_{ur} = stijfheid bij ontlasten/herbelasten

m = mate van spanningsafhankelijkheid van de stijfheid

Tabel 9: geotechnische parameters SHANSEP, NGI-ADP model.

grondsoort	a (-)	m (-)	G/s_u^A (-)	γ_f^C (%)	γ_f^{DSS} (%)	γ_f^E (%)
siltige klei (veelal antropogeen)	0,24	0,89	100	5	7,5	10

Waarin:

a = Normaal geconsolideerde ongedraineerde schuifsterkte ratio (=S)

m = mate van spanningsafhankelijkheid van de stijfheid

G/s_u^A = Proportionaliteitsratio (glijdingsmodulus en ongedraineerde schuifsterkte)

γ_f^C = Bezwijkrek in triaxiaal compressie

γ_f^{DSS} = Bezwijkrek in direct simple shear

γ_f^E = Bezwijkrek in triaxiaal extensie

3.3 Freatische lijn en potentiaalberekening

De vigerende norm is het Technisch Rapport Waterspanningen bij dijken TRWD [ref 5]. In beginsel dient hiervan uit te worden gegaan bij berekeningen tenzij in deze NVU een ander voorschrift is opgenomen.

3.3.1 Freatische lijn

Er zijn geen (peilbuis)metingen van de freatische lijn in de dijk beschikbaar, omdat er pas bij grote herhalingsstijden ($T > 25$ jaar) zoveel water tegen het buitentalud aan staat, dat een gebiedsdekkend meetresultaat ontstaat.

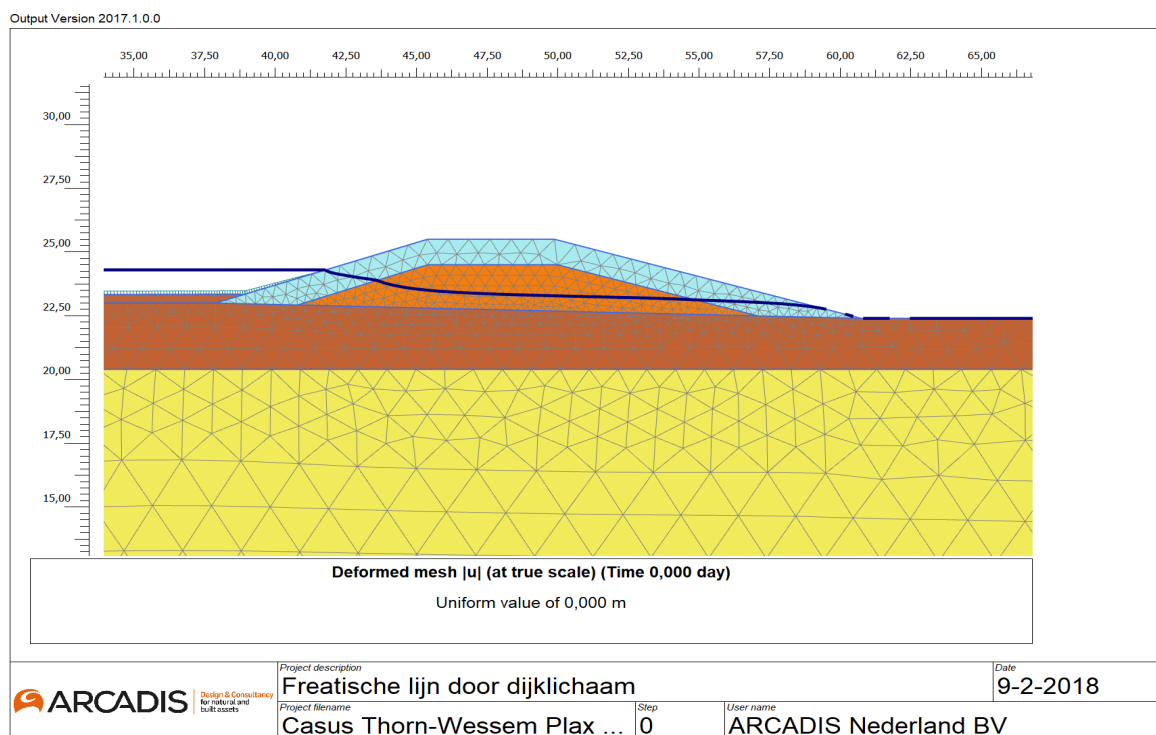
3.3.1.1 WBN zonder overslag

Voor de freatische lijn is een Plaxflow analyse uitgevoerd met doorlatendheid parameters die aansluiten bij de POV piping (Tabel 10). Realistische variaties in de te hanteren parameters leiden niet tot substantiële verschillen. Het berekende resultaat is weergegeven in Figuur 3. Het berekeningsresultaat sluit goed aan bij het TRWD [ref 5]. Aan de hand van deze berekening wordt een schematisatie gehanteerd zoals gepresenteerd in Figuur 4.

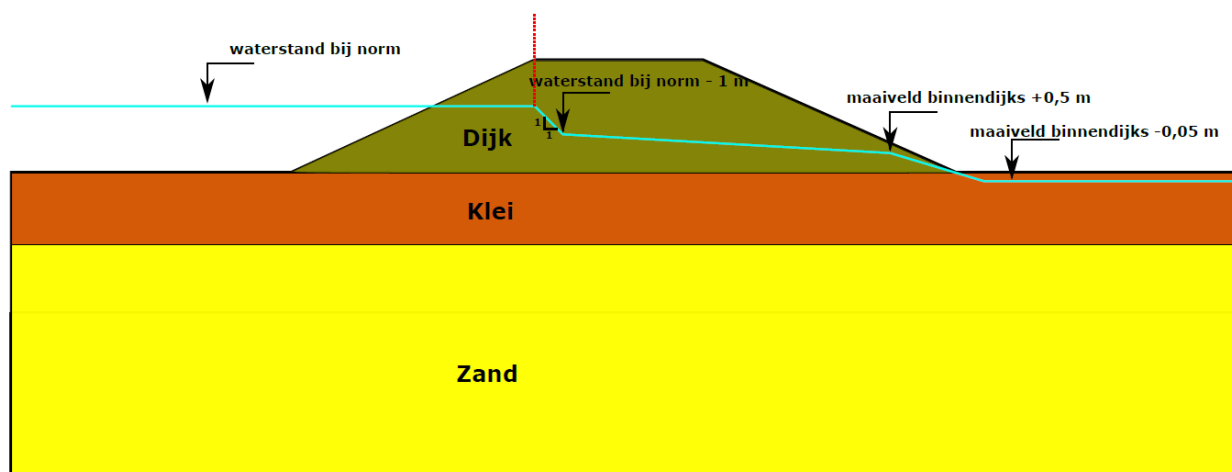


Tabel 10: gehanteerde parameters Plaxflow analyse.

Grondsoort	Doorlatendheid [m/dag]
Dijkmateriaal(kern)	0,25
Dijkmateriaal (gestructureerd)	1
Klei deklaag	0,5
Zand	100 (geldt alleen voor onderhavig voorbeeld)



Figuur 3: freatische lijn door dijklichaam Plaxflow bij STBI.



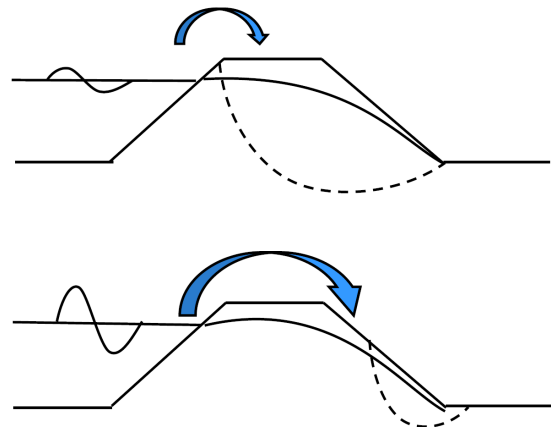
Figuur 4: schematisatie freatische lijn bij STBI.



3.3.1.2 WBN met overslag

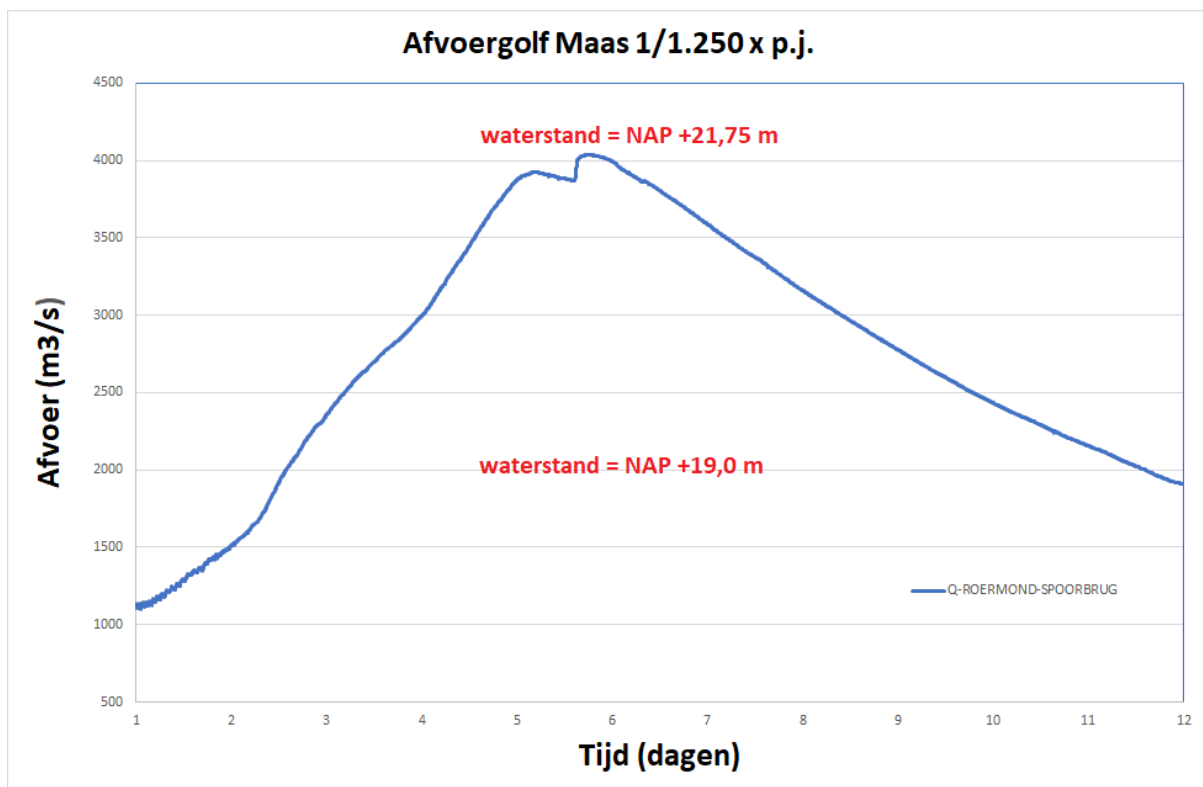
Doordat het mogelijk is om met een groot overslagdebiet ($q > 5 \text{ l/s/m}$) te ontwerpen, moet rekening worden gehouden met een extra belastinggeval, van een (bijna) verzadigd dijklichaam bij beschouwing van macrostabiliteit binnenwaarts.

Voor schematisatie van de freatische lijn dient de methode in de KPR factsheet [ref 16] te worden gebruikt (zie schets hier rechts).



3.3.1.3 bij val vanaf WBN

Uit de analyse van de afvoergolf (Figuur 5) blijkt dat het water tot WBN stijgt in circa 3 dagen tijd vanaf een vaker voorkomend hoogwater (circa $2.000 \text{ m}^3/\text{s} \approx 1/5 \text{ à } 1/10 \times \text{p.j.}$). De val gaat ongeveer tweemaal zo traag en duurt 6 dagen. De bijbehorende waterstanden, die stroomafwaarts van Roermond afvlakken, zijn NAP +21,75 m en NAP +19,0 m.

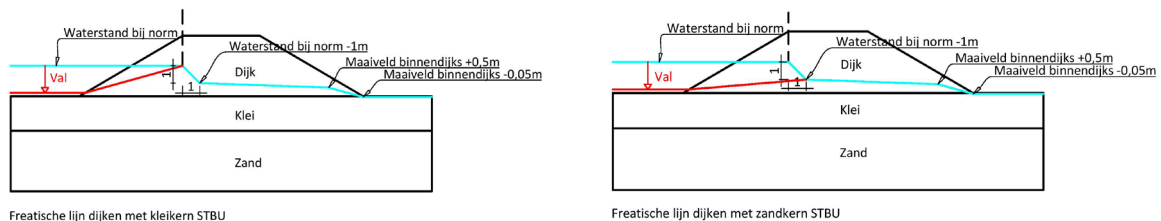


Figuur 5: afvoergolf Roermond spoorbrug (1/1.250 x p.j.).

Gelet op het voorgaande wordt het verantwoord geacht om in een stationaire situatie te rekenen met een val van 2,75 m, waarbij in dijken met een zandkern 1 m val wordt meegenomen. Uiteraard volgt in dijken met een kleikern de



freatische lijn het buitentalud (min of meer) vanaf WBN tot WBN -2,75 m. Het aanhouden van een gedeelte van de val in dijken met een zandkern (hier aangenomen op 1 m) is een vuistregel die door verschillende adviesbureaus wordt aangehouden. Hieraan ligt geen norm ten grondslag; het is expert judgement.



Figuur 6: schematisatie freatische lijn STBU (links=kleikern / rechts=zandkern).

3.3.1.4 Bij strijken stuw

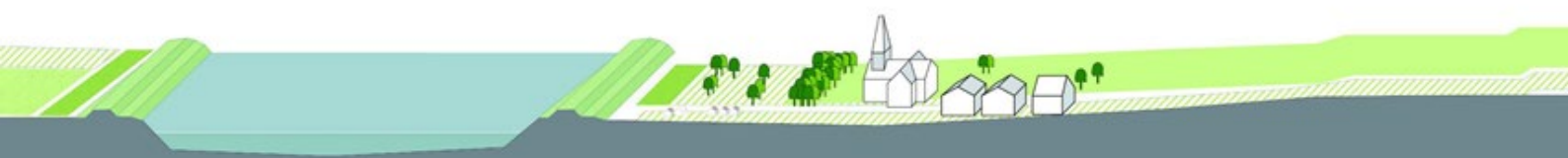
Wanneer een stuw wordt gestreken vanwege ijsgang of wordt aangevaren (zoals het geval was in 2017 bij Grave), daalt de waterstand snel enkele meters in het bovenstroomse pand. Voor langsconstructies en schaar dijken kan dit belastinggeval maatgevend zijn en daarom dient een berekening te worden gemaakt met (gereduceerde) veiligheidsfactoren (bijvoorbeeld schematiseringsfactor = 1,0 en schadefactor = 1,0) die recht doen aan het soort situatie, namelijk een calamiteit. De maatgevende waterstand (laagwater) in die berekening betreft het stuwpeil benedenstrooms van de te strijken stuw (zie Tabel 11).

Tabel 11: indicatie stuwpeilen Maas.

stuw	Thorn	Roermond	Belfeld	Sambeek	Grave	Lith
peil bovenstrooms (m +NAP)	20,7	16,7	14,0	11,1	7,85	4,85

3.3.1.5 Bij extreme neerslag

Vaak ligt het stuwpeil enkele meters lager dan het maaiveld, waardoor er geen sprake is van opbolling van de grondwaterstand in het dijklichaam zelf (wel in de diepere lagen onder de dijk). Bij extreme neerslag zal de grondwaterstand in het dijklichaam daardoor niet stijgen, tenzij sprake is van een voor de regio "buitengewoon" laag maaiveld (op stuwpeil + 1 m of lager). In de situatie met "buitengewoon" laag maaiveld dient de opbolling van de freatische lijn door extreme neerslag te worden bepaald conform TRWD [ref 5].



3.3.1.6 Bij drainage van de binnenteen

Een drainage nabij de binnenteen kan een maatregel betreffen tegen microstabiliteit of tegen piping. In beide gevallen dient het effect van de drainage op de freatische lijn en stijghoogte met grondwaterstromingsberekening te worden bepaald (zie stroomschema Figuur 4.15 in Publicatie "Drainagetechnieken" [POV, mei 2018]) of met de volgende vuistregels te worden ingeschat:

- Drainage in binnenteen: de freatische lijn bij de binnenteen is gelijk aan maaiveldniveau (onder de kruin verandert deze niet) en de stijghoogte blijft ongewijzigd;
- Drainage- en filterconstructie in achterland tegen piping: de freatische lijn in het dijklichaam blijft ongewijzigd en de potentiaal in de zandondergrond neemt bij de binnenteen met 50% af ten opzichte van de berekende potentiaal zonder drainagefilter (bij de buitenteen verandert deze niet).

3.3.2 Potentialen

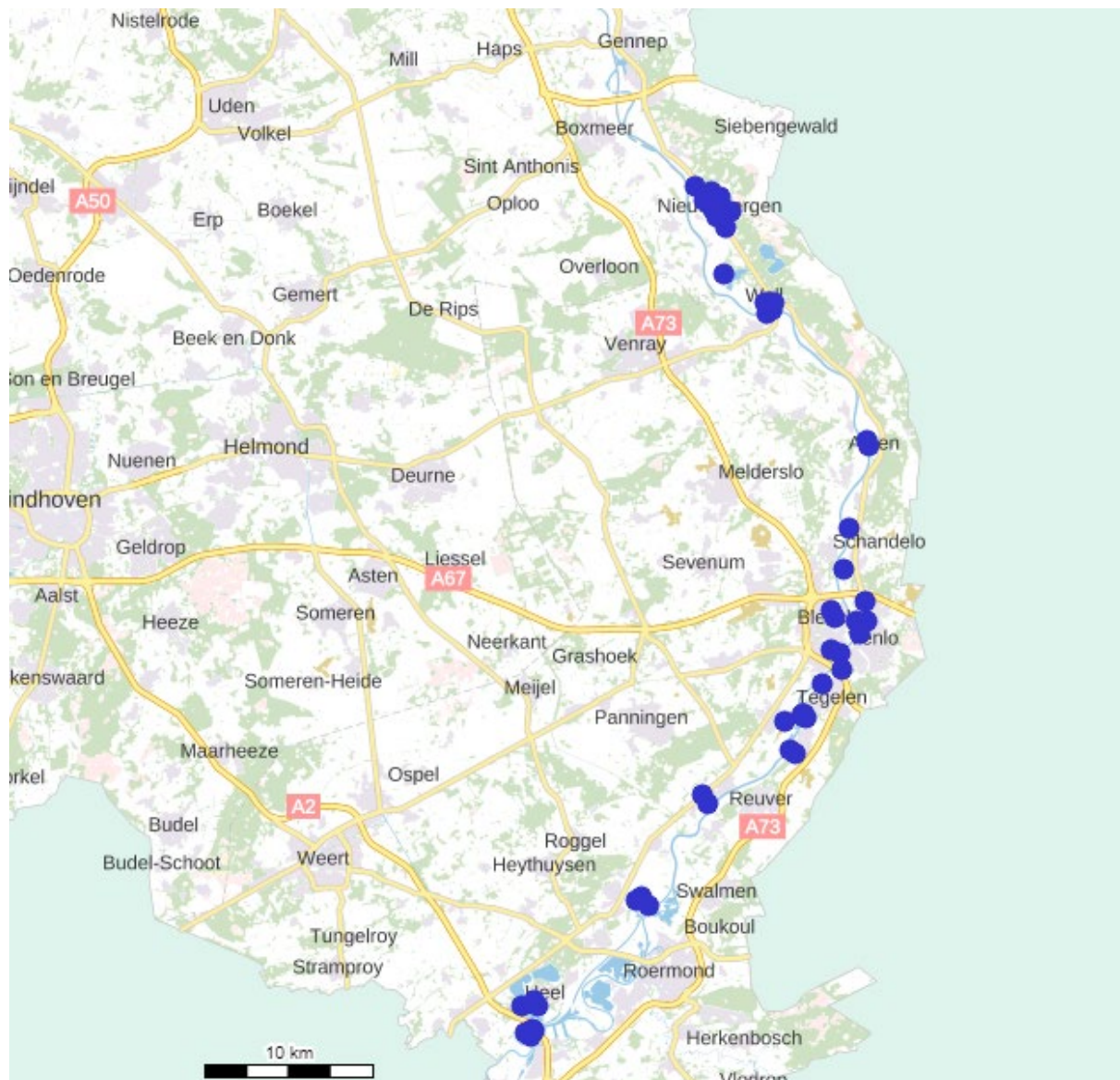
Het stijghoogteverloop in het watervoerend pakket wordt per doorsnede berekend met analytische formules (tenzij metingen beschikbaar zijn), waarbij het volgende geldt:

- kD op basis van POV piping of, indien aanwezig, lokaal onderzoek en met als terugvaloptie DINOlaket;
- Dikte deklaag op basis van lokaal onderzoek;
- Weerstand deklaag inschatten op basis van classificatie, zandige klei: 0,1 – 1 m/dag;
- Waterstand bij norm op basis van §2.3.

Indien metingen beschikbaar (zie Figuur 6) zijn dienen de waterspanningsmodelleringen van de dijk gecontroleerd te worden op basis van waterspanningsmetingen en peilbuismetingen. Naast de metingen van het programma Noordelijke Maasvallei zijn er in het beheerregister van WL lange meetreeksen beschikbaar (onder andere Thorn en Buggenum).

Voor stijghoogtebepaling in ruimtelijke knelpuntsituaties bij de dijk dient gebruik gemaakt te worden van het YBRAHIM-model van WL.





Figuur 7: meetlocaties stijghoogte.

3.4 Macrostabieleit (STBI - STBU)

De vigerende norm is de schematiseringshandleiding macrostabieleit [ref 7]. In beginsel dient hiervan uit te worden gegaan bij berekeningen tenzij in deze NVU een ander voorschrift is opgenomen.

3.4.1 Uitvoeringsfase en eindfase

In een opgesteld memo door Deltares [ref 13] wordt gesteld dat de faalkans voor macrostabieleit in de uitvoeringsfase groter is dan in de eindfase door overhoogte en wateroverspanningen in de ondergrond. Hierin wordt gesteld dat de waterkering 4 jaar na oplevering aan de faalkans zoals vastgelegd in de waterwet moet voldoen.



Voor de situatie in Limburg, waar voornamelijk zandige ondergronden in combinatie met gestructureerde klei voorkomen is deze periode voldoende lang om tot de eindsterkte van de dijk te komen. Door dit gegeven wordt enkel ontworpen op de eindfase.

3.4.2 Berekening

Voor elk normtraject dient op basis van al het lokaal beschikbare grondonderzoek het lengteprofiel met laagdiktes – en indien mogelijk ook de grondparameters – het ontwerp verfijnd te worden. Daarvoor is het onderstaande stappenplan ontwikkeld (zie ook ref 11 voor de uitgebreide versie):

Stap	Omschrijving
1	Opstellen sectie indeling binnen normtraject op basis van topografie, geometrie en bodemopbouw
2	Berekenen karakteristieke sterkte parameters uit triaxiaalproeven en indien niet beschikbaar hanteer de standaardwaarden in Tabel 5 op pagina 21
3	Toekennen van sterkte parameters aan grondsoorten met behulp van geotechnische lengteprofielen en/of lokaal onderzoek
4	Berekening van macrostabiliteit per sectie (met navolgende uitgangspunten), met als uitkomst de stabiliteitsfactor

3.4.2.1 Grondgedrag, glijvlakmodel en schematisatie

In de planfase worden bij de berekeningen de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Er wordt gerekend conform CSSM-model met SHANSEP implementatie. Voor de zandige (klei)lagen wordt gedraineerd grondgedrag verondersteld en voor siltige en/of humeuze lagen ongedraineerd gedrag (zie verder [ref 17]);
- Conform OI2014 worden berekening uitgevoerd met het UpliftVan model, ter verificatie van de uitkomst dienen ook berekeningen met het Bishop en Spencer van der Meij model gemaakt te worden;
- Bij opbarsten van de deklaag worden de sterkteparameters gereduceerd ($S_{kar} = 0$ of $\varphi'_{cv;kar} = 0^\circ$):
 - Als grens voor opbarsten wordt de werkwijze volgens het OI2014 gehanteerd. In de stabiliteitsberekeningen wordt altijd een fysisch mogelijk scenario geschematiseerd;
 - Indien de opbarstfactor zodanig is dat volgens het OI2014 met opbarsten rekening gehouden moet worden, dan wordt de grenswaterspanning geschematiseerd;
- Een freatische lijn in de dijk en potentiaal in de ondergrond, zoals aangegeven in §3.3 op pagina 23.



3.4.2.2 Verkeersbelasting

De KPR factsheet verkeersbelasting en macrostabiliteit van 28 juli 2016 (versie 2) is de vigerende norm. Bij gebruik van deze factsheet gelden de volgende uitgangspunten:

- De schadefactor is afhankelijk van de norm en niet van een bepaalde keuze van de verkeersbelasting.
- Er zijn uiteenlopende combinaties van buitenwaterstand en verkeersbelasting mogelijk. Er moet rekening worden gehouden met de waarschijnlijkheid van deze combinaties.
- Er moet bij hoge buitenwaterstanden rekening worden gehouden met realistische verkeersbelastingen die gerelateerd zijn aan de uitvoering van herstelwerkzaamheden, in combinatie met hydraulische condities waarbij herstelwerkzaamheden reëel/voorstelbaar zijn.

Uitgangspunten voor berekening (zie bijlage 4 voor onderbouwing):

- Bij berekening in de uiterste grenstoestand (UGT) wordt:
 - Als er alleen een inspectie of onderhoudspad op de dijk ligt een belasting aangehouden van 4 kN/m^2 over 2,5 m breedte (spreiding onder 2:1 ofwel 26°). Dit zijn drie lichte inspectie voertuigen achter elkaar over 50 strekkende meter lengte ($3 \times 1 \text{ kPa}$) met mensen eromheen en zandzakken (1 kPa);
 - Als een weg op de dijk ligt die dient als evacuatie route een belasting aangehouden van $13,3 \text{ kN/m}^2$ over 2,5 m breedte (spreiding onder 2:1 ofwel 26°).
- Bij berekening in de bruikbaarheidstoestand (BGT) wordt wel verkeersbelasting geschematiseerd van $13,3 \text{ kN/m}^2$ over een breedte van 2,5 m (spreiding onder 2:1 ofwel 26°) **BIJ EEN WATERSTAND VAN WBN-0,5 M.**
- De aanpassing van de wateroverspanning is in zandlagen 100%, in zandige klei (in de dijk of deklaag) 30% en in ongedraineerd reagerende lagen (siltige klei of veen) 10%.



3.4.3 Veiligheidseis

Uitkomsten van stabiliteitsberekening worden getoetst aan stabiliteitsfactoren die worden bepaald met de volgende formule:

$$\text{Stabiliteitsfactor} = SF \geq \gamma_n * \gamma_d * \gamma_b \text{ [ref 2]}$$

Waarin:

SF = de stabiliteitsfactor die volgt uit de berekening

γ_n = schade factor conform formule 5.3 uit OI2014 (in Bijlage A uit OI2014 staan deze ook gegeven voor een in dezelfde bijlage vermeldde lengte van het normtraject)

γ_d = model factor van 1,11 (Bishop) of 1,06 (UpliftVan) of 1,07 (Spencer – Van der Meij)

γ_b = een schematiseringsfactor, uit te werken per normtraject

Voor de planuitwerking dienen de schade factoren op basis van de actuele lengte van het normtraject te worden bepaald conform formule 5.3 uit het OI2014. De lengte kan per variant verschillen en ook de lengte van de aansluitingen op hoge grond speelt daarbij een rol. Daarom zijn de factoren hier bewust niet opgenomen in een tabel of overzicht.

Voor een kans op een overstroming gegeven buitenwaarts macrostabiliteitsverlies dient een waarde van 0,1 aangehouden conform het Addendum Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies [ref 4]. Dit is tevens conform WBI.

3.4.4 Macrostabiliteit bij overslag (STBI|q)

Bij beschouwing van macrostabiliteit binnenwaarts, moet rekening worden gehouden met een extra belastinggeval van een (bijna) verzadigd dijklichaam. De KPR factsheet [ref 16] moet gebruikt worden om te ontwerpen. Hierin is uiteengezet hoe de freatische lijn geschematiseerd moet worden en welke stabiliteitseis gehanteerd moet worden.

3.4.5 Macrostabiliteit bij aardbevingen

Aardebevingen zijn relevant voor zettingsvloeiing en moeten bij de beschouwing van alleen dat mechanisme als belasting in de berekeningen worden meegenomen. EC8:1998-5 4.1.3.3(5) is de vigerende norm (hierna EC8).

In een pseudo-statische analyse mag conform EC8 een horizontale versnelling gelijk aan 50% van de PGA gehanteerd worden. Derhalve wordt 0,05g gehanteerd, met als onderbouwing een waarde van 0,10g behorend bij de Mercallischaal VII (herhalingstijd van 5000 jaar), zie Tabel 13 uit EC8 hieronder.

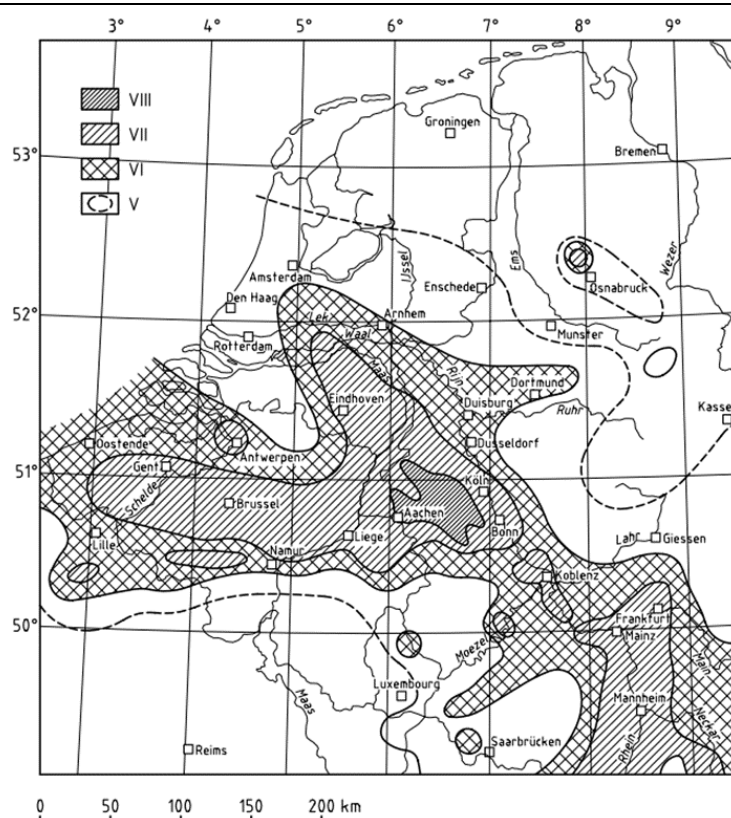
Daarnaast dient conform EC8 nog een verticale versnelling in rekening te worden gebracht gelijk aan 2/3^e van de horizontale.



Op grond van de wettelijke regelingen is toetsing van bouwconstructies op het kunnen doorstaan van aardbevingsbelastingen niet vereist. Deze norm specificeert, mede daarom, geen representatieve waarden van aardbevingsbelastingen op bouwconstructies. Indien bij toetsing van de bouwconstructie een aardbevingsbelasting wordt voorgeschreven wordt als leidraad aanbevolen de horizontale versnelling van de ondergrond voor gebieden waarin aardbevingen kunnen voorkomen te ontleenen aan figuur 14. De in rekening te brengen verticale versnellingen zijn 2/3 maal de horizontale versnellingen zoals aangegeven in tabel 13. Voor de bepaling van de aardbevingsbelastingen op constructies wordt verwezen naar NEN-EN 1998-1.

Tabel 13 — Horizontale versnellingen en daarmee gepaard gaande verschijnselen tijdens aardbevingen van verschillende intensiteiten volgens de Modified Mercalli Scale (1931)

Intensiteit	Omschrijving	Versnelling m/s ²
VIII	Vernielend; paniek; algemeen schade aan gebouwen; zwakke bouwwerken gedeeltelijk vernield	2
VII	Zeer sterk; schade aan vele gebouwen; schoorstenen breken af; golven in vijvers; kerkklokken geven geluid	1
VI	Sterk; schrikreacties; voorwerpen in huis vallen om; bomen bewegen; weinig-solide huizen worden beschadigd	0,5
V	Vrij sterk; algemeen gevoeld; opgehangen voorwerpen slingeren; klokken blijven stilstaan	0,2
IV	Matig; door velen gevoeld; trilling als van zwaar verkeer; rammelen van ramen en deuren	0,1
III	Licht; door enkele personen gevoeld; trilling als van voorbijgaand verkeer	0,05
II	Zeer licht; slechts onder gunstige omstandigheden gevoeld	0,02
I	Alleen door seismografen geregistreerd	0,01



Figuur 14 — Aardbevingsgevoelige gebieden in Nederland en de omliggende gebieden

De kaart van figuur 14 is ontleend aan *Proceedings of the ESC symposium on earthquake risk for nuclear power plants*, KNMI-publicatie nr. 153. De vermelde intensiteit heeft een herhalingsijd van ca. 5 000 jaar.

3.5 Piping en heave (STPH)

De vigerende norm is de schematiseringshandleiding piping [ref 8]. In beginsel dient hiervan uit te worden gegaan bij berekeningen tenzij in deze NVU een ander voorschrift is opgenomen.

Er wordt voldaan aan de eisen ten aanzien van piping (opbarsten, heave en terugschrijdende erosie) als:

1. Er geen pipinggevoelige grondopbouw aanwezig is (bijvoorbeeld zand op zand of bij gelijkmatige kwel in plaats van opbarsten);
2. De deklaag niet opbarst (door combinatie van grote dikte en/of hoog volumegewicht);
3. Het verval over het opbarstkanaal voldoende klein is om heave te voorkomen;
4. Er voldoende (horizontale) kwelweglengte aanwezig is om terugschrijdende erosie te voorkomen (maximaal éénmaal dijkbreedte in voorland meerekenen), zie bijlage E van [ref 8].

3.5.1 Werkwijze piping

Voor de werkwijze ten aanzien van piping is een voor dit project een protocol opgesteld. Deze is te vinden in Figuur 7. Bij het protocol gelden bepaalde instructies die zijn vastgelegd in [ref 15]. Op hoofdlijnen zijn deze instructie het volgende.

- Het werkprotocol piping is gebaseerd op een aantal werkhypotheses en uitgangspunten op basis van de informatie zoals die begin 2018 bekend is.
- Het werkprotocol piping is bedoeld voor technisch-specialistische ontwerpers. De ontwerper dient 'zijn wandel door het werkprotocol' altijd te controleren door detailberekeningen en (kosten)afwegingen die in het ontwerpproces van het detailontwerp plaatsvinden.
- Piping treedt niet op wanneer de ondergrond bestaat uit een deklaag van klei op grind.
- Piping treedt niet op wanneer de deklaag circa 1 m dik is, de doorlatendheid van de deklaag groter is dan circa 0,5 m/dag en het verval kleiner is dan circa 1,5 m.

Voor de kerende hoogte van grondconstructies geldt in de basis:

- ΔH aanwezig = waterstand bij norm – binnendijks maaiveld (geen plas > 1 dm op maaiveld rekenen).

Voor de volledigheid wordt nog vermeld dat bij een dijk met geringe hoogte (1,0 à 1,5 m hoog) de kleibekleding ertoe leidt dat de dijk in zijn geheel is opgebouwd uit klei. Als er geen deklaag aanwezig is kan er in dit geval geen



sprake zijn van zand op zand, aangezien piping direct onder de dijkzate kan optreden.

3.5.2 Berekening

In een pipingberekening voor een oplossing geheel in grond (horizontale kwelweg) dient conform het OI2014 het aangepaste rekenmodel van Sellmeijer gehanteerd te worden. Afhankelijk van de benodigde en aanwezige kwelweg wordt er gekozen voor een grondoplossing, verticale oplossing of maatwerkoplossing. Het pipingprotocol trechtert naar de juiste oplossing.

Voor de afmetingen van de oplossing in grond (pipingberm of voorlandverbetering) vindt aanscherping plaats op basis van:

- Lengte aanwezige kwelweg op basis van profielen vanuit het hoogtemodel (meeste recente AHN of DTM) en geotechnisch en/of geofysisch onderzoek in het voorland;
- Kerende hoogte op basis van maaiveldhoogte in hoogtemodel en indien een sloot aanwezig is een waterpeil gelijk maaiveld;
- d_{70} , op basis van Tabel 4 in VO en uit lokaal grondonderzoek in DO;

Dikte en doorlatendheid zandlaag, op basis van:

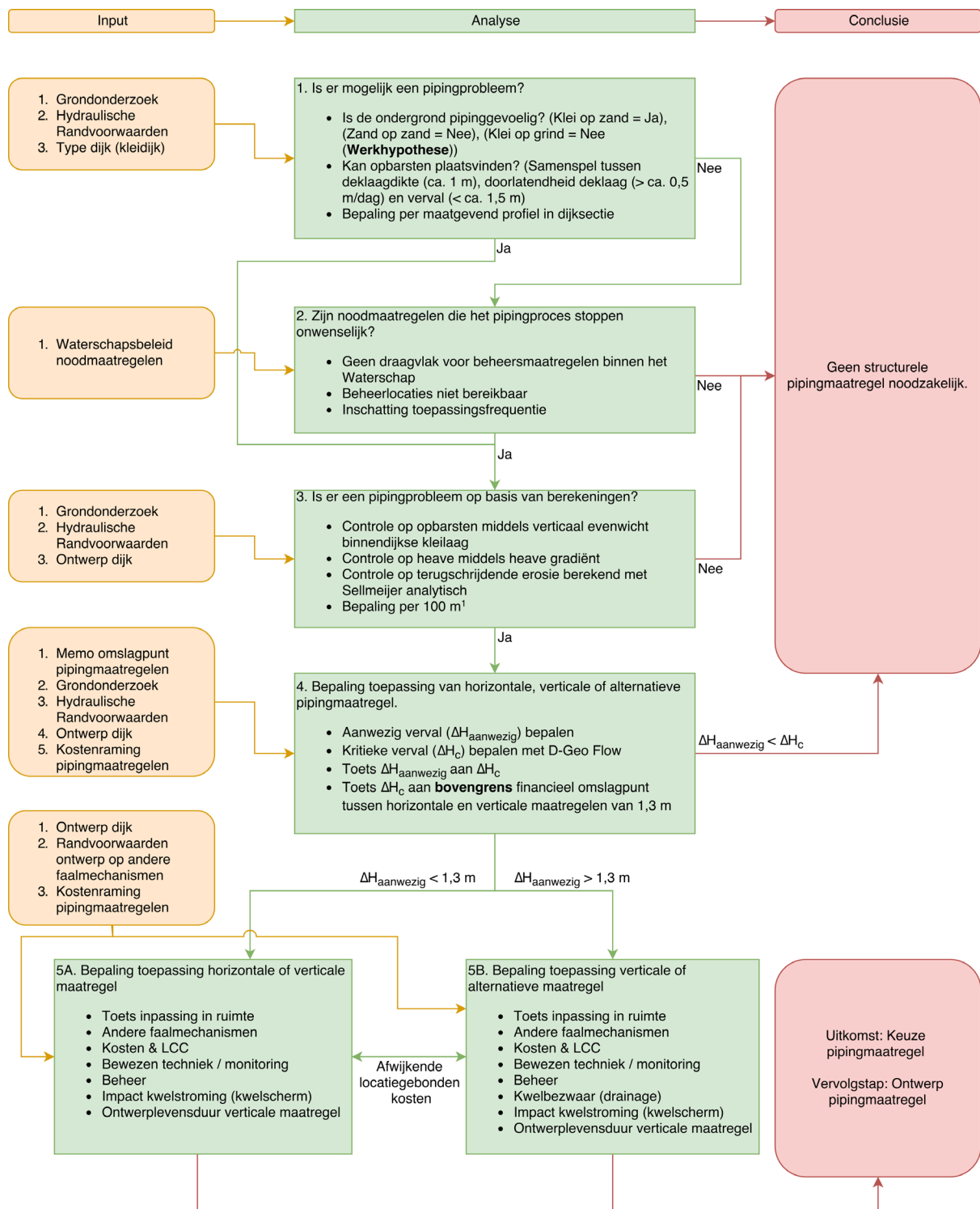
- Tabel 2 en Tabel 3 in VO en uit lokaal grondonderzoek in DO;
- Dikte deklaag op basis van beschikbaar grondonderzoek;
- Berekening van de stijghoogte met grondwaterstromingsmodel (bij voorkeur gekalibreerd aan stijghoogte-responsmetingen) voor bepalen van verhang over verticale constructie;
- Schematiseringsfactor te bepalen per normtraject.

Afhankelijk van het benodigde detailniveau in het ontwerp (bijvoorbeeld VO+ of DO) worden de pipingberekeningen gemaakt met analytische formules of eindige elementen modellen, zoals D-Geo Flow.

Voor elk normtraject dient op basis van al het lokaal beschikbare grondonderzoek het lengteprofiel met laagdiktes – en indienen mogelijk ook de grondparameters – het ontwerp verfijnd te worden. Daarvoor is het navolgende stappenplan ontwikkeld (zie ook ref 14 voor de uitgebreide versie):

Stap	Omschrijving
1	Opstellen sectie indeling binnen normtraject op basis van topografie, geometrie en bodemopbouw
2	Berekenen karakteristieke waarden parameters piping (d_{70} en kD) per normtraject uitgaande van variatie gelijk aan $v = 0,12$ (voor d_{70} , zie Tabel 4)
3	Toekennen van d_{70} waardes aan grondsoorten met behulp van rapport "parameters piping VO+" en/of lokaal onderzoek
4	Berekening van piping per sectie, met als uitkomst grootte van het kwelwegtekort





Figuur 8: pipingprotocol.



3.5.3 Veiligheidseis

Uitkomsten van pipingberekeningen worden getoetst aan de eis, die wordt bepaald aan de hand van de volgende formule:

$$\text{Pipingfactor} = SF \geq \gamma_{\text{deelmechanisme}} * \gamma_b$$

Waarin:

SF = de veiligheidsfactor die volgt uit de berekening

$\gamma_{\text{deelmechanisme}}$ = partiële factor conform formule 4.5, 4.9 en 4.12 uit OI2014 [ref 2]

γ_b = een schematiseringsfactor, uit te werken per normtraject en deelmechanisme

Voor de planuitwerking dient de pipingfactor op basis van de actuele lengte van het normtraject te worden bepaald conform formule 4.5, 4.9 en 4.12 uit OI2014 [ref 2]. De lengte van het normtraject kan per variant verschillen en ook de lengte van de aansluitingen op hoge grond speelt daarbij een rol. Daarom zijn de factoren hier bewust niet opgenomen in een tabel of overzicht.

3.6 Voorland

De vigerende normen zijn in deze paragraaf per subparagraaf gespecificeerd.

3.6.1 Erosiebestendigheid oevers (VLAf en VLGA)

De vigerende norm is The Rock Manual in combinatie met de Handreiking Dijkbekledingen, deel 4 - Breuksteen bekledingen.

Bij schaaldijken, of een waterkering dicht bij de oever van de rivier, kan de erosiebestendigheid van de oever een rol spelen. Voor al deze locaties dient de noodzaak van een oeerverdediging na te worden gegaan en zonodig ontworpen te worden. Hierbij kan gedacht worden aan bijvoorbeeld: een kraagstuk van geotextiel en wiepen, dat met een kopschot wordt bevestigd op de oever en vervolgens afgestort wordt met een 750 kg/m² breuksteen. De sortering van de breuksteen dient in het DO uitgedetailleerd te worden.

3.6.2 Zettingsvloeiing (VLZV)

De vigerende norm is CUR113, CUR152 en de schematiseringshandleiding Zettingsvloeiing [ref 10].

Met het lokaal uitgevoerde grondonderzoek (bestaande uit: slagsonderingen, machinale boringen en bathymetrie metingen) dient te worden bepaald of zettingsvloeiing op kan treden. En zo ja, dan dient een maatregel te worden ontworpen.



Vertrekpunt is dat zettingsvloeiing niet op kan treden in de Noordelijke Maasvallei. De grove en vastgepakte zanden in de Maasvallei geven geen aanleiding om zettingsvloeiing te verwachten, tenzij sprake is van een antropogene aanvulling. Hierop dient een toets plaats te vinden met bijvoorbeeld oude topografische kaarten.

3.6.2.1 Relatieve dichtheid

De relatieve dichtheid wordt bepaald middels de empirische relatie van Baldi volgens de volgende formule (bron [ref 11]).

$$R_e = A \cdot \ln \left[\frac{q_c}{B(\sigma'_{v0})^C} \right]$$

Waarin A, B en C bedragen (bron [ref 11]):

	A	B	C
[Schmertmann 1975]	34,36	0,047	0,71
[Lunne & Christoffersen 1983]	34,36	0,061	0,71
[Baldi et al. 1982]	40	0,14	0,6
[Villet & Mitchell 1981]	41,67	0,08	0,78

Tabel 5.1 Waarden voor A, B en C

3.6.2.2 Zandtussenlagen

Indien de dikte van de deklaag groter is dan 1,4 keer de dikte van de (los gepakte) zandtussenlaag (inclusief dunne kleilaagjes), kan een vloeiing uitgesloten worden (bron [ref 10]). Voor aanvullende toelichting op deze vuistregel wordt verwezen naar [Torrey et al 1988], zie figuur 90 (pagina 187) en figuur 103 uit het USACE-rapport, waarin 'Overburden' staat voor de deklagen en 'Zone A sand' voor de potentieel vloeiingsgevoelige zandlaag.

3.6.2.3 Zandondergrond

Het uitsluitingscriterium op basis van de laagdikte de schematiseringshandleiding [ref 10], waarin de volgende formule staat vermeld:

$$\text{laagdikte (m)} > d_{50} \cdot 75.000 - 18,75$$

Waarin:

$$d_{50} = \text{gemiddelde korrelgrootte in meter}$$

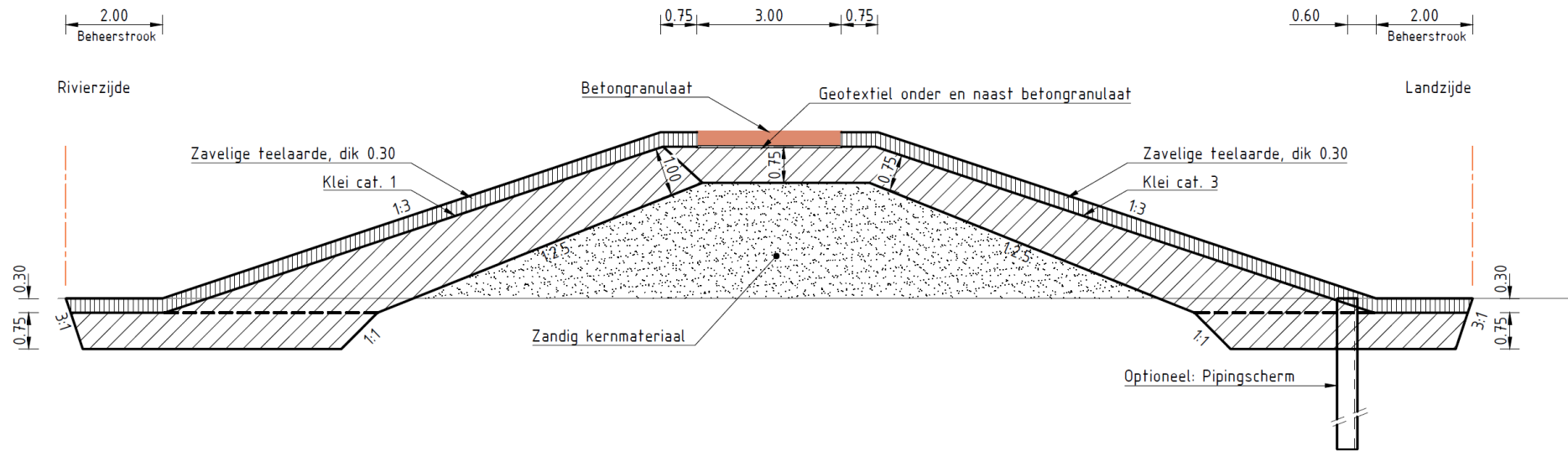


Conform de schematiseringshandleiding [ref 10] is deze regel van toepassing als er geen deklaag aanwezig is en d_{50} gemiddeld groter is dan 0,000250 m. De dunne zandige deklagen in de Maasvallei worden gezien als niet significant en dus afwezig.

De formule in de schematiseringshandleiding is aangepast ten opzichte van CUR152. Het verschil wordt gevormd door een veilige marge in de laagdikte van 10,25 m (18,75 m in plaats van 8,5 m) en ondergrens van de d_{50} waarde.



Ter verduidelijking van de overige eisen in §3.7 is in de onderstaande figuur een voorbeeld van een veel voorkomend (conventioneel) dijkontwerp opgenomen.



Figuur 9: opbouw conventioneel dwarsprofiel.



3.7 Overige

De overige eisen hebben vooral betrekken op het dwarsprofiel van de dijk, waarvan in Figuur 9 een voorbeeld is gegeven.

De vigerende norm is per subparagraaf gespecificeerd. In beginsel dient hiervan uit te worden gegaan tenzij in deze NVU een ander meer specifiek voorschrift is opgenomen.

3.7.1 Dijkkern

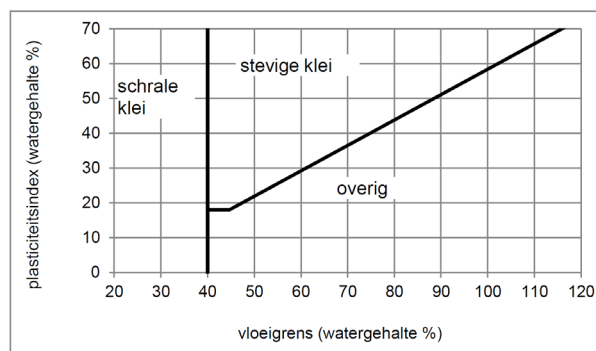
Voor de dijkkern gelden de volgende eisen:

- Grond vrij van grind of puin groter dan 4 cm.
- Maximaal 5% grind en baksteen- of betonpuinresten kleiner dan 4 cm.
- Maximaal 6% organische stof.

3.7.2 Erosiebestendigheid bekleding

De vigerende norm is het Technisch rapport klei voor dijken (TAW, 1996), met als aanvulling Figuur 6.5 (zie hier rechts) uit de schematiseringshandleiding grasbekleding [ref 9].

Onder stevige klei wordt erosiebestendige klei verstaan. Voorheen was dit een gesplitste klasse met categorie 1 en 2 (goed respectievelijk matig erosiebestendig).



Figuur 10: erosieklassen klei.

3.7.2.1 Buitentalud (GEBU)

Met betrekking tot erosiebestendigheid van de buitentaluds wordt uitgegaan van het aanbrengen (of reeds aanwezig zijn) van een laag erosiebestendige klei (stevige klei) van minimaal 1,0 m (in dikte toenemend richting de buitenteen, zie §3.7.4 op pagina 42) plus 0,3 m teelaarde van schrale klei met een grasmatt.

Ter plaatse van de buitenkruinlijn wordt een bekleding van totaal 1,3 m dik loodrecht op het talud toegepast, conform Addendum I van de Leidraad Rivieren [ref 19] is deze dikte voldoende, omdat de significante golfhoogte in de Noordelijke Maasvallei lager is dan 1,5 m.



3.7.2.2 Binnentalud (GEKB)

Met betrekking tot erosiebestendigheid van de kruin en het binnentalud wordt uitgegaan van het aanbrengen (of reeds aanwezig zijn) van een laag zavel ofwel zandige klei (categorie 3 klei) van minimaal 0,75 m dik om, gelet op klimaatontwikkelingen, voldoende vochtnaleverend vermogen te realiseren (in dikte toenemend richting de binnenteen, zie §3.7.4 op pagina 42) inclusief 0,3 m teelaarde met een grasmat.

3.7.2.3 Teelaarde (schrone klei)

Aan de aan te brengen teelaarde laag van circa 0,3 m schrone klei worden de volgende eisen gesteld:

- Klei met minimaal 9% lutum en maximaal 20% lutum;
- Klei met maximaal 5% organische stof;
- Kunstmest "start" gift;
- Compost doorfrezen;
- Controle van afdoende bodemleven.

Het hergebruik van de bestaande bekledingslagen heeft daarbij altijd de voorkeur. Verificatie van de geschiktheid dient op basis van onder andere de Atterbergse grenzen (erosiebestendige onderlaag) en soortensamenstelling (teelaardelaag) plaats te vinden. Partijen met ongewenste (on)kruiden dienen afgevoerd te worden.

Toevoeging van microhyza, bepaalde extracten met micro-organismen of steenmeel kan het aanslaan van de grasmat verbeteren en wordt daarom in overweging gegeven. Deze middelen kunnen eenvoudig door het substraat worden gemengd tijdens het aanbrengen op het dijktaalud.

3.7.2.4 Grasmat

Normaliter wordt ongeveer na 5 jaar na inzaaien met het juiste grasmengsel de gewenste kwaliteit bereikt, mits een "goed" beheer is gevoerd en mits het substraat (schrone kleilaag op talud) aan de eisen van §3.7.2.3 (Pagina 41) voldoet.

Wordt de grasmat binnen een periode van circa 5 jaar belast door golfslag tijdens een hoge waterstand, dan moet schade worden verwacht. Doordat de wortels van het gras nog niet een voldoende dik net hebben gevormd, wordt klei uitgewassen en ontstaan zogenaamde afslagranden (afmetingen in orde grootte van decimeters diep haaks op talud).

Het juiste grasmengsel is een dijkmenngsel, waar zaden van kruiden doorheen zijn gemengd. De toevoeging van kruiden dient te zijn afgestemd op de lokaal aanwezige soorten alsmede anticiperend op droogte als gevolg van klimaatverandering. Doelsoorten zitten in het Glanshaver verbond (kruiden met penwortels en glanshaver zelf = beter droogte bestendig gras).

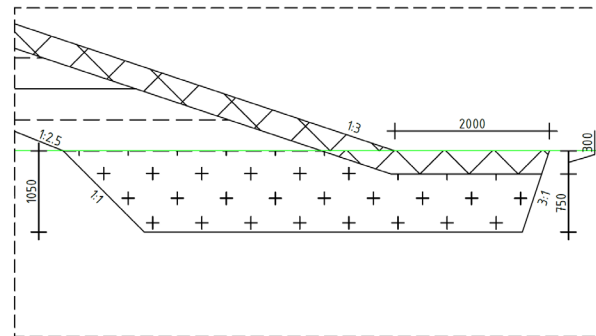


De ontwikkeling van de grasmatten kan worden versneld door te waarborgen dat er voldoende bodemleven in het substraat aanwezig is, zoals wormen en micro-organismen. Om dit te bewerkstelligen mag het substraat niet lang (meerdere maanden) in depot staat.

3.7.3 Klei-inkassing

Aan weerszijden van de waterkering komt een klei-inkassing van 2,0 m uit de teen. De klei-inkassing wordt 0,75 m dik en afgedekt met een leeflaag van 0,3 m.

Hetzelfde materiaal als gebruikt voor de taluds wordt toegepast in de klei-inkassing. Het uiteinde van de klei-inkassing verloopt met een 3:1 talud richting het maaiveld (zie Figuur 11).



Principe detail kleiinkassing

Figuur 11: klei-inkassing.

3.7.4 Afschuiving bekleding (GABU en GABI)

De vigerende norm is de schematiseringshandleiding Grasbekleding.

De bekleding dient beoordeeld te worden op afschuiving bij een overslag van $q = 5 \text{ l/s/m}$ (binnentalud) of vallend water (buitentalud). Door de toenemende dikte richting de teen, ontstaat een wig-vorm die minder gevoelig is voor afschuiving. De toename in dikte moet worden vastgesteld, bijvoorbeeld helling talud = 1:3 en helling onderkant kleilaag = 1:2,5.

3.7.5 Microstabiliteit (STMI)

De vigerende norm is Technisch Rapport waterkerende Grondconstructies (TAW, 1998).

Maatregelen tegen microstabiliteit worden geïntegreerd in het dijkontwerp door bijvoorbeeld een specifieke dimensie van een steunberm te kiezen, een filterconstructie op een iets andere positie in het profiel te ontwerpen of een kleilaag net iets dikker te maken. Bij een overslag van $q > 0,1 \text{ l/s/m}$ bij een overschrijdingskans die getalsmatig gelijk is aan de norm is GABI in plaats van STMI maatgevend.



4 Waterkerende constructies en kunstwerken

De vigerende bovenliggende norm is het OI2014 [ref 2]. Onderleiggende normen zijn NEN 3651 [ref 20], CUR166 [ref 21], PPE [ref 22], PPL [ref 23] en NEN EN 9997-1 [ref 24].

4.1 (bijzondere) Waterkerende constructies

4.1.1 Constructieve wanden

Voor constructieve wanden moet op basis van de functie vastgesteld worden aan welke norm(en) voldaan moet worden en welke ontwerpmethodiek het beste toegepast kan worden. In deze paragraaf is voor verschillende type constructies uitgewerkt welke ontwerpmethodiek toegepast moet worden.

4.1.1.1 Van toepassing zijnde normen

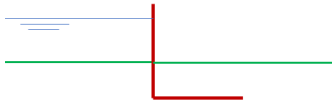
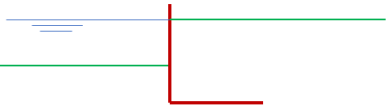
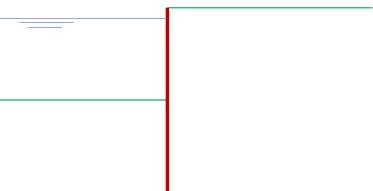
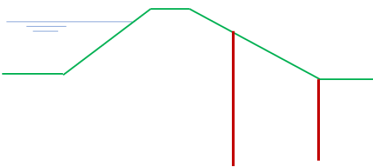
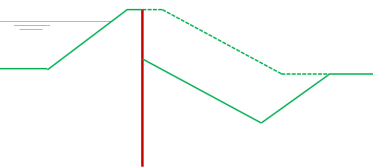
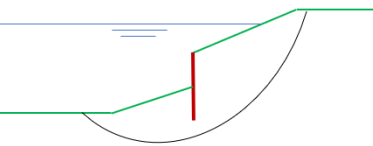
In beginsel dienen alle constructieve wanden die onderdeel zijn van de waterkering te voldoen aan de grondslagen voor waterkeringen. Echter wanneer een constructieve wand niet uitsluitend een waterkerende functie heeft dient deze ook te voldoen aan het bouwbesluit.

Binnen het hoogwaterbeschermingsprogramma van de Noordelijke Maasvallei zijn verschillende typen constructieve wanden voorzien. In Tabel 13 is een overzicht weergegeven van de verschillende constructie types en de van toepassing zijnde normen.

Constructies die niet uitsluitend een waterkerende functie hebben dienen dus ook aan de eisen vanuit het bouwbesluit te voldoen. Merk daarbij op dat het niet altijd noodzakelijk is om twee berekeningen uit te voeren mits het ontwerp conform het bouwbesluit ook voldoet aan de betrouwbaarheidseis conform de waterwet, dit is nader toegelicht in §4.1.1.1.



Tabel 12: Overzicht constructieve wanden en van toepassing zijnde normen

Type constructie	Waterwet	Bouwbesluit	Toelichting
Keermuur (waterkering) 	Ja	Nee	Constructie heeft uitsluitend een waterkerende functie bij een horizontaal maaiveld.
Keermuur (waterkering en grondkering) 	Ja	Ja	
Kademuur (of andere grondkerende wand) en waterkering 	Ja	Ja	
Binnendijkse stabiliteitsverhogende langsconstructie 	Ja	nee	
Vervangende waterkering 	Ja	nee	
Oeverconstructies 	nee	ja	De oeverconstructie heeft niet direct een waterkerende functie. Daarom is ontwerp conform bouwbesluit voldoende. Wel dient deze constructie als NWO meegenomen te worden bij het ontwerp van de waterkering.



4.1.1.2 Veiligheidsfilosofie Eurocode

In tegenstelling tot de Waterwet wordt binnen de Eurocode de vereiste betrouwbaarheid voor de levensduur van de constructie afgeleid op basis van de consequence class (ofwel gevolgklasse). De gevolgklasse wordt vervolgens vertaald naar de betrouwbaarheidsklassen. De betrouwbaarheidsklassen (RC) worden gedefinieerd met behulp van het β -betrouwbaarheidsconcept. De betrouwbaarheid klassen RC1, RC2 en RC3 mogen daarbij in één verband worden gezien met de gevolgklassen CC1, CC2 en CC3.

De Eurocode geeft daarbij minimumwaarden voor de betrouwbaarheidsindex zie Tabel 14. De betrouwbaarheidseis in de Eurocode wordt standaard gesteld voor de levensduur van 50 jaar. Gemiddeld genomen moet de faalkans per jaar dan (bij benadering) 1/50e zijn van de faalkanseis voor 50 jaar. Dit in tegenstelling tot de waterwet waar er een minimale faalkanseis per jaar wordt geëist.

Om er zeker van te zijn dat een ontwerp conform het bouwbesluit ook voldoet aan de betrouwbaarheidseis conform de waterwet wordt de gevolgklasse zo gekozen dat de faalkanseis voor 50 jaar die hoort bij deze CC kleiner is dan de faalkanseis die hoort bij de overstromingskansnorm¹.

Met andere woorden: **DE BETROUWBAARHEIDSKLASSE WORDT ZO GEKOZEN DAT DE MINIMUMWAARDE VOOR B BEHORENDE BIJ DE 50 JAAR REFERENTIE PERIODE CONFORM TABEL 14 GROTER IS DAN DE VEREISTE MINIMUM B CONFORM DE WATERWET.** Is bijvoorbeeld de vereiste β conform de waterwet 3,7 dan wordt het ontwerp conform het bouwbesluit gemaakt in RC2.

Tabel 13: Minimumwaarden voor β

Tabel B2 — Aanbevolen minimumwaarden voor de betrouwbaarheidsindex β (uiterste grenstoestanden)

Betrouwbaarheids- klasse RC	Minimumwaarden voor β	
	1 jaar referentieperiode	50 jaar referentieperiode
RC3	5,2	4,3
RC2	4,7	3,8
RC1	4,2	3,3

¹ Hierbij wordt de kanttekening gemaakt dat deze aanpak alleen voor het ontwerpen van constructies gehanteerd wordt. Voor het beoordeling bestaande constructies wordt de onzekerheid namelijk gedomineerd door de belasting (waterstanden, bovenbelasting). Daarom wordt bij het beoordelen van constructies uit gegaan van de gemiddelde β behorende bij de 1 jaar referentie periode.



4.1.1.3 *Samenvatting ontwerpmethodiek constructieve wanden*

Keermuren² worden ontworpen conform NEN 9997-1 [ref 24] waarbij de betrouwbaarheidsklasse conform de Eurocode zo wordt gekozen dat wordt voldaan aan de betrouwbaarheidseisen uit de waterwet.

Grondkerende wanden² zoals bijvoorbeeld kademuren worden ontworpen middels D-Sheet conform NEN EN 9997-1 [ref 24] en de CUR166 [ref 21] waarbij de betrouwbaarheidsklasse conform de Eurocode zo wordt gekozen dat wordt voldaan aan de betrouwbaarheidseisen uit de waterwet.

Stabiliteitsverhogende langsconstructies als onderdeel van een dijklichaam worden ontworpen conform de waterwet op basis van Plaxis berekeningen conform de aanwijzingen uit de PPE [ref 22] en de PPL [ref 23].

Voor een vervangende waterkering, zie §5.1.3 (pagina 52).

Oeverconstructies worden ontworpen middels D-Sheet conform NEN EN 9997-1 [ref 24] en de CUR166 [ref 21].

4.1.1.4 *Robuustheid*

Langsconstructies die in een dijk zijn toegepast dienen:

- ontworpen te zijn op de hydraulische omstandigheden die over 100 jaar kunnen optreden (zichtjaar 2125);
- gepositioneerd en gerealiseerd te zijn op de 50-jaar positie (zichtjaar 2075);
- zodanig gerealiseerd te zijn dat deze op de 50-jaar qua positie, profiel, diepte en lengte niet aangepast hoeven te worden, indien het grondlichaam van de dijk over 50 jaar (in 2075) versterkt wordt voor een nieuwe periode van 50 jaar.

Hierbij dient er rekening mee te worden gehouden dat:

- de dijkversterking na 50 jaar binnenwaarts plaats vindt;
- de ontwerptaludhellingen van de dijk gelijk blijven ;
- de kruinbreedte van de dijk gelijk blijft.

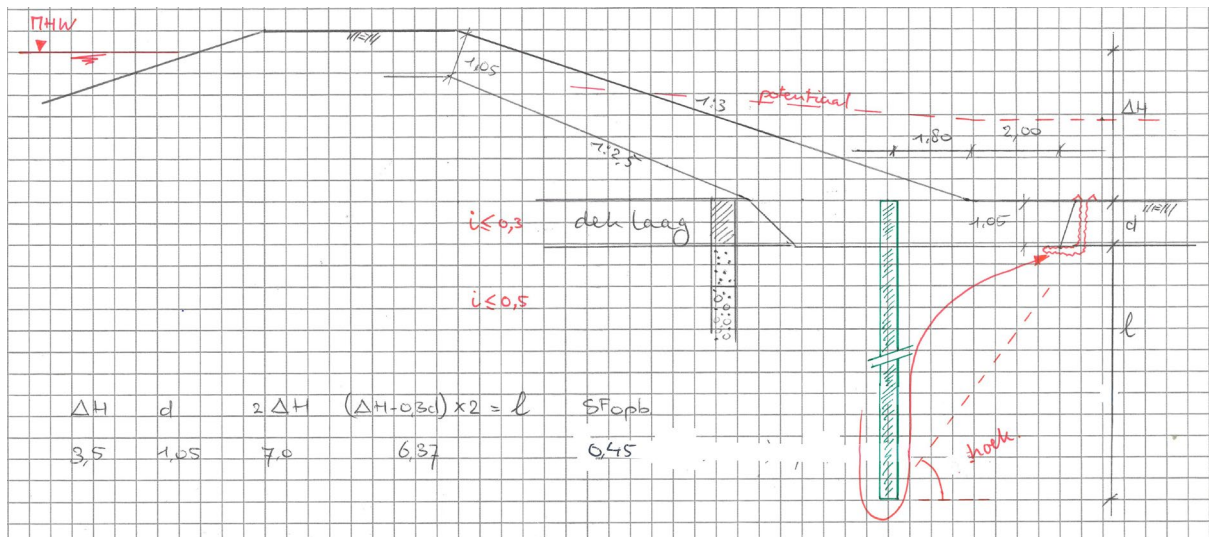
² Uitgangspunt voor deze constructies is dat er een horizontaal maaiveld aanwezig is. Is dit niet het geval en is de constructie bijvoorbeeld onderdeel van een talud dan dient per constructie beschouwd te worden in hoeverre deze standaard rekenmethode geschikt en/of er mogelijk sprake is van complexe grondconstructie interactie en er mogelijk EEM berekening noodzakelijk is.



4.1.2 Pgingschermen of andere oplossingen met beperkt ruimtebeslag

Voor de lengte van het pingscherm kan in het voorontwerp stadium in eerste instantie uitgegaan worden van een lengte van $\Delta H \cdot 2 + 1$ m (vuistregel ontwikkeld binnen dit project). In Figuur 10 is een kenmerkende situatie opgenomen en daarvoor geldt:

- Potentiaal $\approx 70\%$ van ΔH : $0,7 \cdot 3,5 = 2,45$ m;
- Indicatie lengte volgt uit WBI criterium $i < 0,3$: $2,45 / 0,3 = 8,17$ m;
- Controle van de vuistregel $\Delta H \cdot 2 + 1$ m: $3,5 \cdot 2 + 1 \approx 8,17$ (dus akkoord).



Figuur 12: standaard dijk met heavescherm.

In het definitief ontwerp stadium wordt elk dijkvak separaat gedimensioneerd, zodat de stabiliteit van het gehele grondlichaam volgens OI2014 voldoet. Bij de dimensionering dient aandacht te zijn voor:

- Lokale stijghoogte;
- Voorkomen van sterke opstuwing van afstromend water;
- Afvoer van kwelwater via het oppervlaktewatersysteem;
- Invloed van het scherm op andere bezwijkmechanismen;
- Uitbreidbaarheid en knelpuntssituaties.

Er moet rekening worden gehouden met toekomstige dijkversterkingen. Het benodigde ruimtebeslag (het uitbreidbaarheidsprofiel) dient te worden berekend door een ontwerp te maken op basis van het zichtjaar 2125 (zie 4.1.1.4 op pagina 46).

Voor stijghoogtebepaling in ruimtelijke knelpuntsituaties bij de dijk dient gebruik gemaakt te worden van het YBRAHIM-model van WL.

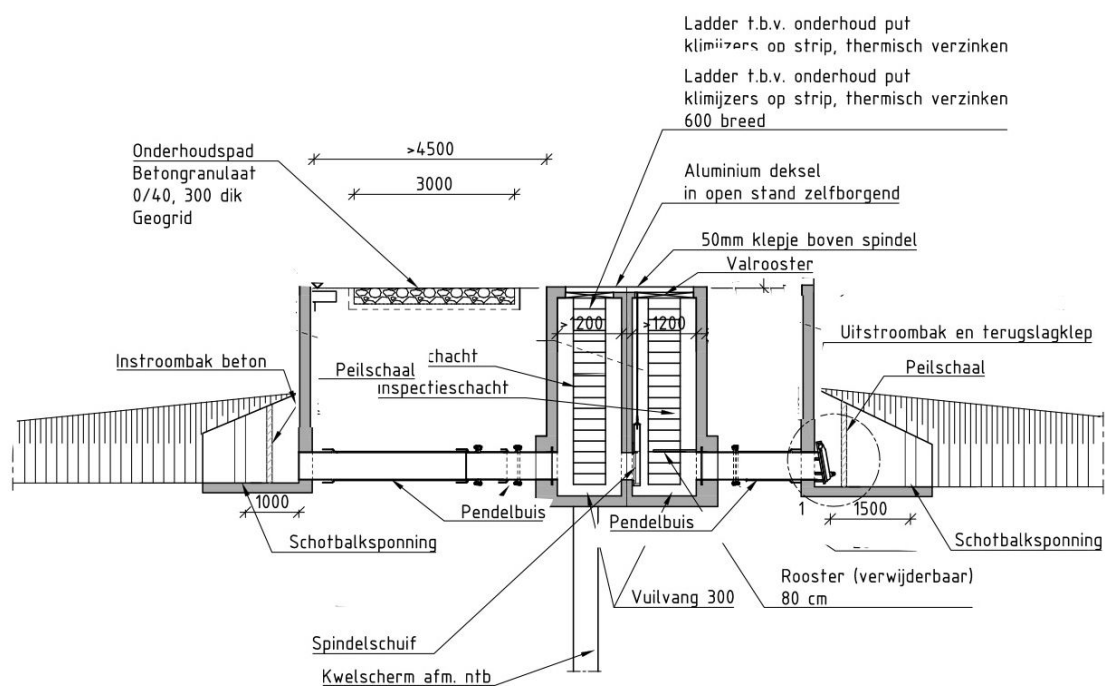


4.2 Kunstwerken

Elk kunstwerk wordt separaat gedimensioneerd volgens de aanwijzingen daaromtrent in het OI2014. Dit wordt ingevuld door als onderliggende normen zijn WoWk2018 [ref 26] en ROK2017 [ref 27] aan te houden. Bij de dimensionering dient aandacht te zijn voor:

- De aansluitconstructies;
- Afsluitmiddelen (aantal keermiddelen en bedieningswijze);
- Afvoercapaciteit tijdens zware lokale neerslag;
- Constructieve sterkte en stabiliteit omringend grondlichaam.

Voor beekkruisingen is er een standaard ontwerp beschikbaar vanuit het waterschap, zie Figuur 10.



Figuur 13: Principe profiel beekkruising.

4.3 Overgangsconstructies

De veiligheid van de waterkering dient bij overgangen gewaarborgd te zijn.



4.4 Aandachtspunten bij ontwerp van constructies

Bij de dimensionering van alle typen constructies dient onder andere aandacht te zijn voor:

- De afwijkende (wand)wrijvingshoek van typisch Limburgs grindhoudend materiaal ten opzichte van fijn zand, zoals dat in west Nederland voorkomt. En dus set rekpercentage waarbij sterkteparameters worden vastgesteld;
- De heibaarheid in soms zeer harde grindhoudende lagen;
- De afweging tussen een stalen damwand, soilmixwand of andersoortige wand;
- Het aan te houden waterstandsverschil over kerende wanden en daarmee samenhangende (ongelijke) waterdrukken in de ondergrond aan weerskanten van de constructie;
- De onderbouwing van de corrosietoeslag;
- De resultaten van de damwandproef bij Eemdijk, die een grotere sterkte van stalen damwand heeft aangetoond dan tot dusver verondersteld.



5 Niet waterkerende objecten (NWO's)

Onder niet waterkerende objecten worden alle objecten verstaan die geen functioneel deel uitmaken van de waterkering. De essentie van het rekening houden met niet waterkerende objecten is het beoordelen of het object het grondlichaam van de waterkering niet zodanig kan beïnvloeden dat een onveilige situatie ontstaat. En zo ja, hoe dat met een slim ontwerp voorkomen kan worden.

Vaak gaat het bij beïnvloeding van de waterveiligheid om calamiteiten aan niet waterkerende objecten, maar het kan ook gaan om objecten die in niet falende toestand diep insnijden in het grondlichaam, zoals bij onderkelderde bebouwing het geval is. In alle gevallen dient te worden onderzocht of het niet waterkerende object inclusief ontgrondingen binnen (de stabiliteitszone van) het ontwerpprofiel valt.

5.1 Kabels en Leidingen

De leidingen zijn ingedeeld in categorieën. Cruciale of categorie 1 leidingen worden vooraf verlegd via een apart werkspoor. De vigerende norm is wat in de volksmond bekend staat als de NEN3650/3651 serie [ref 20] uit 2020.

5.1.1 Kruisende leidingen

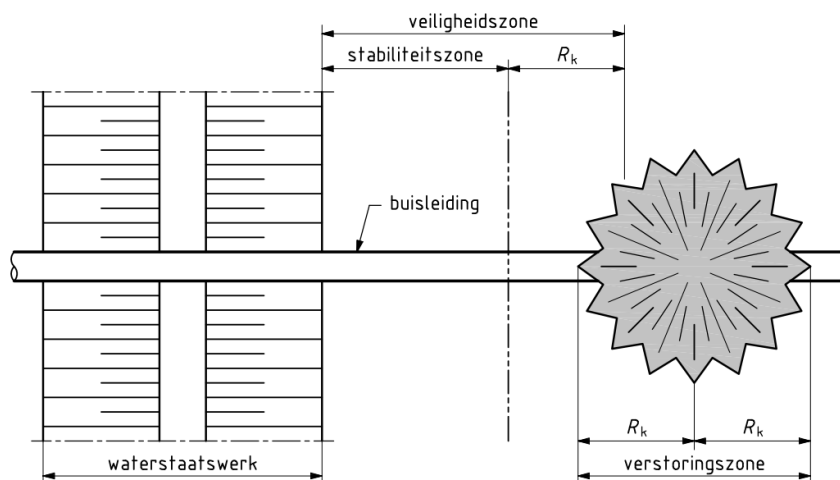
Voor kruisende leidingen gelden de volgende globale uitgangspunten:

- geen mantelbuizen in de waterkering;
- Deze dienen zoveel mogelijk gebundeld te worden;
- Leidingen binnen de veiligheidszone worden volledig vervangen;
- De relatieve sterkte van de leidingen binnen de veiligheidszone dient 20% groter te zijn dan de rest van de leiding, zodat het zwakste punt van de leiding buiten de veiligheidszone van de waterkering ligt;
- Overkluizingen zijn niet nodig, omdat de leiding sterker ontworpen wordt;
- Bij het kruisen van leidingen met bepaalde druk en/of afmeting (zie NEN3651) dient een vervangende waterkering toegepast te worden. Bij kruisende leidingen wordt de leiding vervangen en versterkt over een lengte van: breedte dijklichaam + veiligheidszone binnen en buiten. Voor de breedte van de dijk wordt de afstand tussen binnen- en buitenteen gehanteerd.
- De veiligheidszone is de stabiliteitszone ($4 \times$ dijkhoogte conform NEN3651) + een half keer de verstoringszone (breedte afhankelijk van leiding, conform NEN3651).

In Figuur 11 is het principe van de veiligheidszone weergegeven. Voor de verstoringszone wordt uitgegaan van een erosiekrater met een straal van 3 m (lagedrukgasleidingen) en 12,5 m (waterleidingen). Van sommige leidingen is bekend dat deze dusdanig groot zijn, dat er grotere kraters verwacht mogen worden. Deze grotere kraters worden meegenomen in de versterkingsopgave.



Leidingen waar dit voor van toepassing is en welke afmeting dan gehanteerd moet worden, worden aangeleverd door het Waterschap. We zitten nu aan de conservatieve kant en in een latere fase kan dit geoptimaliseerd worden.



Figuur 14: Principe bepaling veiligheidszone

Voor de breedte van de stabiliteitzone geldt in NEN3651 een vuistregel. Op basis van berekening van de macrostabiliteit van het dijklichaam kan en mag aanscherping plaatsvinden.

5.1.2 Parallele leidingen

Voor parallelle leidingen dienen de volgende vragen eerst te worden beantwoord:

1. Moet de leiding weg vanuit veiligheid? Dus voldoet kering niet aan de veiligheidseis als leiding blijft liggen? Als dit niet zo is, dan is de volgende vraag:
2. Kan de leiding de extra druk aan van de aanleg en/of versterking van de waterkering? Zo ja, dan:
3. In overleg met waterschap en netbeheerder bespreken of het desondanks toch wenselijk is om de leiding te verleggen.



Voor parallel leidingen worden de volgende globale uitgangspunten gehanteerd:

- Cruciale parallelle leidingen onder het tracé van de dijk of binnen de veiligheidszone worden verlegd naar buiten de veiligheidszone of het tracé van de dijk wordt opgeschoven;
- Wanneer verplaatsing niet mogelijk is tot buiten de veiligheidszone, maar de leiding in deze zone komt te liggen dient een afscherm constructie toegepast te worden (zie paragraaf 5.1.3 voor uitgangspunten);
- Bij het verleggen wordt de leiding volledig vervangen en met voldoende sterkte teruggebracht waardoor overkluizingen niet nodig zijn;
- Voor cruciale leidingen wordt een rechtstrook van 10 m gehanteerd. Dit betekent dat aan weerskanten van de leidingen 5 m ruimte moet zijn en dat daar in principe geen waterkering mag liggen;
- Niet cruciale parallelle leidingen die in de veiligheidszone liggen en een diameter groter dan 450 mm hebben, worden gecontroleerd of verplaatsen past binnen de 20% kostenmarge die voor kabels en leidingen zijn opgenomen.

5.1.3 Vervangende waterkering

De vervangende waterkeringen van hoge drukleidingen dienen volgens NEN3651 [ref 20] als volgt te worden berekend: *"Wanneer de macro-stabiliteit van een grondlichaam inclusief damwandconstructie moeten worden bepaald, moeten hierbij rekenmodellen worden toegepast die deze zaken integraal kunnen berekenen."* Dit is als volgt geïnterpreteerd:

- Een damwand in de kruin is een zelfstandige kering. De damwand met daarachter de erosiekrater dient volgens CUR166 [ref 21] te worden gedetailleerd. Er dient aandacht te zijn voor opbarsten van de bodem van de erosiekrater;
- Een damwand in het talud of de teen moet in combinatie met de macrostabiliteit van het grondlichaam worden getoetst. Dus met Plaxis en volgens de PPE [ref 22] en de PPL [ref 23].
- De kruin bezit lokaal een breedte van 6,0 m.

Bij kruisende vrij vervalleidingen moeten afsluiters geplaatst worden, in een put. Ontwerp volgens OI2014. Vervangende waterkering is niet nodig.



5.2 Beplanting

Voor beplanting geldt het uitgangspunt "Nee, tenzij". Dit betekent dat er op en nabij de waterkering geen opgaande beplanting toegestaan is, tenzij sprake is van bijzonder waardevolle beplanting. Daar waar bestaande en bijzonder waardevolle beplanting aanwezig is (of moet worden herplaatst) op of in de veiligheidszone van de kering, dient middels maatwerk te worden nagegaan hoe handhaving en dijkverbetering samen kunnen gaan, waarbij aandacht dient te zijn voor:

- De windworppgevoeligheid van bomen en de invloed van de ontgrondingskuil (circa 1 m diep en 4 m doorsnede) op de waterkering;
- De invloed op de macrostabiliteit van standzekere bomen door afdracht van windbelasting op het grondlichaam via de boomwortels (Stowa, 2015-15, bijlage 6);
- De gevolgen voor onderhoud en bereikbaarheid (bij calamiteiten);
- De kans op erosie tijdens hoogwater van een slechte bekleding als gevolg van schaduwwerking en/of bladval.

Voor beplanting binnen de beschermingszone (zie §2.8) dient met een redeneratie te worden vastgelegd of er een vergrote kans is op erosie of een extra beheeropgave door schaduwwerking en/of bladval. Wanneer hier sprake van is, dient een maatregel ontworpen te worden of dient de beplanting verder van de waterkering gesitueerd te worden. Schaduwwerking en/of bladval van **bomen** verschilt van plaats tot plaats. Wat minimaal beschouwd moet worden in het ontwerp is:

- De expositie (noordhelling is altijd schaduwrijker);
- Het feit of het gaat om een solitaire boom of een rij bomen;
- Het feit of het gaat om jonge beplanting met kleine kroon of oude met grote kroon.

Oude **struiken** (bv. meidoorn) met een hoogte van 4,5 m kunnen door de kroonvorm wel zodanig veel schaduw op de teen van de dijk werpen dat daar helemaal geen gras groeit. De analyse van het gevolg van schaduw dus niet alleen tot bomen beperkt blijven maar moet breder ingestoken worden (houtige beplanting).



Figuur 15: Meidoorn met relatief veel schaduwwerking door brede kroon



5.3 Bebouwing

Bij het ontwerp van de primaire waterkering dient voor te worden handhaven bebouwing het volgende te zijn meegenomen:

- De funderingen van NWO dienen voldoende sterk en stijf te zijn, waarbij de invloed van de dijkversterking (grondaanvullingen en/of constructies) op bestaande, te handhaven, funderingen dient te zijn bepaald voor funderingspalen conform [CUR publicatie 228] en voor funderingen op staal conform [NEN 9997 Eurocode 7];
- Het eigen gewicht van bebouwing mag in geen enkel geval in rekening worden gebracht als stabiliserende belasting in de stabiliteitsberekening van de Waterkering;
- Ten minste dient scenario 'NWO verwijderd' te zijn beoordeeld bij de faalmechanismen macrostabiliteit (STBI, STBU), grasbekleding afschuiven binnentalud (GABI), grasbekleding erosie kruin en binnentalud (GEKB), microstabiliteit (STMI), piping (STPH);
- Het scenario 'NWO verwijderd' moet in de berekeningen zijn geschematiseerd als een gat ter plaatse van de contouren van de bebouwing inclusief fundering;
- (paal)funderingen die zijn uitgevoerd in pipinggevoelige bodem (als omschreven in [Schematiseringshandleiding piping]) dienen te zijn beschouwd als uittredepunt voor piping.

Sloop van bouwwerken valt onder dagelijks beheer.

5.3.1 Kelders

Bij het ontwerp van de waterkering dient als volgt te worden omgegaan met de mogelijke invloed van kelders.

Bij het bezwijken van bebouwing buiten de beschermingszone van de waterkering blijft het gewicht van het gebouw aanwezig en dus is er geen noemenswaardige invloed op de macrostabiliteit te verwachten. Ook niet door het wegvallen van stempelkrachten op bijvoorbeeld kelderwanden.

Bij het bezwijken van bebouwing binnen de beschermingszone kan via scheuren zand uit de kern van de dijk spoelen en daardoor micro-instabiliteit veroorzaken en invloed hebben op de macrostabiliteit. Een beschouwing van de mate van overdimensionering van de waterkering is dan noodzakelijk.



Bebouwing met een kelder kan in het achterland (binnen de beschermingszone) wel van invloed zijn als de kelder lek is. Er kan piping ontstaan doordat zand de kelder in spoelt, mits de kelder een voldoende grote inhoud heeft. Toetsing van de aanwezige kwelweglengte wordt als volgt uitgevoerd:

- Kerende hoogte (ΔH) stedelijk gebied = waterstand bij norm – maaiveldniveau + 1 m (grondwaterstand 1 m –mv, kelder loopt derhalve deels vol);
- Kerende hoogte (ΔH) kleine kelder in landelijk gebied = waterstand bij norm – maaiveldniveau (grondwaterstand gelijk aan maaiveld, kelder loopt derhalve vol);
- Kritisch verval (H_{crit}) = $\Delta H - 0,3 * \text{deklaagdikte}$ (standaard 1 m, tenzij uit boringen blijkt dat louter zand aanwezig is);
- Creepfactor volgens Sellmeijer lokaal te bepalen;
- Beschikbare kwelweg $\geq$ creepfactor * H_{crit} .

Bebouwing met een kelder in het voorland kan invloed hebben op de aanwezige intredelengte indien de aanwezige kleilaag binnen de beschermingszone wordt doorsneden.

5.3.2 Funderingen

Funderingspalen met een verzwaarde voet zijn niet toegestaan vanwege de kans op een kwelweg langs de paalschacht.

De invloed van (grond)aanvullingen op funderingspalen dient te worden bepaald conform CUR 228. De invloed van (grond)aanvullingen op funderingen op staal dient te worden bepaald conform NEN-9997. De horizontale vervorming dient te worden bepaald met 2D grondmodellen.

5.4 Dijkmeubilair

Dijkmeubilair is vooral van invloed op waterdichtheid en erosiebestendigheid. Als voorbeeld kan gedacht worden aan een stalen funderingspaal van een verkeersbord of tredschade rondom een bankje. Het ontwerp van de waterkering of positionering van het dijkmeubilair dient hiermee rekening te houden. Bij voorkeur plaatsing op de binnenkruin en zonodig dijk lokaal verbreden.

5.5 Wegen

Bij het inpassen van wegen in het dikenontwerp dient rekening te worden gehouden met de ontwerpeisen die aan het wegontwerp worden gesteld vanuit de landelijke richtlijnen van het CROW, aangevuld met eventuele richtlijnen van provincie en gemeenten. In bijlage 2 zijn aandachtspunten voor veelvoorkomende wegen geformuleerd.



6 Referenties

- ref 1. De Proevenverzameling "De Zandmaas", Arcadis, november 2011
- ref 2. Handreiking ontwerpen met overstromingskansen, OI2014v4, Rijkswaterstaat, december 2016
- ref 3. Werkhypothese hoge grond, Waterschap Limburg, 13 april 2018
- ref 4. Addendum bij het technisch rapport waterkerende grondconstructies, Ministerie van Verkeer en Waterstaat en ENW, juli 2017
- ref 5. Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken, TAW, september 2004
- ref 6. POV Piping - Invloed Maasklei en grindlagen, Arcadis, 2017
- ref 7. Schematiseringshandleiding macrostabiliteit WBI 2017, Rijkswaterstaat, versie 3.0, 28 november 2019
- ref 8. Schematiseringshandleiding piping WBI 2017, Rijkswaterstaat, 2 januari 2017
- ref 9. Schematiseringshandleiding grasbekleding WBI 2017, Rijkswaterstaat 1 december 2016
- ref 10. Schematiseringshandleiding zettingsvloeiing, WBI 2017, 28 november 2019
- ref 11. Handreiking Toetsen Voorland Zettingsvloeiing t.b.v. het opstellen van het beheerdersoordeel (BO) in de verlengde derde toetsronde, RWS 25 oktober 2012
- ref 12. Grondgedrag, rekenmethoden en laboratoriumonderzoek, HWBP Noordelijke Maasvallei, Arcadis en Witteveen+Bos, kenmerk: 8831, Versienummer: 1, mei 2018
- ref 13. Dijkversterking langs de grote rivieren: redeneerlijn buitendijks (rivierwaarts) versterken, HWBP, 2018
- ref 14. Macrostabiliteit bouwfase en oplevering, Deltares, 2018
- ref 15. Piping parameters voor VO+ ontwerp, HWBP Noordelijke Maasvallei, Arcadis en Witteveen+Bos, kenmerk: 8845, Versienummer: 1, mei 2018
- ref 16. Overkoepelend memo werkprotocol piping, Arcadis en Witteveen+Bos, maart 2018
- ref 17. KPR factsheet werkwijze macrostabiliteit i.c.m. golfoverslag OI2014v4, De Visser en Jongejan, 08-03-2018, versie 2
- ref 18. CB.25.003 Interpretatie verdiepend geotechnisch onderzoek Nieuw-Bergen, Belfeld, Beesel en Heel, Datum: 18-12-2018, Kenmerk (SP): 11209, Versienummer: 0.9
- ref 19. Parameterbepaling EEM, POV-M maart 2018, versie 1
- ref 20. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, ENW 2008, Addendum I bij de Leidraad Rivieren, t.b.v. het ontwerp van rivierdijken
- ref 21. NEN 3651:2020 (nl) Aanvullende eisen voor buisleidingen in of nabij belangrijke waterstaatswerken
NEN3650: 2020 (nl) Eisen voor buisleidingsystemen
NEN 3650-1 Deel 1: Algemene eisen
NEN 3650-1 Deel 2: Aanvullende eisen voor leidingen van staal
NEN 3650-1 Deel 3: Aanvullende eisen voor leidingen van kunststof



- NEN 3650-1 Deel 4: Aanvullende eisen voor leidingen van beton
NEN 3650-1 Deel 5: Aanvullende eisen voor leidingen van gietijzer
- ref 22. CUR166 Damwandconstructies (deel 1 en 2), versie 2016
- ref 23. POV Macrostabieliteit (2019), POVM Eindige-elementenmethode.
Maart 2020.
- ref 24. POV Macrostabieliteit (2019), POVM Langsconstructies. Datum: Maart 2020.
- ref 25. NEN 9997-1+C2:2017 NL, Geotechnisch ontwerp van constructies -
Deel 1: Algemene regels, 2017.
- ref 26. Werkwijzer Ontwerpen Waterkerende Kunstwerken –
Ontwerpverificaties voor de hoogwatersituatie, RWS
1 november 2018, Definitief – groene versie
- ref 27. Richtlijnen Ontwerp Kunstwerken, Doc. nr. : RTD 1001:2017,
Versie: 1.4, Definitief, RWS April 2017



BIJLAGE 1 ONDERBOUWING KEUZE

GRONDGEDRAG

In overeenstemming met de nieuwe normen en richtlijnen voor de beoordeling van taludstabiliteit van grondconstructies (OI2014 en WBI2017), wordt het Critical State Soil Mechanics model (CSSM) toegepast. In de critical state geldt een dilatantiehoek van $\psi = 0^\circ$.

In veel gevallen wordt dilatant grondgedrag geconstateerd in uitgevoerde triaxiaalproeven dat zich het best laat beschrijven met een gedraineerde grondparameter. En in sommige gevallen sluit het contractante grondgedrag aan bij de SHANSEP theorie, waarbij ongedraineerd grondgedrag optreedt dat samenhangt met de mate van overconsolidatie. De uitgevoerde sonderingen met waterspanningsmeting bevestigen dit wisselende beeld, doordat de wateroverspanningsindex (B_q) in kleilagen zowel groter als kleiner dan kan zijn dan de grenswaarde van 0,1 (omslagpunt voor dilatant en contractant gedrag).

Aangezien er geen correlatie is tussen diepte en wateroverspanningsindex, is gezocht naar een andere indicatorparameter voor wel/niet ongedraineerd grondgedrag. Deze is gevonden in het stoofdroog volumegewicht. Wanneer het stoofdroog volumegewicht lager is dan 15 kN/m^3 wordt contractant grondgedrag waargenomen in triaxiaalproeven, dat past bij de SHANSEP theorie. Deze siltige klei wordt met name in normtraject Heel aangetroffen, maar is ook aanwezig langs andere trajecten in de Maasvallei.



BIJLAGE 2 AANDACHTSPUNTEN VOOR ONTWERP (KRUISENDE) WEGEN

In deze bijlage staan een aantal algemene ontwerprichtlijnen op het gebied van weginfrastructuur waar rekening mee moet worden gehouden wanneer een weg wordt aangepast ten behoeve van de inpassing van de dijkkring.

Wegcategorisering

Alle wegen zijn ondergebracht in een categoriseringsplan. Hierin staat vermeld of het een weg binnen of buiten de bebouwde kom is en of het een stroomweg, gebiedsontsluitingsweg of erftoegangsweg is. De categorie waarbinnen een weg is ingedeeld bepaald welke ontwerpeisen er worden gesteld aan de weg. Hierbij valt te denken aan verschil in maatvoering voor horizontale bochtstralen, verticale bogen, stopzicht, oprijzicht, maatvoering van de verschillende elementen binnen het dwarsprofiel.

Het is daarom van belang om na te gaan binnen welke categorie de betreffende weg is ingedeeld. De volgende verdeling in wegcatégorisering wordt binnen Nederland gehanteerd.

Categorisering	Ontwerpsnelheid (km/u)	Voorbeeld wegen
Nationale stroomweg	120	Autosnelweg
Regionale stroomweg	100	Autowegen
Gebiedsontsluitingswegen buiten de bebouwde kom	80	Provinciale wegen, 2x2 wegprofiel of 2x1 wegprofiel met dubbele doorgetrokken asmarkering
Gebiedsontsluitingswegen binnen de bebouwde kom	70/50	Vorrangswegen / wijkontsluitingswegen 2x2 of 2x1 met dubbele doorgetrokken asmarkering
Erftoegangswegen buiten de bebouwde kom, type I en II	60	Type I; Landwegen met redelijke verkeersfunctie, type II; landweggetjes met perceelontsluitende functie.
Erftoegangswegen binnen de bebouwde kom	30	Woonstraten

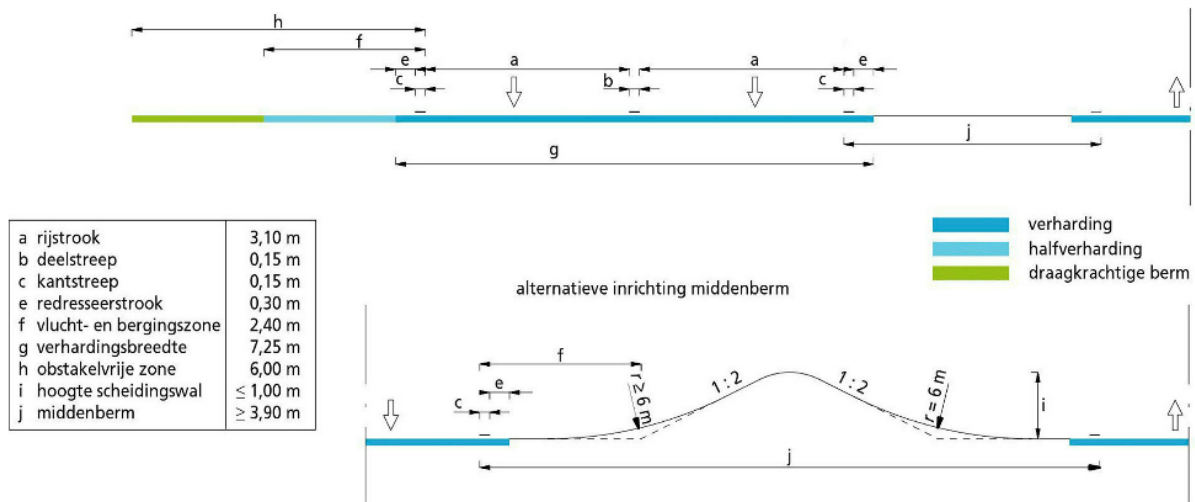
In het plangebied komen vooral ontsluitings- en toegangswegen voor. Daarom worden deze in het navolgende behandeld.



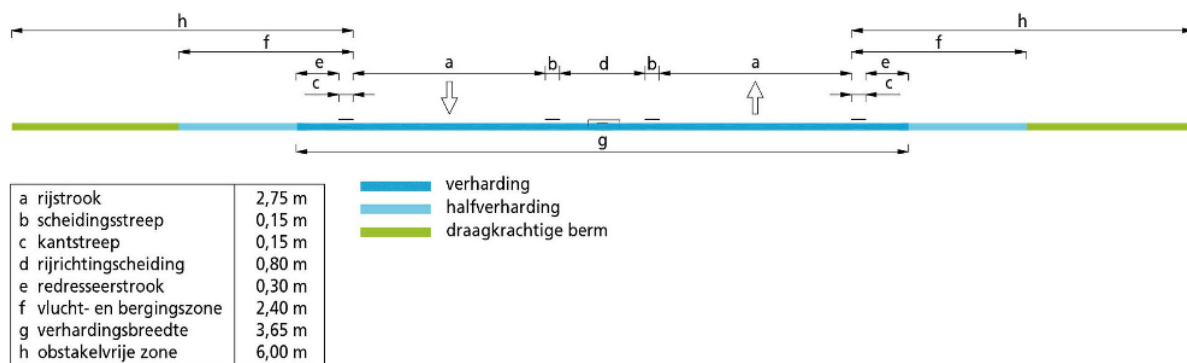
Dwarsprofiel

Voor de verschillende type wegen gelden verschillende maatvoeringen voor rijbaanbreedtes, markeringen, obstakelvrije ruimtes en overige onderdelen binnen het dwarsprofiel. Hierna volgen de belangrijkste maten binnen het dwarsprofiel per type weg.

Gebiedsontsluitingswegen buiten de bebouwde kom



Figuur 16: Gebiedsontsluitingsweg type I (2x2 rijstroken met fysieke middenberm)



Figuur 17: Gebiedsontsluitingsweg type II (2x1 rijstroken met dubbele doorgetrokken asmarkering)

Voor beide profielen geldt dat waarde h, de obstakelvrije zone een optimale maat van 6,0 m heeft. Maar in geval van ruimtegebrek mag ook worden volstaan met een minimale breedte van 4,5 m.

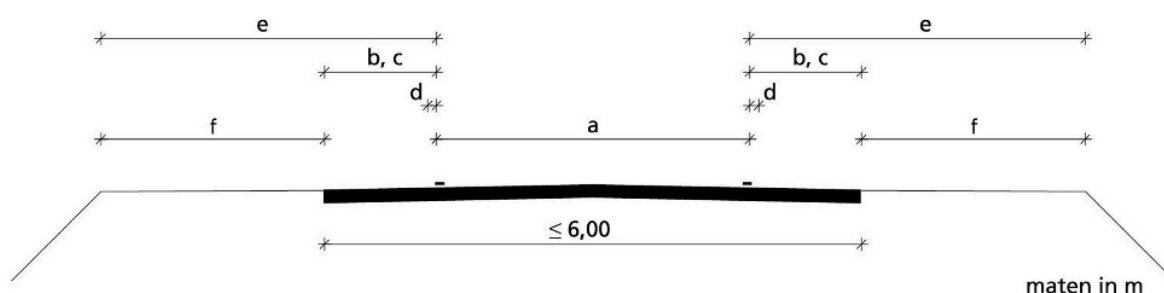


Erftoegangswegen buiten de bebouwde kom

Buiten de bebouwde kom worden de erftoegangswegen onderverdeeld in type I en type II.

Type I is bedoeld voor verkeersintensiteiten tot circa 5000 tot 6000 motorvoertuigen per etmaal. Type II wegen zijn bedoeld voor wegen met maximaal circa 300 motorvoertuigen per etmaal.

Bij verkeersintensiteiten hoger dan 2000 à 2500 motorvoertuigen per etmaal zijn vrijliggende fietsvoorzieningen noodzakelijk.



	ideaal ⁴⁾	gebruikelijk	minimaal	
a rijloper	4,50 ¹⁾	3,50	3,50	bij kant- of uitwijkstroken
b kant- of uitwijkstrook	0,50	0,50	0,35	
a rijloper	4,00	3,00	3,00	bij suggestie- of fietsstroken
c suggestiestrook	1,50	1,25	1,00	
c fietsstrook	2,00	1,50	1,50	
d markering	0,10	0,10	0,10	
e obstakelvrije zone	³⁾	1,50	1,50	
f buitenberm	³⁾	2,50	1,50	

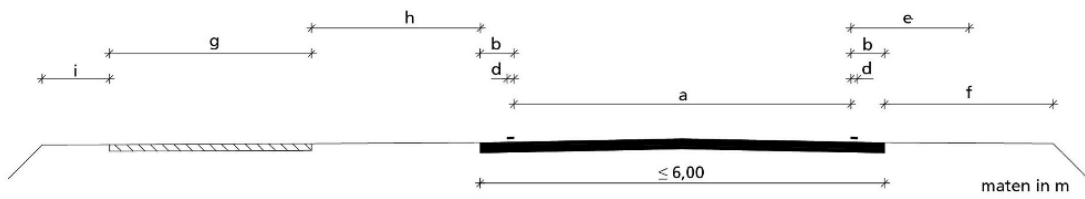
1) 4,50 m alleen bij vrijliggende fietsvoorzieningen

3) geen grenswaarde aan ideaal, wel groter dan 'gebruikelijk'

4) de totale verhardingsbreedte mag niet groter zijn 6,00 meter

Figuur 18: Erftoegangsweg type I, met fietsers op de rijbaan

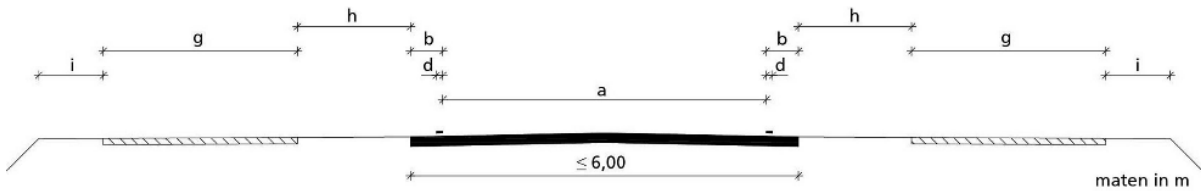




	ideaal	gebruikelijk	minimaal
a rijloper	4,50	3,50	3,50
b kant- of uitwijkstrook	0,50	0,50	0,35
d markering	0,10	0,10	0,10
e obstakelvrije zone	³⁾	1,50	1,50
f buitenberm	³⁾	2,50	1,50
g fietspad, eenzijdig in twee richtingen bereden	4,00	2,50	1,50 ²⁾
h tussenberm	³⁾	2,50	1,50
i buitenberm/obstakelvrije zone	³⁾	1,00	0,50

2) minimum wijkt af van ontwerpwijzer fietsverkeer

3) geen grenswaarde aan ideaal, wel groter dan 'gebruikelijk'



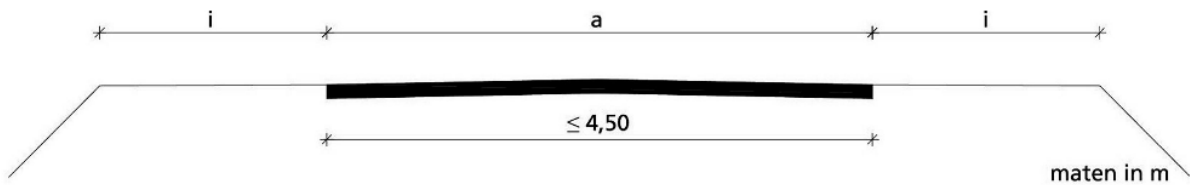
	ideaal	gebruikelijk	minimaal
a rijloper	4,50	3,50	3,50
b kant- of uitwijkstrook	0,50	0,50	0,35
d markering	0,10	0,10	0,10
g fietspad, tweezijdig in één richting bereden	2,50	2,00	1,50 ²⁾
h tussenberm	³⁾	2,50	1,50
i buitenberm/obstakelvrije zone	³⁾	1,00	0,50

2) minimum wijkt af van ontwerpwijzer fietsverkeer

3) geen grenswaarde aan ideaal, wel groter dan 'gebruikelijk'

Figuur 19: Erftoegangsweg type I met vrijliggende fietsvoorzieningen



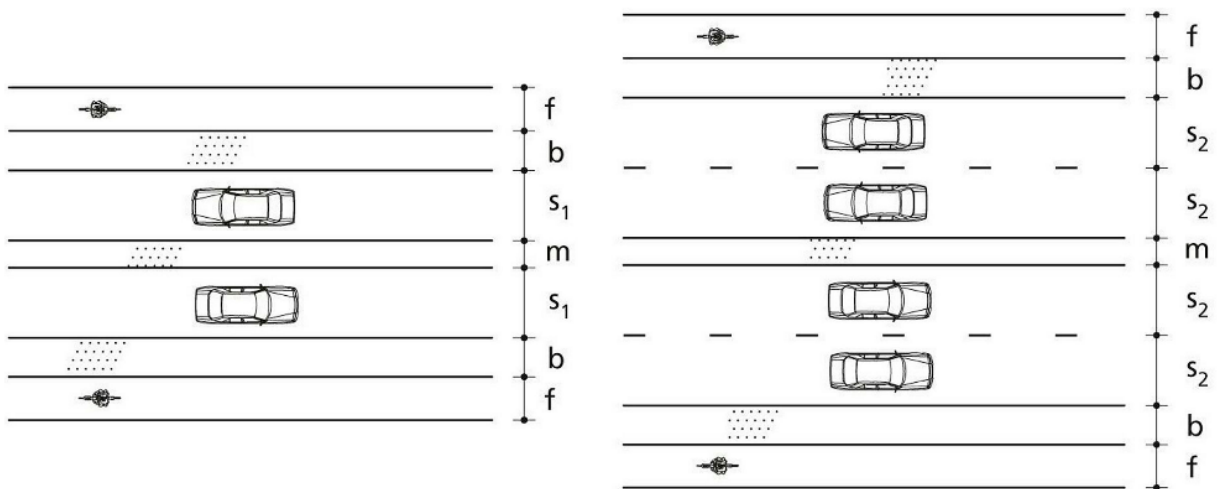


	ideaal	gebruikelijk	minimaal
a rijloper (= verhardingsbreedte)	4,50	3,50	2,50
i buitenberm/obstakelvrije zone	3)	2,50	1,50

3) geen grenswaarde aan ideaal, wel groter dan 'gebruikelijk'

Figuur 20: Erftoegangsweg type II

Gebiedsontsluitingswegen binnen de bebouwde kom



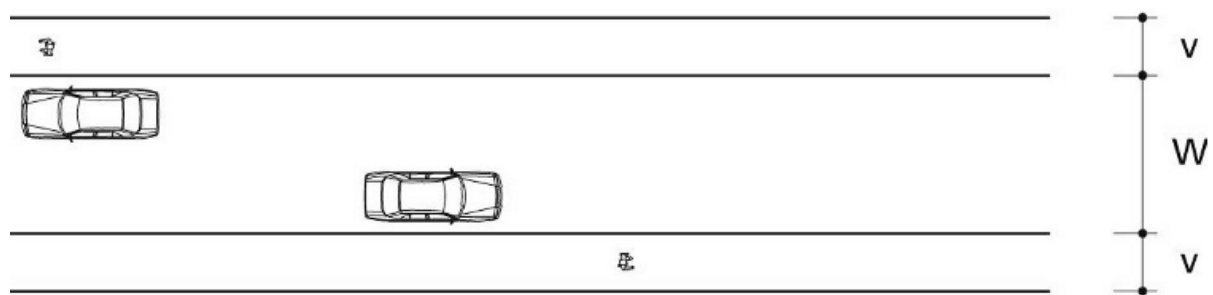
Maatvoering (exclusief markering)

- $b \geq 1,50$ m
- $f = 2,00 - 4,00$ m
- $m \geq 1,50$ m
- s_1 bij een rijstrook per richting 3,25 - 3,50 m
- s_2 bij twee rijstroken of meer per richting 3,25 m

Figuur 21; Gebiedsontsluitingswegen binnen de bebouwde kom (2x2 en 2x1)



Erftoegangswegen binnen de bebouwde kom



Maatvoering

- v (voetpad) $\geq 1,80$ m
- $W = 5,80$ m

Figuur 22; Erftoegangsweg binnen de bebouwde kom met gemengd verkeer in twee richtingen

Horizontaal alignement

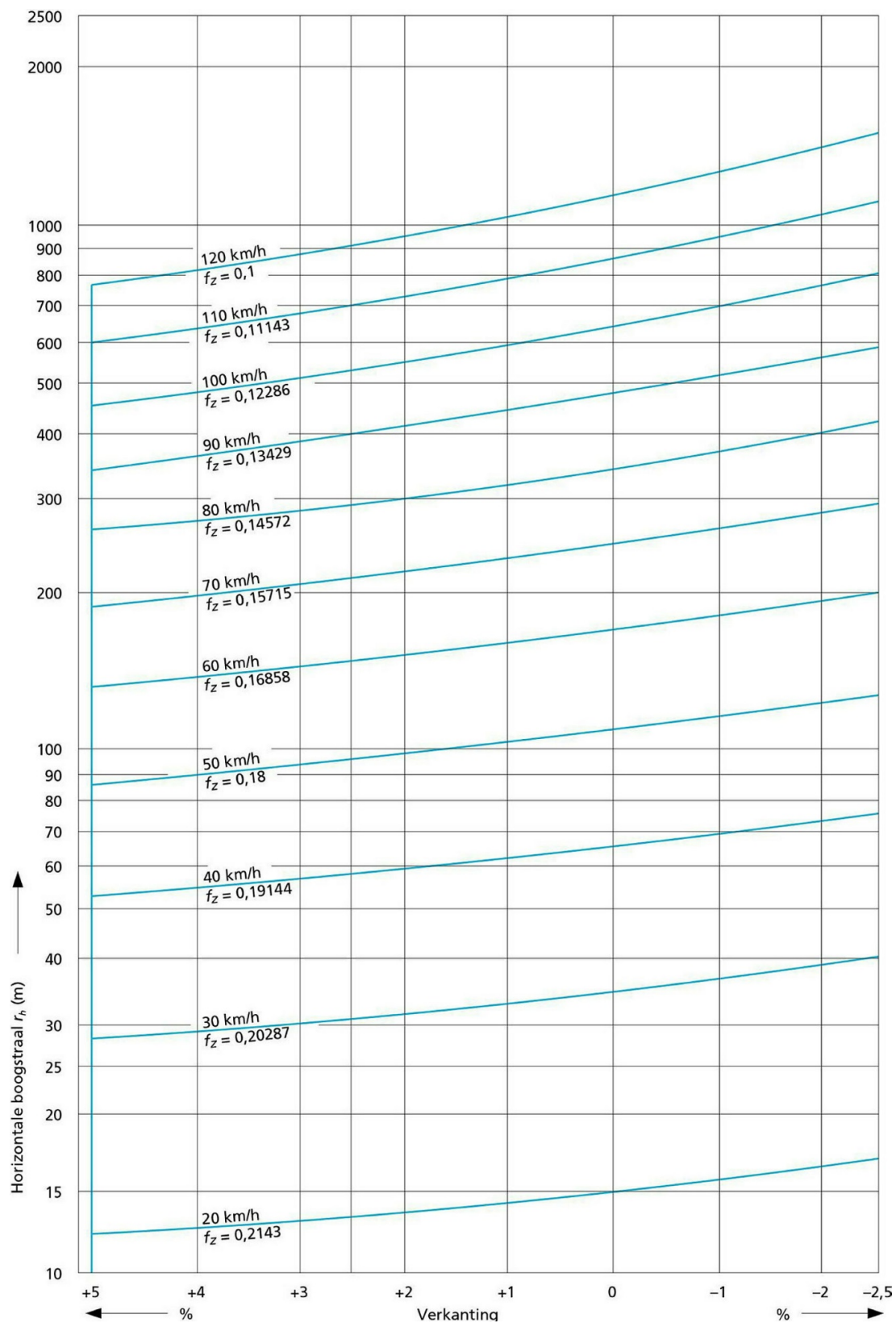
Wanneer een weg in horizontale richting verlegd moet worden ten behoeve van de inpassing van een dijk, dient rekening te worden gehouden met minimale stralen die per type weg toegepast mogen worden. De ontwerpsnelheid van de betreffende weg bepaald wat de ondergrens is voor de horizontale boogstralen. Deze ondergrens voorkomt dat de bocht te scherp ontworpen wordt, waardoor de weggebruiker uit de bocht kan vliegen wanneer de toegestane snelheid niet overschreden wordt.

In onderstaande tabel zijn de benodigde bochtstralen per ontwerpsnelheid af te lezen in combinatie met de toe te passen verkanting. Normaal gesproken wordt uitgegaan van een positieve verkanting van circa 2 tot 2,5%.

Naast de minimale bochtstralen dient ook rekening te worden gehouden met het wel of niet moeten toepassen van overgangsbogen. Dit speelt voor dit project met name bij gebiedsontsluitingsweg buiten de bebouwde kom. Voor dit type weg wordt gesteld dat bij een ontwerpsnelheid van 80 km/u bochten met een straal kleiner dan $R=1700$ m moeten worden voorzien van overgangsbogen. De A-waarde van deze overgangsbogen is 1/3 tot maximaal 1 keer de waarde van de boogstraal zelf.

Voor de overige wegcategorieën in het gebied gelden geen overgangsbogen.



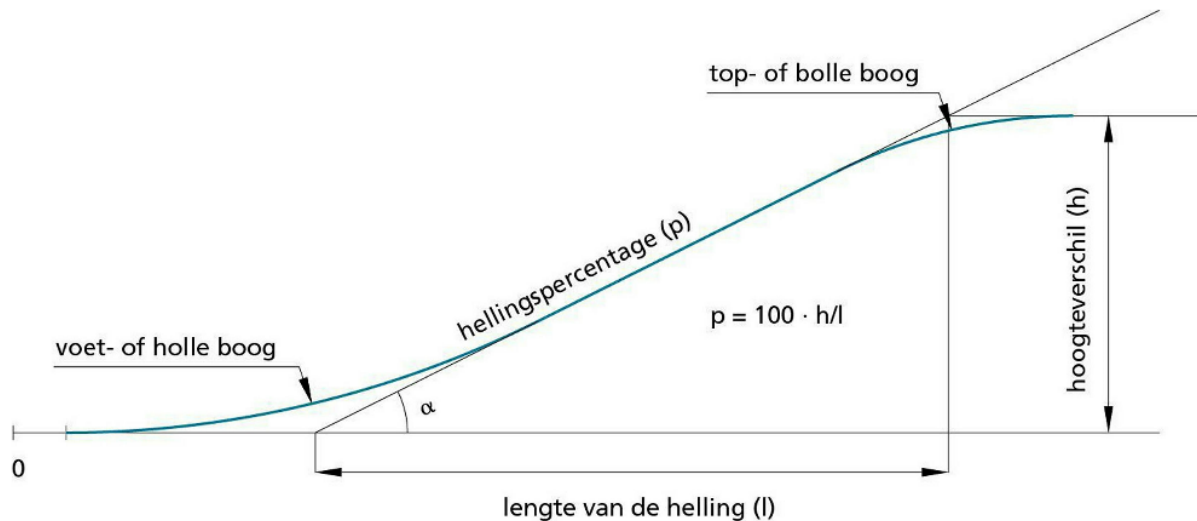


Figuur 23; toe te passen horizontale bochtstralen bij verschillende ontwerpnelheden



Verticaal alignement

Het verticale verloop van de weg bestaat uit voetbogen, topbogen en een hellingspercentage. Deze drie onderdelen bepalen het rijcomfort en het wegbeeld. Daarnaast zijn ze van invloed op het beschikbare rijzicht, stopzicht en oprijzicht.



Figuur 24; onderdelen van het verticale alignement

Voor wat betreft het hellingspercentage worden de volgende maximale waarden voorgeschreven voor gebiedsontsluitingswegen buiten de bebouwde kom.

Ontwerp (km/h)	80
Gewenst Hellingspercentage (%)	5
Maximaal Hellingspercentage (%)	6

Figuur 25; maximale hellingspercentages bij een ontwerp van 80 km/u

Voor fietsers worden de volgende hellingspercentages voorgeschreven bij de verschillende te overbruggen hoogtes. Hierbij moet worden opgemerkt dat bij lange hellingen (hoogteverschil groter dan 5,0 m) het wenselijk is om halverwege een vlak gedeelte in te passen van circa 25 m lang om de fietser de gelegenheid te geven om weer op adem te komen.



Hoogteverschil (m)	Aanbevolen hellingspercentage (%)	Maximale hellingspercentage (%)
1.00	7.5	8.0
2.00	4.7	8.0
3.00	3.2	6.5
4.00	1.8	4.2
5.00	1.2	2.0

Figuur 26; maximale hellingspercentages voor fietsverkeer uitgezet tegen de te overbruggen hoogte

Naast het hellingspercentage zijn ook de top- en voetbogen van belang voor een verkeersveilige inpassing van de weg. Te krappe top- en voetbogen zorgen er voor dat de weggebruiker niet ver genoeg voor zich uit kan kijken om te zien wat er voor zich op de weg gebeurt om tijdig actie te kunnen ondernemen indien nodig.

De wenselijke afrondingsstraal van de bolle boog is afhankelijk van de snelheid en wel zodanig dat steeds voldoende stopzicht aanwezig moet zijn. Bolle verticale bogen (topbogen) moeten zodanig worden gedimensioneerd dat weggebruikers, met een ooghoogte op 1,10 m boven het wegdek binnen het stopzicht, voorwerpen van 0,20 m hoogte op het wegdek kunnen waarnemen. Deze keuze zorgt ervoor dat weggebruikers met een hoger gezichtspunt, bijvoorbeeld motorrijders (1,70 m), ook een goed overzicht hebben. Daarnaast is het met name op erftoegangswegen met één rijloper (en geringe verhardingsbreedte) van belang dat bestuurders van elkaar tegemoet rijdende voertuigen, elkaar tijdig kunnen opmerken zodat remmen en uitwijken nog mogelijk is.

De volgende waarden dienen daarom minimaal te worden gehanteerd.

Vaartworp (km/h)	Stopzicht (m)	r_{bol} (m)	Rijzicht (m)	r_{bol} (m)
80	105	2.464	200	6.487

Figuur 27; Minimale verticale boogstralen op basis van rijzicht en stopzicht op gebiedsontsluitingswegen buiten de bebouwde kom

Vaartworp (km/h)	m
60	1.250

Figuur 28; Minimale bolle bogen voor erftoegangswegen buiten de bebouwde kom



De holle boog of verticale voetboog wordt toegepast als afronding aan de onderkant van een verticale rechtstand onder een langshelling (bij grote hoogteverschillen). Bij geringe hoogteverschillen wordt de holle boog bij voorkeur direct op een bolle boog aangesloten.

Uit het oogpunt van comfort mag bij het doorrijden van de holle boog de verticale versnelling op een regionale stroomweg niet groter zijn dan $1,0 \text{ m/s}^2$. Bij gebiedsontstluitingswegen is deze waarde $0,5 \text{ m/s}^2$. De straal van holle bogen wordt om esthetische eisen (wegbeeld) echter aanzienlijk groter genomen dan op grond van rijtechnische overwegingen noodzakelijk is.

De duidelijkheid van het wegbeeld is maatgevend voor de dimensionering van de holle boog. Om de indruk van tegenbogen of knikken te vermijden in respectievelijk horizontaal gebogen of rechte wegvakken, moet de holle boog op gebiedsontstluitingswegen ten minste tweemaal zo groot zijn als de daaropvolgende bolle boog ($r_{hol} = 2 \times r_{bol}$).

Voor de wegen binnen de bebouwde kom worden de volgende minimale waarden voorgeschreven voor de top- en voetbogen, waarbij ook het uitgangspunt geldt dat de voetboog bij voorkeur tweemaal zo groot is als de topboog.

Ontwerpsnelheid [km/h]	Minimale bolle boogstralen [m]	Minimale holle boogstralen [m]
30	175	135
40	375	240
50	675	375

Figuur 29; Minimale waarden voor top- en voetbogen binnen de bebouwde kom

De volgende waarden voor rijzicht, stopzicht en uitwijkzicht worden voorgeschreven, waarbij wordt gesteld dat er minimaal moet uit worden gegaan van het benodigde stopzicht.

Hierbij wordt gemeten met een ooghoogte van 1,10 m boven de rijbaan.

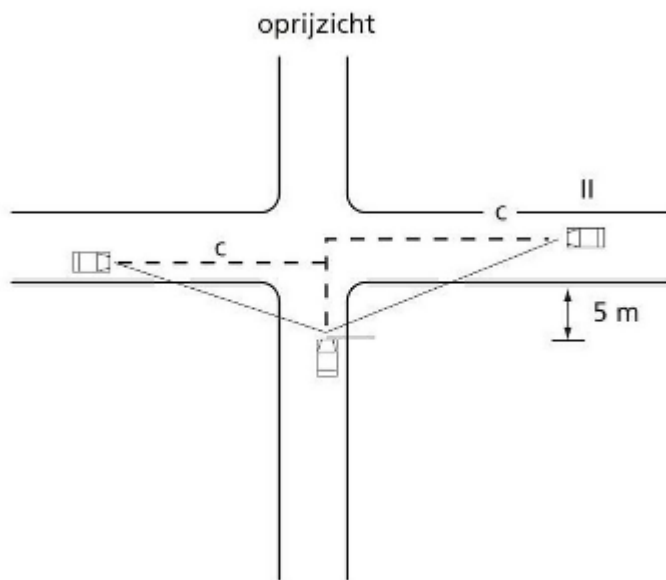
Ontwerp (km/h)	Rijzicht	Stopzicht	Uitwijkzicht
100	135	170	190
90	120	134	165
80	105	105	145
70	80	79	100
60	60	60	90
50	45	41	70

Figuur 30; minimaal benodigd rijzicht, stopzicht en uitwijkzicht bij verschillende ontwerpsnelheden



Voor een ontwerpsnelheid van 30 km/u bedraagt het stopzicht 25 m bij een perceptie-reactietijd van 2 seconden.

Om vanuit een zijweg veilig een weg op te kunnen rijden moet rekening worden gehouden met het benodigde oprijzicht. Deze wordt gemeten vanaf 5,0 m uit de kant van de rijbaan waar men op wil rijden.



Aard manoeuvre	Kritisch tijdsinterval (s)		Oprijzicht bij 80 km/h (m)	
	wegtype I	wegtype II	wegtype I	wegtype II
Linksaf vanaf hoofdrijbaan	5,5	5,0	125	110
Rechtsaf vanaf zijweg	5,5	5,5	125	125
Rechtdoor vanaf zijweg	6,5	6,0	145	135
Linksaf vanaf zijweg	7,0	6,5	155	145

Figuur 31; oprijzicht bij gebiedsontsluitingswegen buiten de bebouwde kom

Naderingssnelheid hoofdweg (km/h)	Oprijzicht vanaf zijweg (m)
60	100
50	80
40	75
30	75

Figuur 32; oprijzicht bij overige wegen binnen het plangebied



BIJLAGE 3 PIPINGGEVOELIGHEID GRIND

Pipinggevoeligheid grind en grindhoudende zanden Maasvallei,
Deltares 23 april 2018, kenmerk: 11202002-002-GEO-0002

Uitbreiding pipinggevoeligheid grind en grindhoudende zanden Maasvallei,
Deltares 19 maart 2019, kenmerk: 11202002-002-GEO-0005

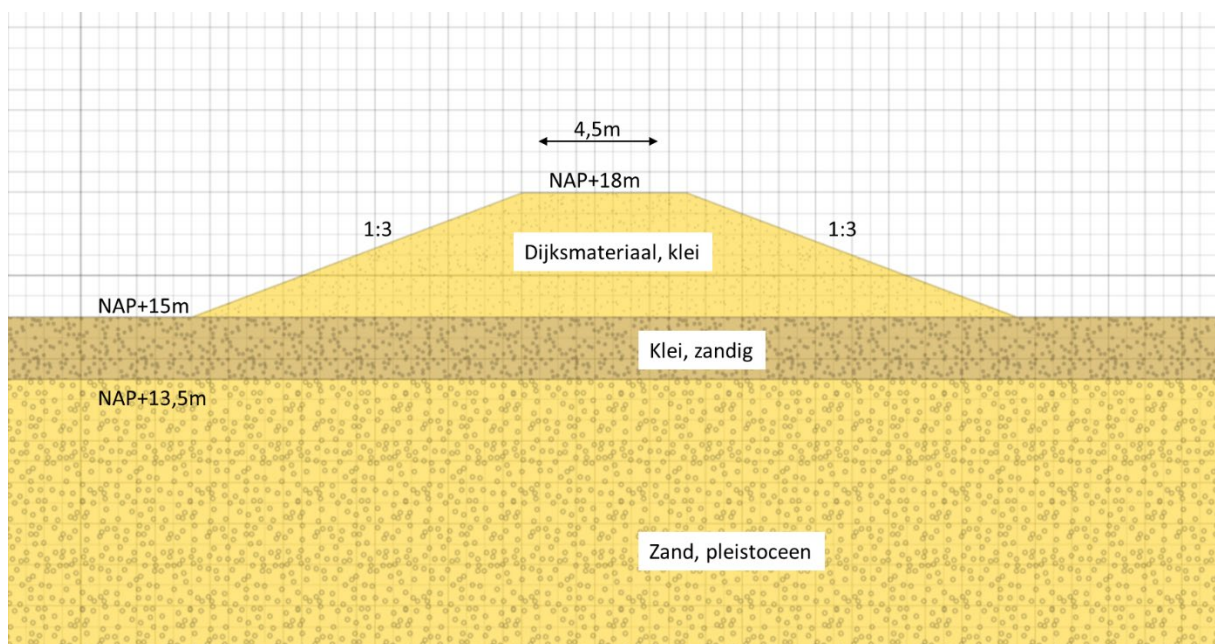


BIJLAGE 4 VERKEERSBELASTING

Onderzocht is tot welke waterstand verkeer met een belasting van 13 kN/m^2 op de kering kan rijden, waarbij de afschuifveiligheid hetzelfde is als bij een kering in combinatie met WBN en een verkeersbelasting van 4 kN/m^2 .

Op basis van KPR factsheet verkeersbelasting en macrostabiliteit, dd 28 juli 2016 is de verkeersbelasting bij de uiterste grenstoestand (UGT) op de kering 4 kN/m^2 en bij de bruikbaarheidstoestand (BGT) 13 kN/m^2 . In beide gevallen over een breedte van 2,5 m.

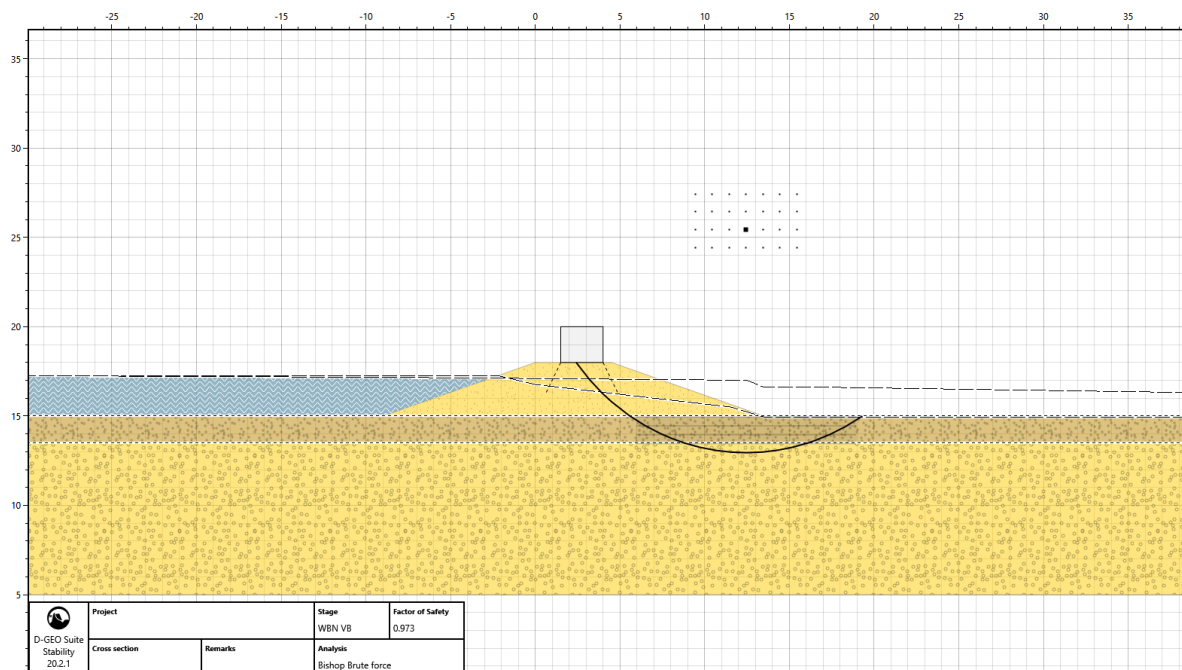
Voor deze analyse is de geometrie en bodemopbouw in Figuur 33 beschouwd bij een WBN van NAP+17,25m. De freatische lijn is geschematiseerd op basis Figuur 3 (pagina 24). De sterkte parameters zijn gebaseerd op Tabel 5 (pagina 21). Er is gerekend met gedraineerde CSSM parameters. Ter plaatse van de binnenteen is sprake van opbarsten waardoor de grenspotential ter plaatse van de binnenteen is geschematiseerd.



Figuur 33: beschouwde geometrie en bodemopbouw

Bij de basisberekening is de veiligheidsfactor berekend bij een WBN van NAP+17,25m en een verkeersbelasting van 4 kN/m^2 over 2,5m breedte en een spreiding van 26° met een degree of consolidation van 0% over de cohesieve lagen. Om het effect van de verkeersbelasting op de kering weer te geven is de insnede van de glijcirkel vastgelegd ter plaatse van het midden van de verkeersbelasting. Hierbij is gerekend met het glijvlakmodel Bishop. De berekende veiligheidsfactor is 0,973.





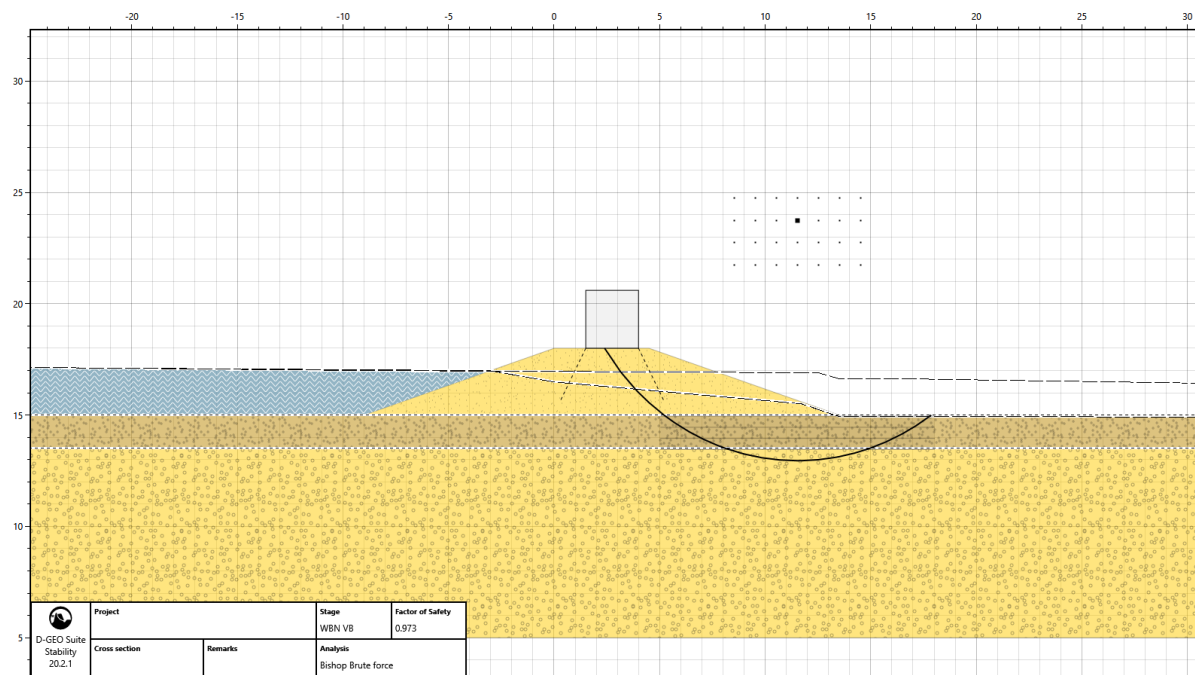
Figuur 34: 4 kN/m² met constraints halverwege verkeersbelasting SF=0,973.

Om vast te stellen bij welke waterstand een verkeersbelasting van 13 kN/m² de waterkering dezelfde afschuifveiligheid heeft als de waterkering bij WBN met een verkeersbelasting van 4 kN/m² is de buitenwaterstand verlaagd en de afschuifveiligheid berekend.

Bij een waterstandverlaging van WBN-0,25 m (= NAP +17 m) is de berekende afschuifveiligheid 0,973. In de berekening zijn de freatische lijn en de stijghoogte aangepast op basis van de buitenwaterstand. Hierbij is de berekende afschuifveiligheid met een verkeersbelasting van 13 kN/m² gelijk aan de afschuifveiligheid bij WBN in combinatie met een verkeersbelasting van 4 kN/m².

CONCLUSIE: VOOR EEN GEMIDDELTE DIJK IN DE NOORDELIJKE MAASVALLEI IS EEN ZWARE VERKEERSBELASTING TOEGESTAAN TOT EEN TAMELIJK HOGE WATERSTAND (WBN-0,25 M). DOOR LOKALE STEILERE TALUDHELLING, DIJKHOOGTE OF BODEMOPBOUW KAN HET VOORKOMEN DAT REEDS BIJ LAGERE WATERSTANDEN EEN DERGELIJK VERKEERSBELASTING ALS "ONVERSTANDIG" MOET WORDEN BESCHOUWD. DAAROM WORDT EEN VEILIGE MARGE AANGEHOUDEN VAN FACTOR TWEE OFWEL WBN-0,5 M.





Figuur 35: belasting 13 kN/m^2 en WBN-0,25m, $SF=0,973$.



BIJLAGE 3: ANALYSE RESULTATEN MEETNET EN EFFECTEN SCHERMEN



MEMO

Onderwerp:
Analyse resultaten meetnet en effecten schermen Steyl-
Maashoek

Ons Kenmerk:
IO.26.DR68B.04.01

Opgesteld door:
Martijn Asschert en Hendrik Meuwese

Versie

Van:
Martijn Asschert

Datum:
11-11-2019

Aan:
John Roubos

Kopiën aan:
Kees Dorst

Inleiding

Aanleiding

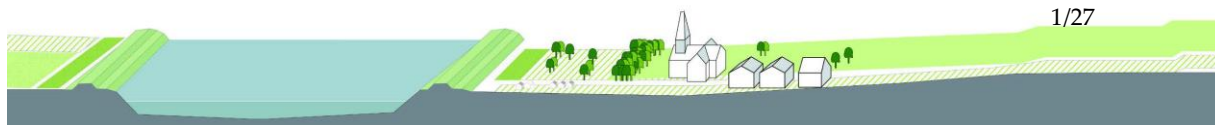
Voor de dijkversterking Steyl-Maashoek wordt voorgesorteerd op een D&C-contract waarbij de marktpartij niet op voorhand moet worden beperkt in een oplossingsruimte als dit niet nodig is.

Doel

Kan op basis van huidige beschikbare inzichten en informatie een eindconclusie kunnen worden getrokken over het risico op grondwateroverlast (grondwaterstanden en kelderniveaus) als gevolg van opstuwende effecten onder dagelijkse (natte) omstandigheden wanneer een nieuwe waterondoorlatende constructie wordt toegepast? Of is hiervoor nog aanvullend onderzoek nodig? Zo ja, welk onderzoek en wat is de verwachte winst van dat onderzoek.

Leeswijzer

In hoofdstuk 2 wordt gestart met het geven van de uitgangspunten en randvoorwaarden. Hieronder valt de huidige situatie, de toekomst benaderde situatie en aannames omtrent grondwaterstanden, kelders en de aan te brengen verticale constructie. In hoofdstuk 3 wordt vervolgens de systeemanalyse voor de huidige situatie in Steyl-Maashoek gegeven. De situatie wordt in hoofdstuk 4 vergeleken met de case van de dijkversterking te Mook. Tot slot wordt in hoofdstuk 5 de systeemanalyse voor de toekomstige situatie in Steyl-Maashoek gegeven en worden in hoofdstuk 6 de conclusies gepresenteerd.



2. Uitgangspunten en randvoorwaarden

Locatie en huidige verticale constructie

Overzicht van het Tracé Steyl-Maashoek is gegeven in Figuur 2. In de huidige situatie bij Steyl-Maashoek is een verticale constructie aanwezig voor secties 2 en 3. Sectie 1 heeft in de huidige situatie geen verticale constructies. De verticale constructies zijn relatief ondiep met respectievelijk ingeschat +11,4 en +14,6 m NAP. De huidige L-wand is een constructie op palen. De verticale constructie wordt daardoor als doorlatend beoordeeld (mondelinge informatie Waterschap Limburg).



Figuur 2 Tracé Steyl-Maashoek, secties afkomstig uit [ref. 2]

Dagelijks natte omstandigheden

Ter definitie van de dagelijks natte omstandigheden wordt als uitgangspunt een zogenoemde gemiddelde hoge grondwaterstand (GHG) bedoeld. Dit is een ander uitgangspunt als bij een hoogwatersituatie.

De landelijke methode voor de GHG is het gemiddelde van de drie hoogste waarnemingen per jaar gedurende 8 jaar, wanneer elke halve maand een grondwaterstand wordt waargenomen. Deze methode is voor Steyl niet direct toepasbaar omdat lokaal kortere waarnemingen beschikbaar zijn, en het toepassen van de half maandelijks interval geen recht doet aan de continue waarnemingen van de grondwaterstand die beschikbaar zijn. Daarom is op basis van ervaring een methode gekozen die in de volgende paragraaf wordt toegelicht.

Grondwaterstanden

In Tabel 1 en Figuur 1 zijn de gegevens en locaties gegeven voor de freatische peilbuizen bij Steyl-Maashoek. De waarnemingen in deze freatische buizen, én de diepere peilbuizen zijn in bijlage II opgenomen. Met behulp van de waarnemingen tussen maart 2017 t/m mei 2019 zijn de dagelijks natte omstandigheden verkregen. Op basis van ervaring is beoordeeld dat de gemiddelde grondwaterstand van 1 december 2017 tot en met 1 april 2018 representatief is voor de dagelijkse natte grondwaterstand.

Tabel 1 Overzicht peilbuisdata freatische filterstellingen (locatie weergegeven in Figuur 1)

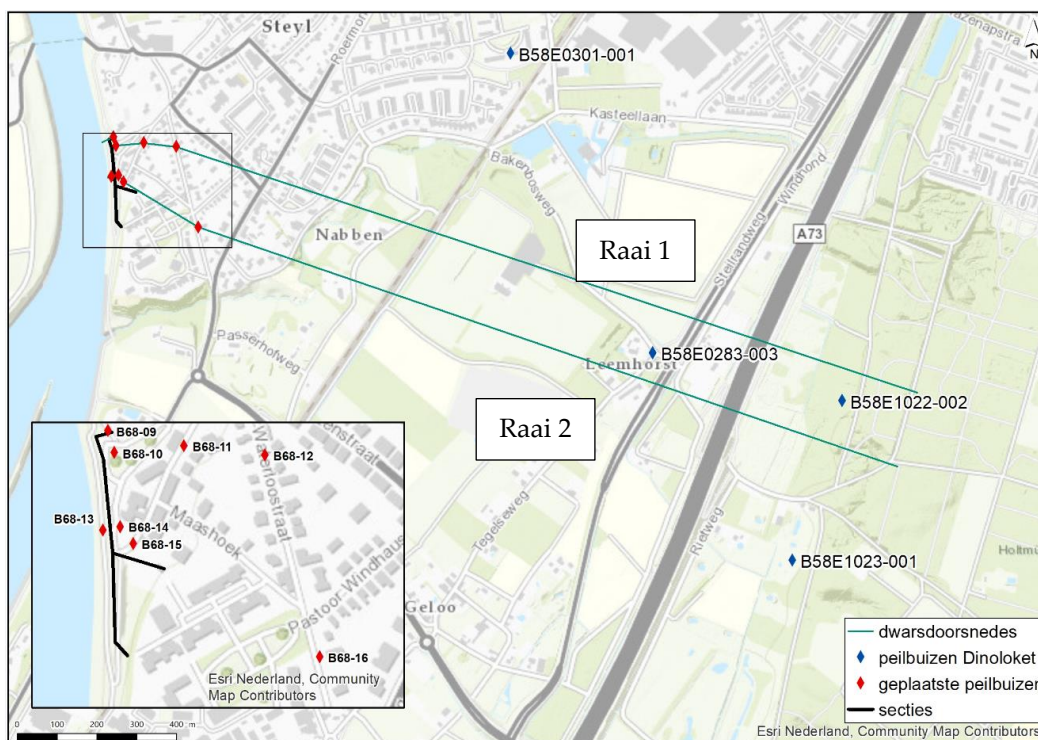
Peilbuis	Filterdiepte [m NAP]	Maaiveld [m NAP]	Dagelijks natte GWS [m NAP]	Dagelijks natte GWS [m -mv]
B68-09-3	11.67	17.56	13.25	4.31
B68-10-3**	14.34	16.85	13.65	3.20
B68-11-3	12.92	18.44	13.69	4.75
B68-12-3	12.17	22.12	13.85	8.27



Peilbuis	Filterdiepte [m NAP]	Maaiveld [m NAP]	Dagelijks natte GWS [m NAP]	Dagelijks natte GWS [m -mv]
B68-13-3*	7.07	13.86	12.87	0.99
B68-14-3	8.97	16.93	13.42	3.51
B68-15-3	12.86	16.98	13.46	3.52
B68-16-3	12.61	23.56	13.84	9.72
B58E0301	14.82	22.70	17.00	5.70
B58E0283	20.58	22.20	20.48	1.72
B58E1022	22.47	23.70	23.60	0.10

* Buitendijkse peilbuis. Andere peilbuizen zijn allen binnendijks

** Valt droog tijdens behalve bij hoogwater. Inschatting gedaan op basis van de trend uit de omliggende peilbuizen



Figuur 1 Overzicht dwarsdoorsneden en data

Het huidige verhang in de freatische grondwaterstand is circa 5,5 m per kilometer tussen de westzijde van de A73 en Steyl.

Kelders

Er is geen kelderinventarisatie beschikbaar voor het traject Steyl-Maashoek. Ten behoeve van de kelderdieptes dient een aanname te worden gedaan. Op basis van ervaring en literatuur (Deltares 2017) is een kelderdiepte van 2,5 m-mv aangehouden.

Toekomstige verticale constructie

In de toekomstige situatie wordt een verticale constructie geplaatst als beheersmaatregel tegen het faalmechanisme piping. Het niveau en de waterondoorlatendheid worden uiteindelijk in het D&C-contract bepaald. Voor de geohydrologische effect beoordeling worden de volgende uitgangspunten aangehouden:

- De constructie is ondoorlatend. Wanneer in het D&C-contract de constructie (enigszins) doorlatend wordt, dan neemt de in deze memo beschouwde impact af
- De maximale diepte is 20 m-mv. Wanneer in het D&C-contract de constructie dieper wordt, dan kán de impact toenemen, wanneer de constructie ondieper wordt dan neemt de in deze memo beschouwde impact af

3. Systeemanalyse huidige situatie Steyl-Maashoek

In bijlage I is een volledige analyse van de huidige grondwatertand in Steyl-Maashoek tijdens dagelijks natte omstandigheden. De grondwaterstand is op kaart weergegeven in figuur 2. De conclusies van de analyse voor dagelijks natte omstandigheden zijn dat:

- De grondwaterstroming vanuit het oosten naar de Maas is. De huidige L-wand heeft daarbij een beperkte opstuwende werking. Alleen de bovenste meters van de ondergrond worden afgesloten, doordat de verticale constructie een L-wand op palen betreft en daarmee als enigszins doorlatend beschouwd kan worden. Deze laag staat volgens de waarnemingen in peilbuizen overwegend droog;
- Ter plaatse van de bebouwing varieert de grondwaterstand tussen -3,0 en -4,0 m-mv. Dit betekent dat de grondwaterstand 0,5 tot 1,5 m beneden de kelders wordt verwacht. De lokale situatie kan hiervan afwijken;
- In tuinen en openbaar gebied wordt geen risico tot grondwateroverlast verwacht, want waarnemingen in peilbuizen blijven dieper dan 0,5 m onder maaiveld.



Figuur 2 Schematische kaart met grondwaterstand tijdens dagelijks natte omstandigheden in huidige situatie

4. Vergelijking Steyl-Maashoek met uitgevoerde werkzaamheden Mook

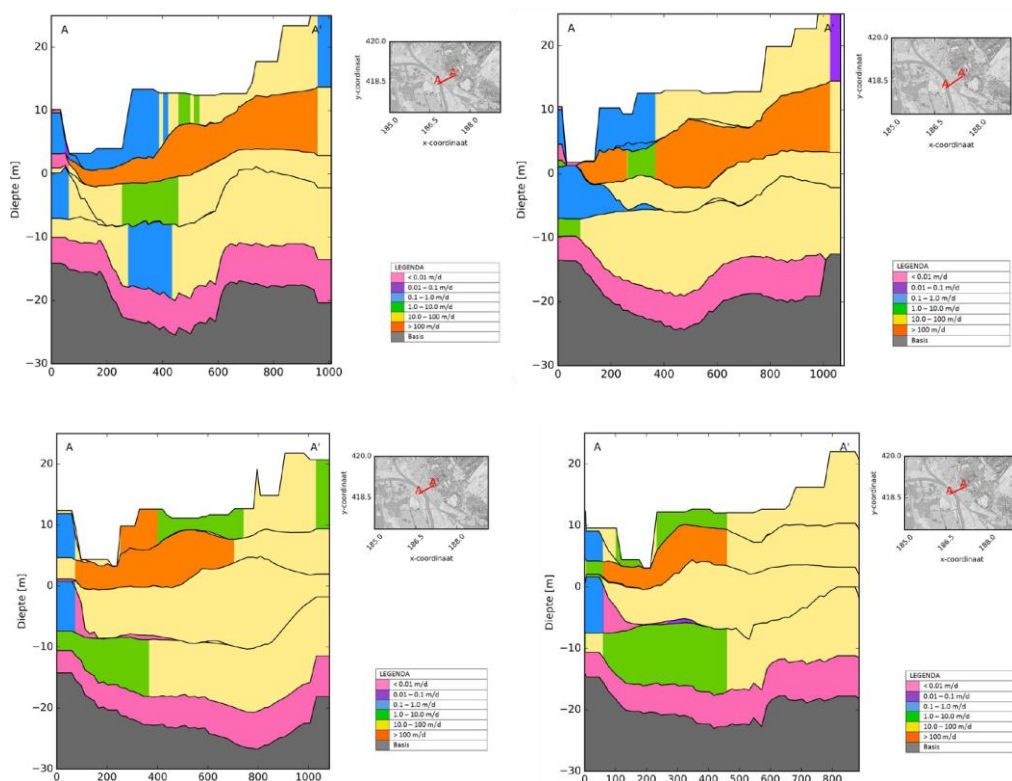
In Mook heeft Waterschap Limburg reeds een verticaal scherm geïnstalleerd voor de dijkversterking. De ervaringen op deze locatie kunnen relevant zijn voor de beoogde werkzaamheden in Steyl-Maashoek. Dit hoofdstuk geeft allereerst een analyse of beide situaties overeenkomen, en welke ervaringen kunnen worden meegenomen in de analyse voor Steyl-Maashoek.

Bodemopbouw

In Figuur 3 zijn de doorsneden met de bodemopbouw bij Mook gegeven. De kleuren zijn geschematiseerd aan de hand van de horizontale doorlatendheid. Een doorlatendheid kleiner dan 1 meter per dag geeft een slecht doorlatende laag aan (kleur: paars of blauw). Een doorlatendheid groter dan 1 m/d staat voor een watervoerende zandige of grindige laag (kleur groen, geel of oranje).

Bij Mook volgt nabij de Maas eerst een ondiepe sectie met wat slecht doorlatend materiaal, waaronder zich een grindige doorlatende laag bevindt. Verder in het achterland is in de ondiepe ondergrond weinig tot geen slecht doorlatend materiaal aanwezig, waardoor het grondwater relatief "goed" kan stromen. Ingeschat is dat bij Mook het grondwater zijn weg richting de Maas met name kan vinden door of onder de grindige laag die aanwezig is rond circa 0 meter NAP. [1]





Figuur 3 Impressie bodemopbouw Mook via 4 verschillende doorsnedes [1]

In vergelijking met het traject Steyl-Maashoek (verdere informatie in Bijlage I) is de overeenkomst de grindige laag. Daarnaast zijn een aantal eigenschappen in de bodemopbouw verschillend ten opzichte van de situatie bij Mook:

Wanneer de doorsnedes van 2 raaien bij Steyl-Maashoek bekeken worden wordt vooral een verschil in ondiepe bodemopbouw gezien wat betreft kleiige en veenachtige verstoringen. Het achterland bevat ook enige deklaag. De ondiepe bodemeigenschappen bij Steyl-Maashoek bestaan uit een zandige toplaag met daaronder een slecht doorlatende laag. Waar deze slecht doorlatende laag bij Mook in het achterland niet aanwezig is, loopt deze in Steyl tot ver in het achterland door (minimaal circa 200-250 meter), waardoor de weg voor het grondwaterstromingen vanuit het achterland meer weerstand ondervindt.

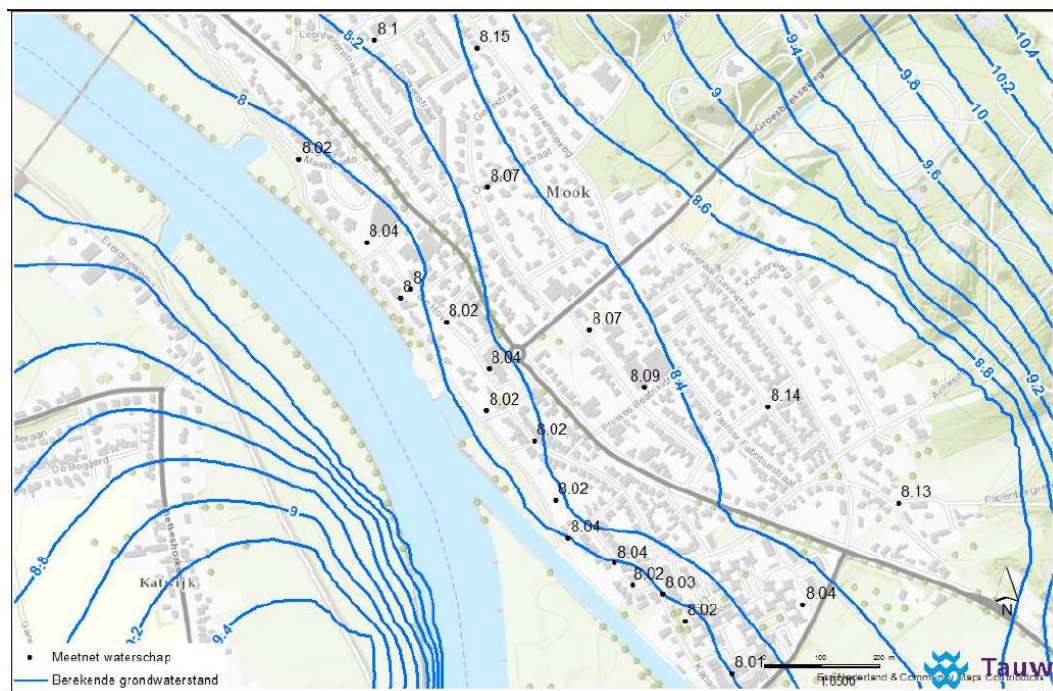
- Voor de diepere bodemlagen is raai 1 in Steyl-Maashoek vergelijkbaar met Mook want overwegend zandig. Raai 2 toont een complexere laagopbouw met een aantal dieper gelegen slecht doorlatende lagen. De verticale stroming in raai 2 krijgt dus te maken met grotere weerstand dan in Mook.

Verhang grondwaterstand

Om een vergelijkbare situatie te bekijken moet het grondwaterverhang niet te grote verschillen tonen. Het grondwaterverhang richting de Maas staat direct in relatie met de stroomsnelheid van het grondwater richting de Maas. In Figuur 5 zijn de isohypsen van de situatie in Mook gegeven tijdens dagelijkse natte omstandigheden voor de plaatsing van de wand. Het verhang in de grondwaterstand is op circa 1 km ongeveer 2,5 m hoger.



Het grondwaterverhang bij Steyl-Maashoek is opgenomen in hoofdstuk 2, en 2 keer zo groot als bij Mook.

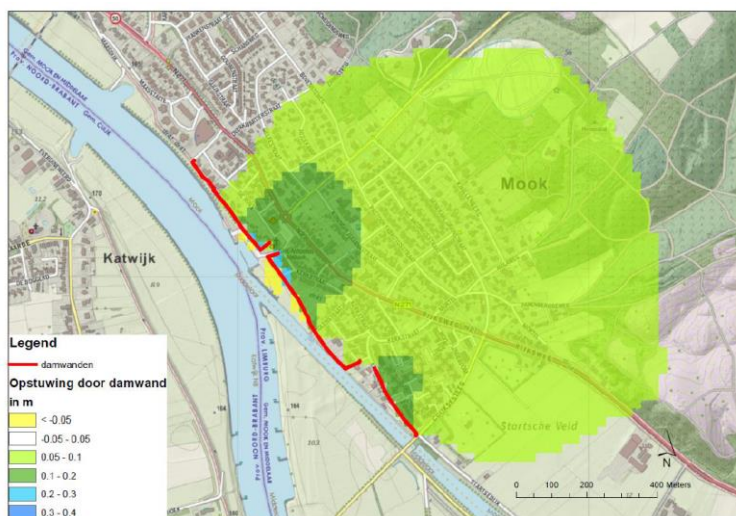


Figuur 5 gemeten en berekende gemiddelde grondwaterstand Mook (+m NAP) [2]

Verticale constructie en opstuwing

De ondoorlatend gemodelleerde damwanden in de situatie voor Mook hebben een diepte van circa 10 tot 15 m-mv [2]. Dit betekent dat de grindige laag wordt afgesloten.

De berekende opstuwing tijdens een gemiddelde natte dagelijkse situatie is gegeven in Figuur 7 en is maximaal circa 0,3 m bovenstrooms van de verticale constructie. De 0,05 m verhogingscontour ligt op circa 750 meter van de verticale constructie in het achterland. Aan benedenstroomse zijde wordt een verlaging berekend van 0,05 m of meer.



Figuur 7 Berekende opstuwing bij een gemiddelde natte dagelijkse situatie (GHG) [2]

De constructie is inmiddels uitgevoerd, en de grondwaterstand wordt momenteel (november 2019) nog gemonitord. De tussentijdse conclusie [3] is dat de waargenomen verhoging kleiner is dan de berekening. In het overgrote deel van de peilbuizen geen verhogingen worden gevonden. Een langere reeks is volgens Deltares nodig om voor de peilbuizen waar wel een verhoging is gemeten een uitspraak te kunnen doen over de relatie tussen de waargenomen en de plaatsing van de wanden.

Conclusie

De situatie voor mogelijke opstuwing bij het traject Steyl-Maashoek kan niet één op één gerelateerd worden aan de situatie bij Mook, omdat:

- Het verhang bij Steyl-Maashoek groter is, ofwel het grondwater stroomt sneller;
- De bodemopbouw bij Steyl-Maashoek meer slecht doorlatende lagen bevat, ofwel watervoerende lagen worden eerder geheel afgesloten en verticale stroming rondom het scherm kan minder makkelijk plaatsvinden.

Bovenstaande betekent dat een verticaal scherm bij Steyl-Maashoek tot een groter effect op de grondwaterstand kan geven dan bij Mook, door het snellere stromende grondwater met een slechter verticaal doorlatend pakket.

De ervaringen tussen de vooraf uitgevoerde modelstudie en waargenomen effecten bij Mook kunnen worden gebruikt in het vervolg van het traject Steyl-Maashoek.

5. Systeemanalyse toekomstige situatie Steyl-Maashoek

In Figuur 3 is op basis van ervaring ingetekend hoe de situatie in de toekomst kan wijzigen tijdens dagelijkse natte omstandigheden. Daarbij zijn de volgende overwegingen gebruikt:

- De toekomstige wand is waterondoorlatend, de huidige wand is enigszins waterdoorlatend. Bij gelijke lengte neemt de impact van de wand toe.
- Wanneer de wand dieper wordt gezet, dan wordt niet alleen het freatische pakket afgesloten, maar ook de dieper gelagen grindlaag. Dit resulteert in de blokkade van een (of meer) laag(en) met een hoge doorlatendheid. Dit heeft een negatief effect ten behoeve van opstuwing. De opstuwing valt hoger uit.
- Vanaf diepte van circa 20 meter van de verticale constructie word geen aanvullende opstuwing verwacht. Raai 2 uit bijlage I toont dieper gelegen nog een slecht doorlatende laag, maar aangezien deze in de dichtbij liggende raai 1 niet gevonden wordt is het vermoeden dat deze niet vlakdekkend aanwezig is.
- Bovenstaande betekent dat de freatische grondwaterstand tijdens natte omstandigheden toeneemt. De toename is afhankelijk van verschillende factoren. Op basis van ervaring, waaronder de analyse in het vorige hoofdstuk, wordt een toename in een bandbreedte van 0,1 tot 1,0 m realistisch verwacht. Een grotere stijging kan op basis van ervaring niet worden uitgesloten.
- Bovenstaande inschatting komt overeen met een grondwaterstand tijdens dagelijkse natte omstandigheden van 2 tot 3 m -mv, dat is deels gelijk of hoger dan het kelderniveau stijgt (2,5 m-mv). Het risico op (grond)wateroverlast in kelders neemt toe.



Figuur 3 Schematische kaart met grondwaterstand tijdens dagelijks natte omstandigheden in toekomstige situatie

Bovenstaande analyse is voor de dagelijkse natte omstandigheden. Beschreven is dat deze waterstand waarschijnlijk stijgt. Wanneer deze stijgt dan neemt de berging die beschikbaar is voor nattere of

hoogwater perioden af. Tijdens die momenten is er vervolgens een groter risico op eerder en/of langer optreden van wateroverlast.

6. Conclusie

de freatische grondwaterstand tijdens natte omstandigheden toeneemt. De toename is afhankelijk van verschillende factoren, o. Een grotere stijging kan op basis van ervaring niet worden uitgesloten.

- Bovenstaande inschatting.

In Steyl-Maashoek is een nieuwe waterondoorlatende constructie voorzien. Op basis huidige beschikbare inzichten en informatie is geconcludeerd dat het risico op grondwateroverlast (grondwaterstanden en kelderniveaus) als gevolg van opstuwende effecten onder dagelijkse (natte) omstandigheden aanwezig is, omdat op basis van ervaring een toename in een bandbreedte van 0,1 tot 1,0 m realistisch wordt geacht. Dit komt overeen met een grondwaterstand tijdens dagelijkse natte omstandigheden van 2 tot 3 m -mv, dat is deels gelijk of hoger dan het kelderniveau stijgt (2,5 m-mv). Het risico op (grond)wateroverlast in kelders neemt toe.

Ten behoeve van tuinen en overig groen ligt de grondwaterstand op een diepte van minimaal 0,5 m -mv en is grondwateroverlast tijdens een dagelijks natte situatie niet verwacht.

Aanvullend onderzoek kan mogelijk winst op leveren ten behoeve van de conclusie tot overlast bij kelders. Geadviseerd wordt om (nabij de toekomstige verticale constructie) een kelderinventarisatie uit te voeren.

Een ander optie bestaat uit een aanvullende analyse met behulp van een 2D-doorsnede MODFLOW model om de stationaire situatie bij een dagelijks natte grondwaterstand door te rekenen. Deze berekeningen hebben door de huidige conservatief gekozen aannames de mogelijkheid de geschatte grondwaterstanden onder maaiveld tijdens een dagelijks natte situatie aan te scherpen.

Bovenstaande conclusies gelden tijdens dagelijkse natte omstandigheden. Tijdens hoogwater treden andere processen op. De impact van de nieuwe waterondoorlatende constructie is geen onderdeel van de opdracht. Opgemerkt wordt dat door de hogere grondwaterstand tijdens dagelijkse natte omstandigheden bij hoogwater het grondwater sneller merkbaar kan stijgen een daardoor eerder en langer tot grondwateroverlast of natte kelders kan leiden.

Bibliografie

- [1] Deltares, „Modellering prioritaire dijkversterking perceel 1 - Dijkkring 54 - te Mook,“ Deltares, Delft, 2017.
- [2] TAUW, „Grondwaterstanden en ontwateringsdiepte in Mook,“ TAUW, Deventer, 2017.
- [3], Deltares, Plan van aanpak, afroding opdracht Deltares, augustus 2019





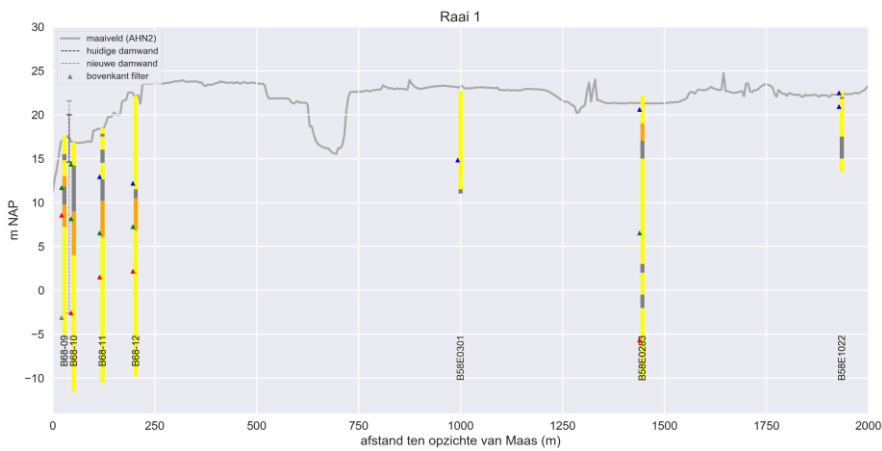
Bijlage I : Bodem- en peilbuisgegevens Steyl-Maashoek

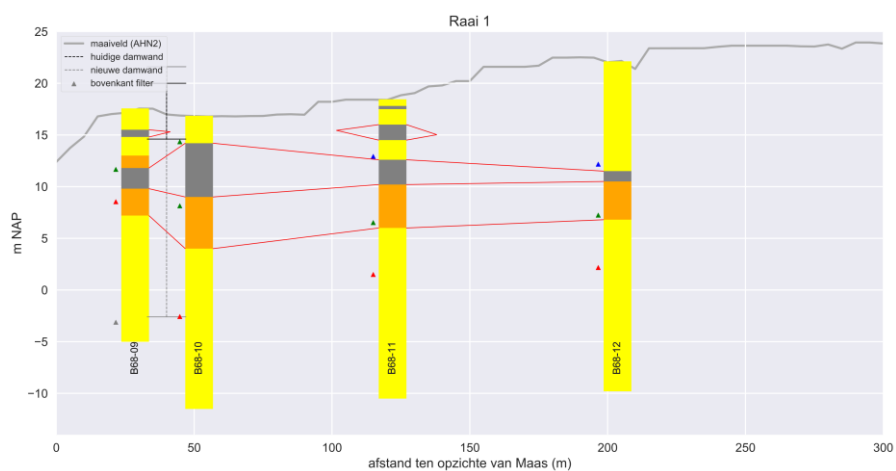
Ondergrond karakteristiek

De bodemopbouw is visueel weergegeven in twee dwarsprofielen (zie Figuur 1 en Figuur 2). Opmerkelijk is dat in raai 2 meer ondoorlatend materiaal aanwezig is in vergelijking met raai 1. Met name tussen de NAP 10 en -5 m bevinden zich in raai 2 twee ondoorlatende lagen waar de bodem in dit gebied bij raai 1 bestaat uit grind en zand. Over het algemeen zijn bij raai 1 twee en bij raai 2 vier watervoerende pakketten te onderscheiden (zie Tabel 1Error! Reference source not found.).

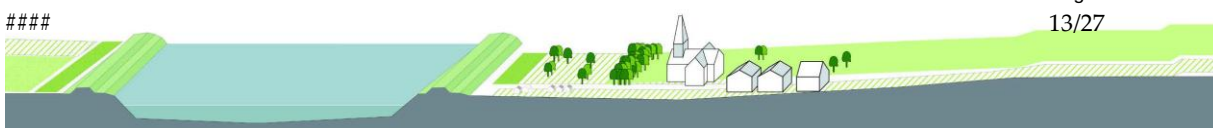
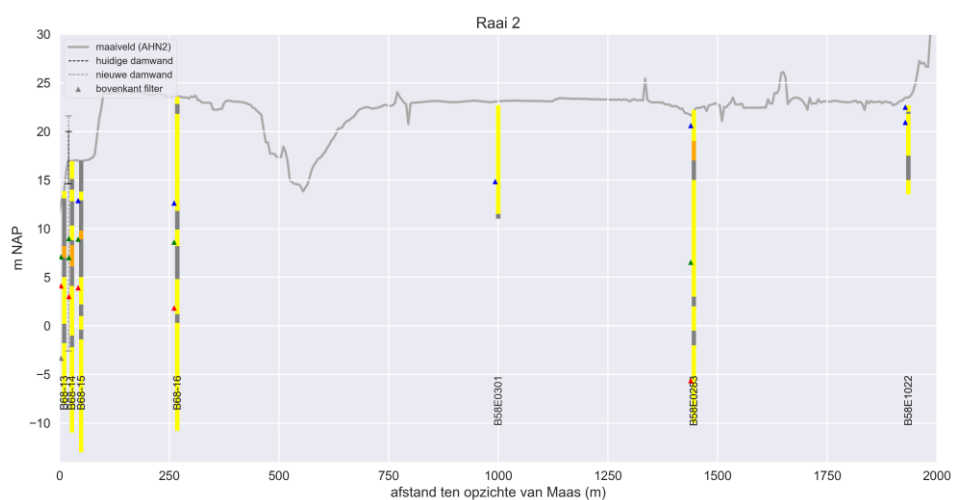
Tabel 1 Schematische weergave watervoerende pakketten

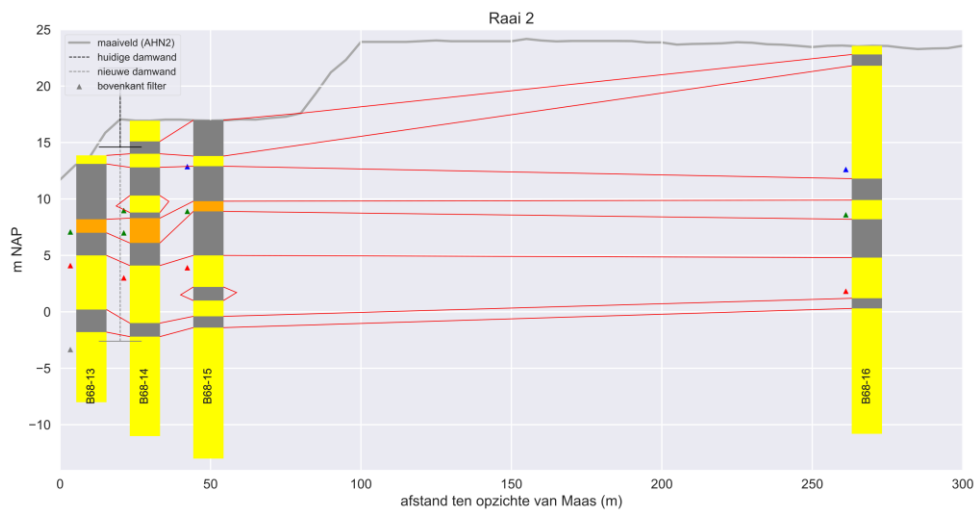
	Raai 1 [in m NAP]		Raai 2 [in m NAP]	
	van	tot	van	tot
WVP 1	mv	+13	mv	+14
WVP 2	+10	< -10	+9	+7
WVP 3			+5	0
WVP 4			-1	<-10





Figuur 1 Doorsnede raai 1 met bodemprofielen met in geel zand, grijs klei/leem/veen en oranje grind

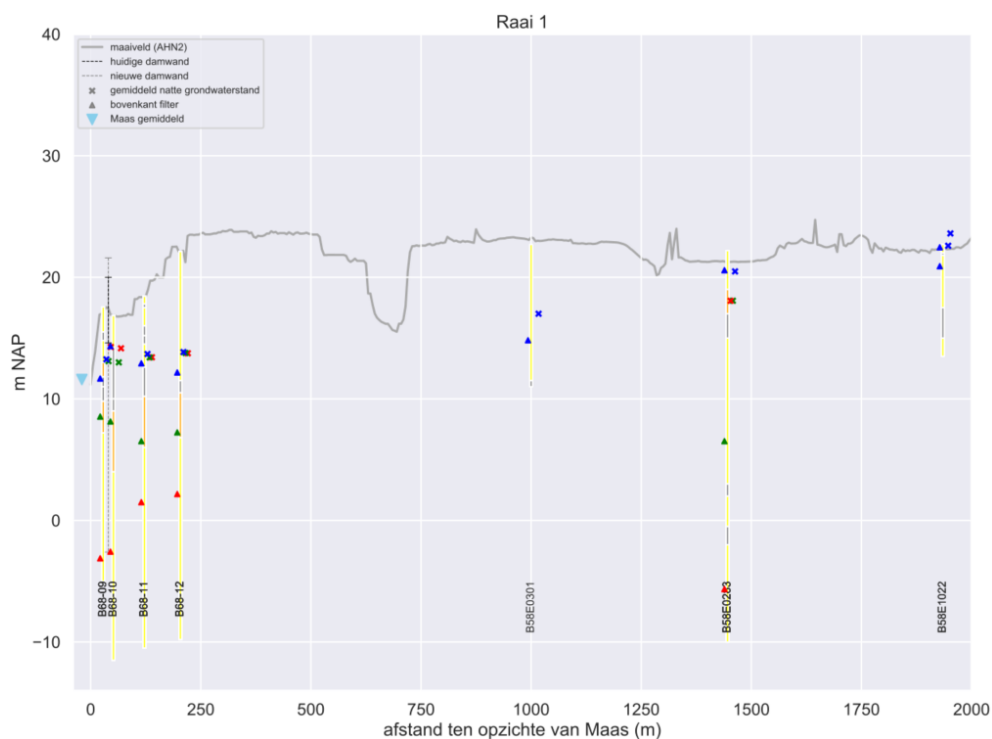




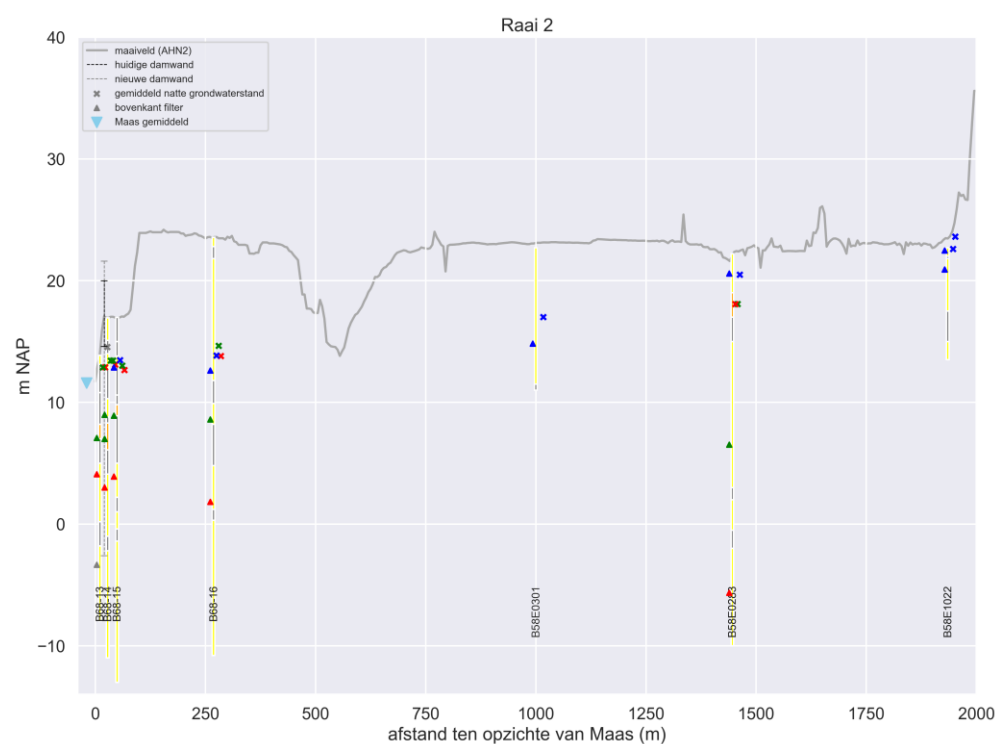
Figuur 2 Doorsnedes raai 2 met bodemprofielen met in geel zand, grijs klei/leem/veen en oranje grind

Figuur 3 en Figuur 4 geven de lokale doorsnedes weer. Uit de doorsnedes kan het volgende beeld worden opgemaakt:

- Van de bemeten filters staat filter 10-3 (raai 1) het grootste gedeelte van het jaar droog, enkel tijdens de hoge Maaspeilen wordt hier een waterpeil gemeten, hiervan is dus ook geen gemiddelde waarde weergegeven. Het pakket is dus alleen watervoerend tijdens hoogwater.
- de ondiepe (freatische) filters in de peilbuizen behorende bij het meetnet tonen een vertraagde en verminderde verhoging als gevolg op een verhoogd Maaspeil. Zo zijn 2 pieken in het Maaspeil eind 2017 niet zichtbaar in filter 9-3. De twee diepe filters in deze peilbuis reageren wel direct op wijzigingen in het Maaspeil, dit bevestigt de relatieve ondoorlatendheid van de scheidende laag tussen WVP1 en 2 in raai 1.

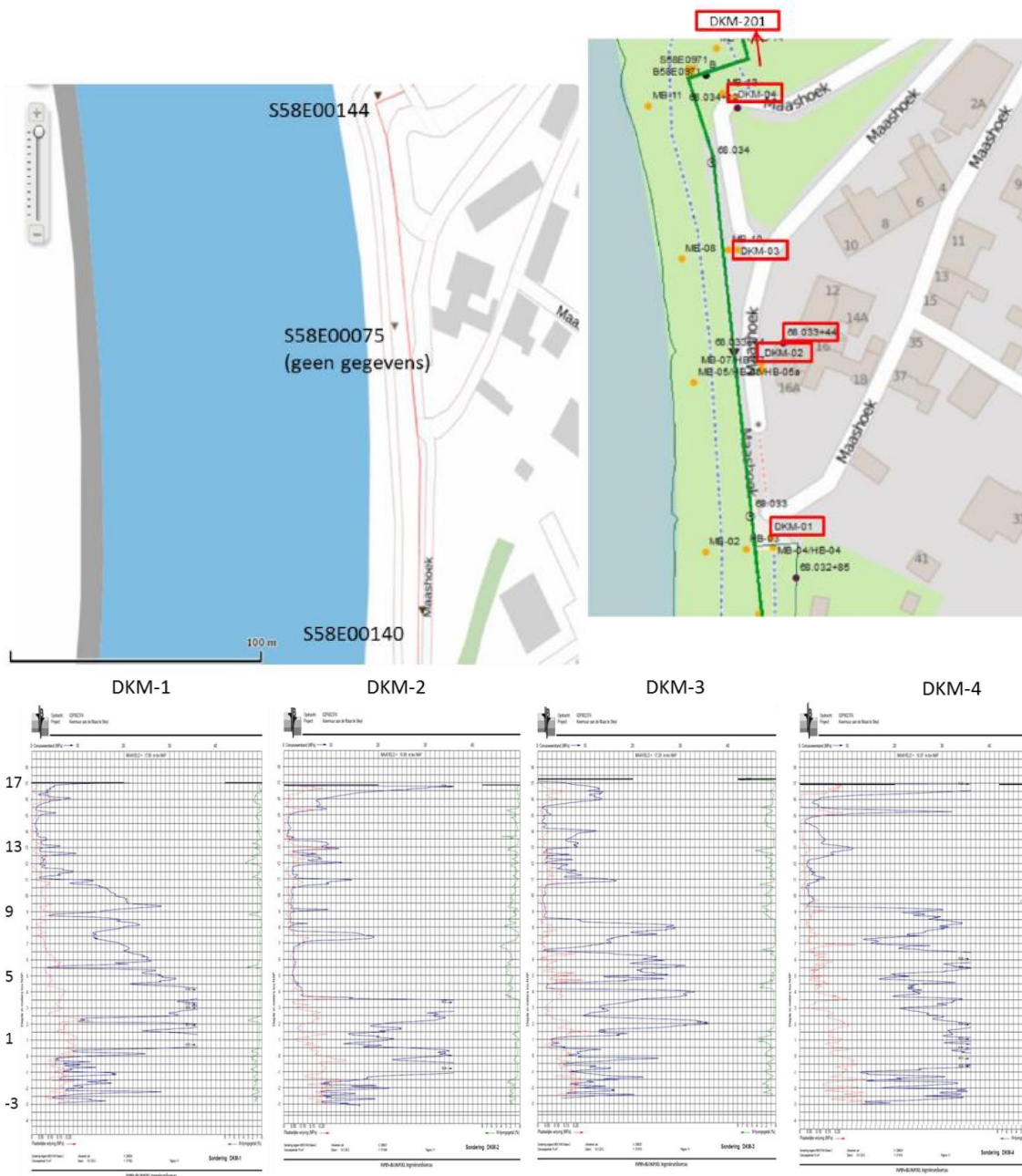


Figuur 3 Regionale doorsnede raai 1 met bodemprofielen en waargenomen gemiddeld dagelijks natte grondwaterstanden



Figuur 4 Regionale doorsnede raai 2 met bodemprofielen en waargenomen gemiddeld dagelijks natte grondwaterstanden

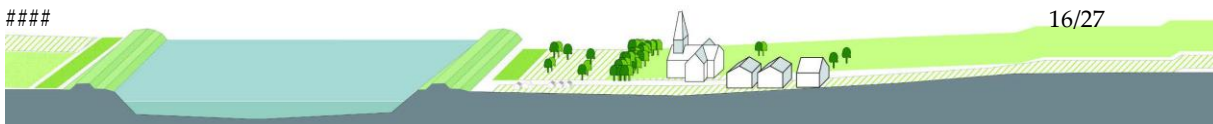
Bodemdata uit Deltares-rapport [ref. 1]



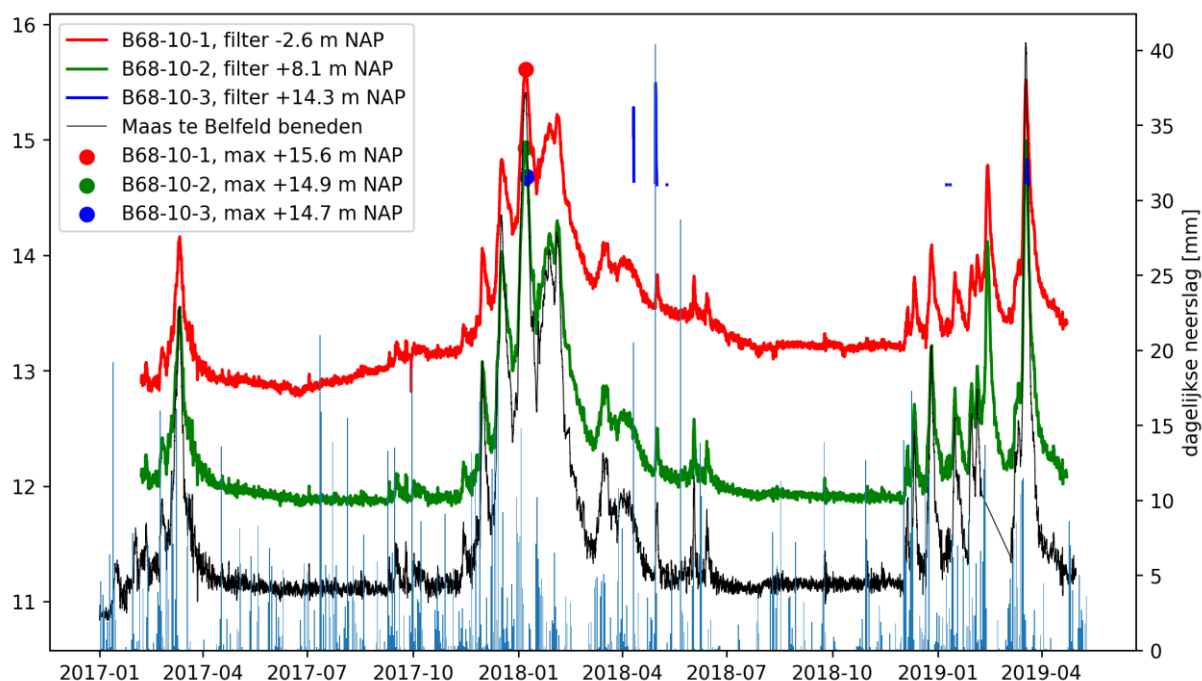
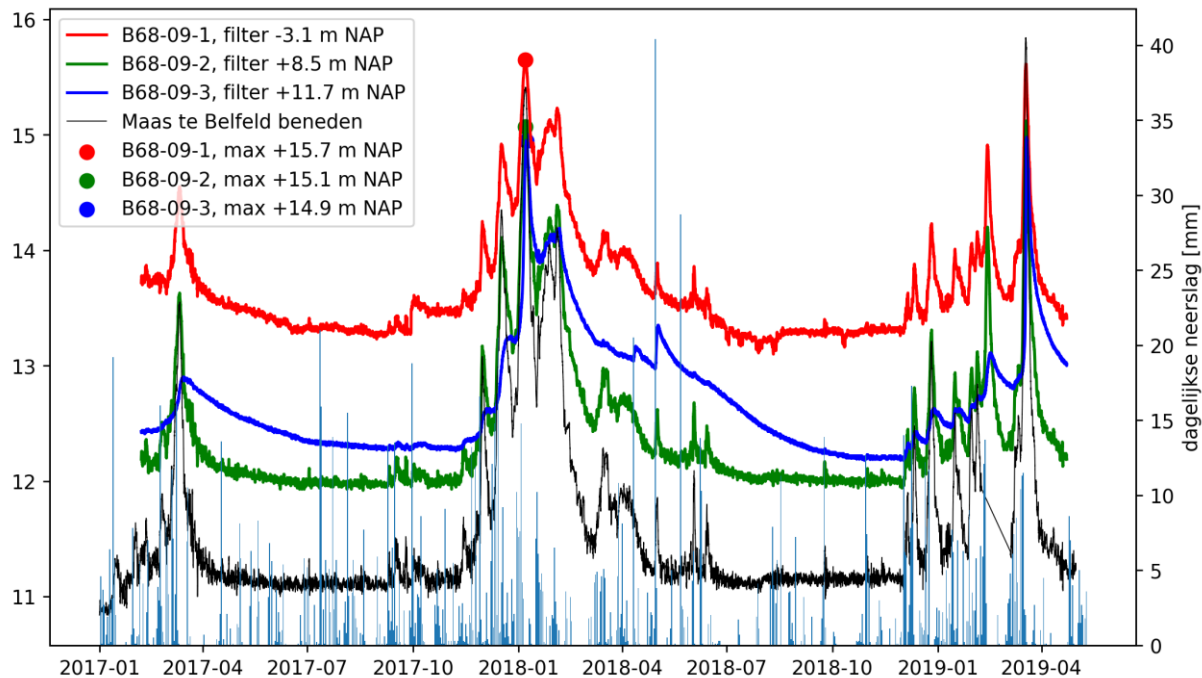
HWBP Noordelijke Maasvallei

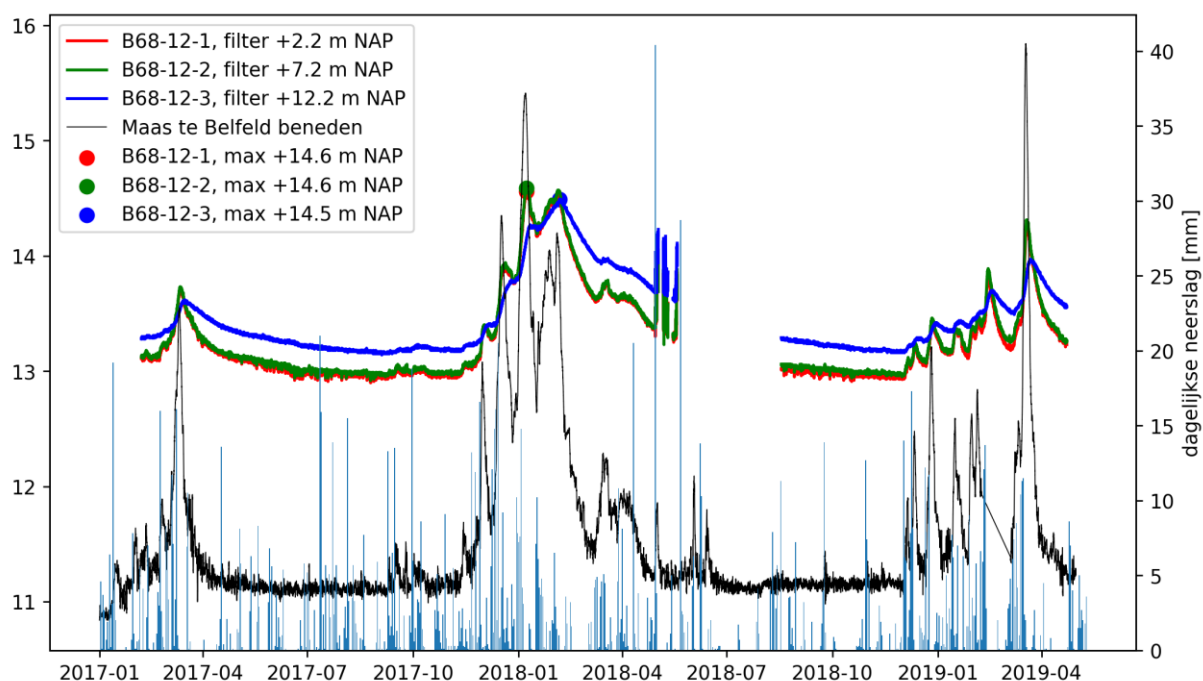
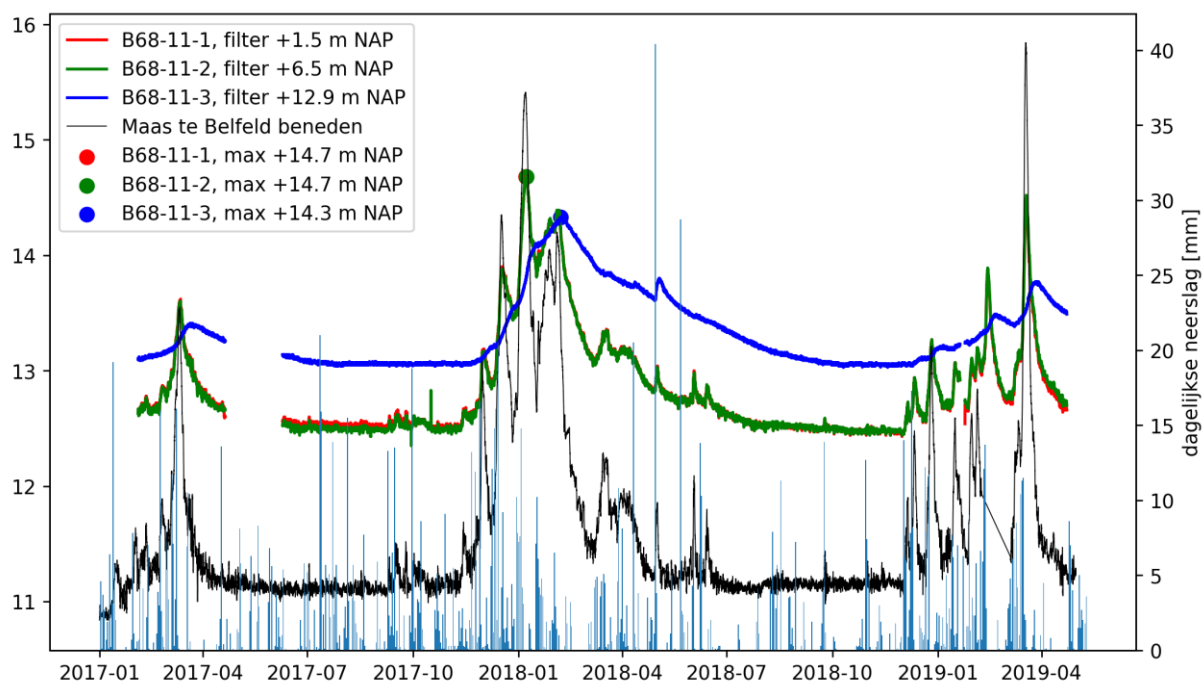
Ons kenmerk:
###

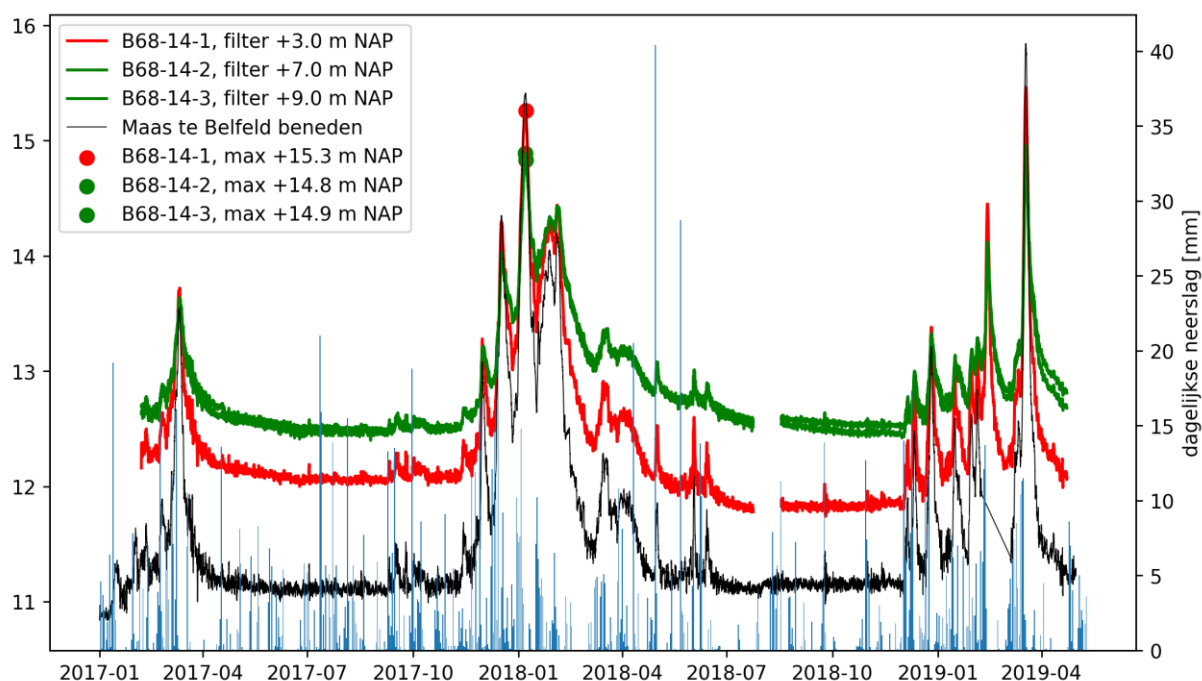
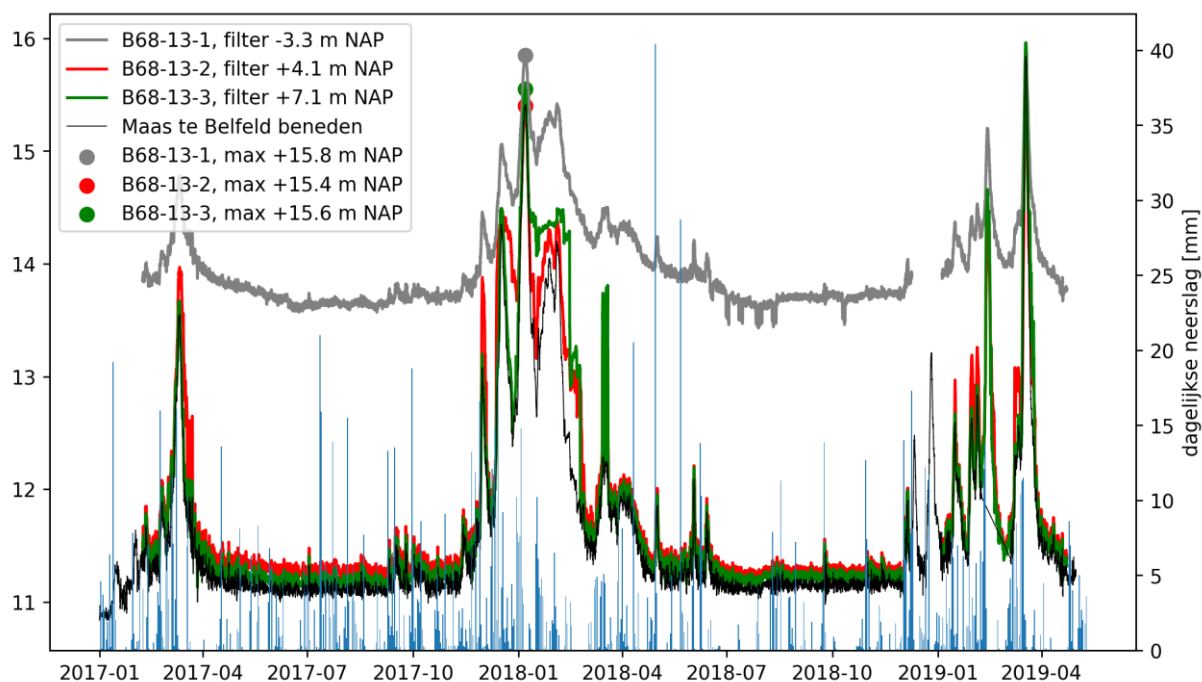
Pagina
16/27

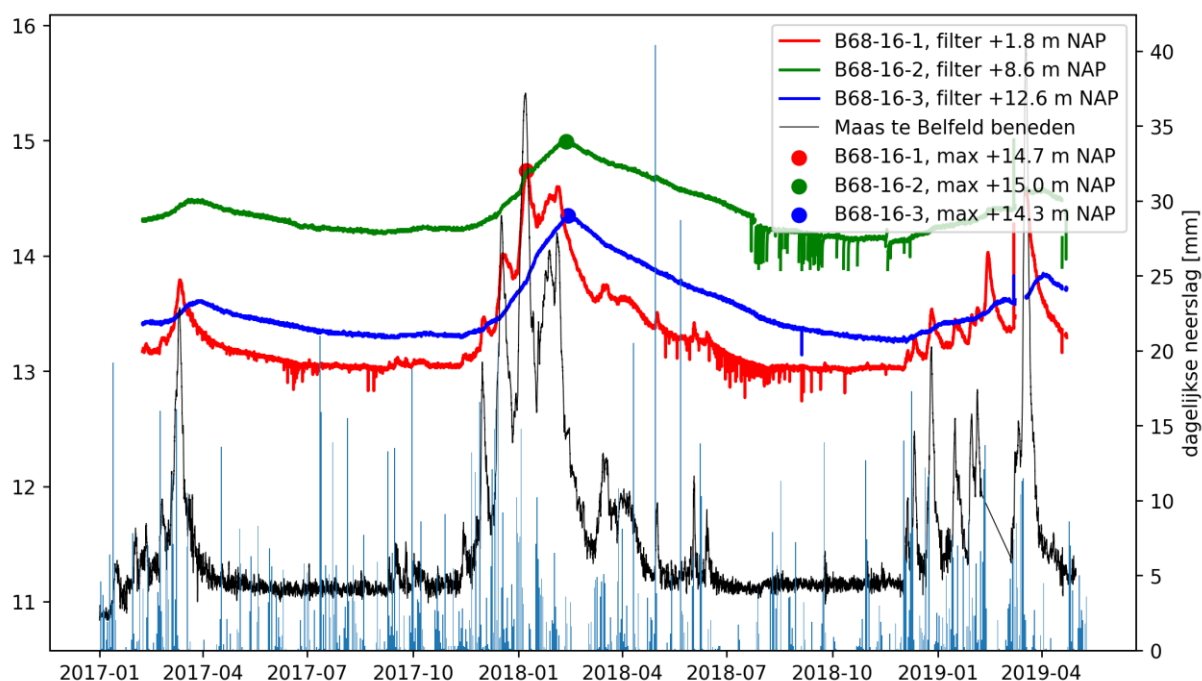
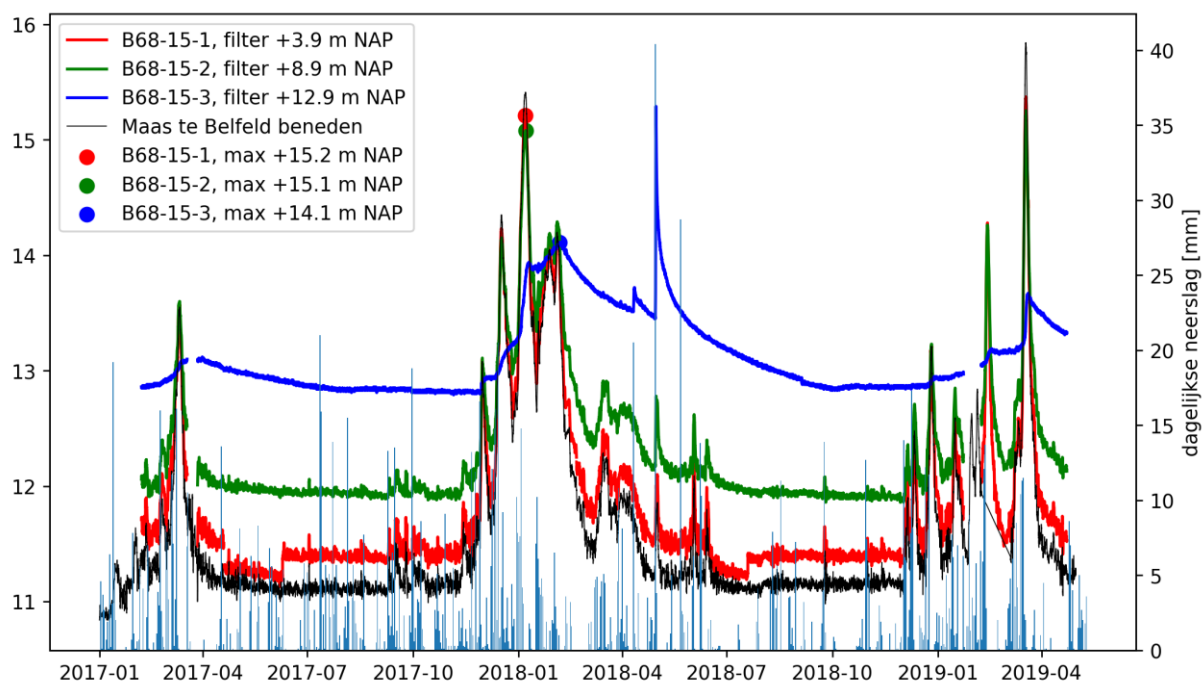


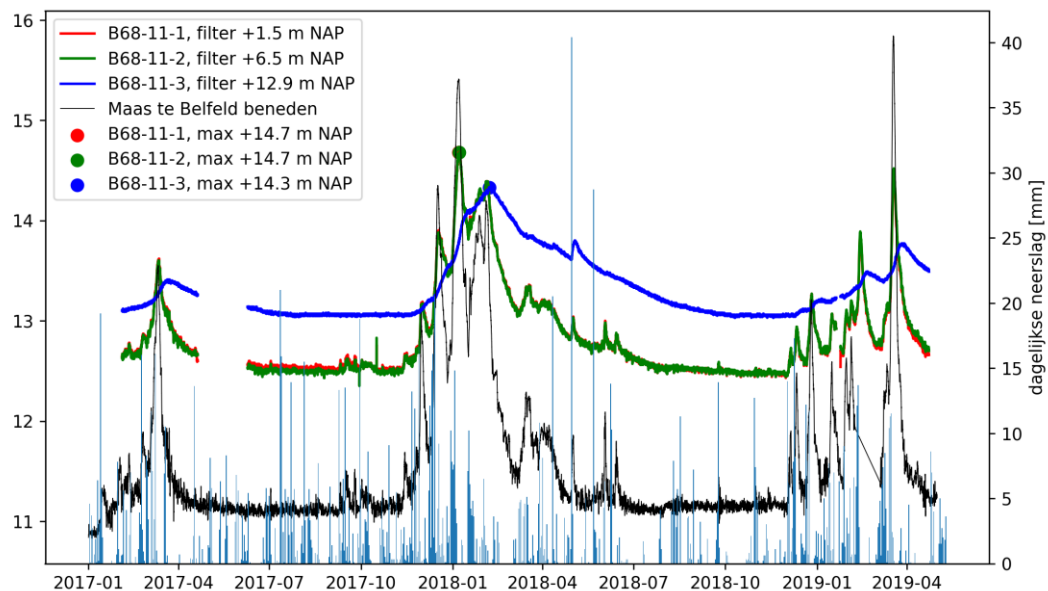
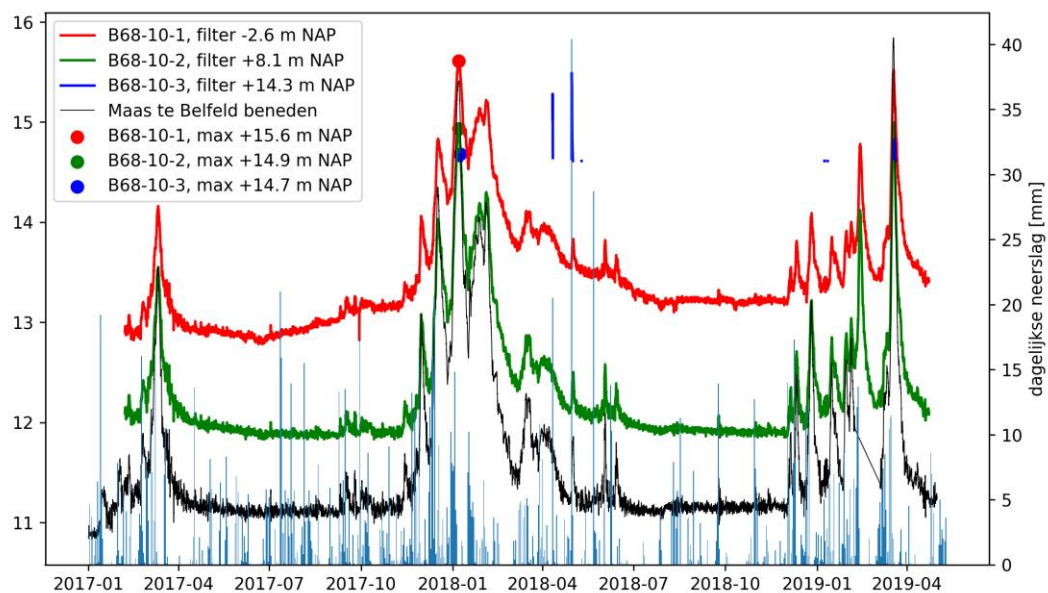
Peilbuisgegevens

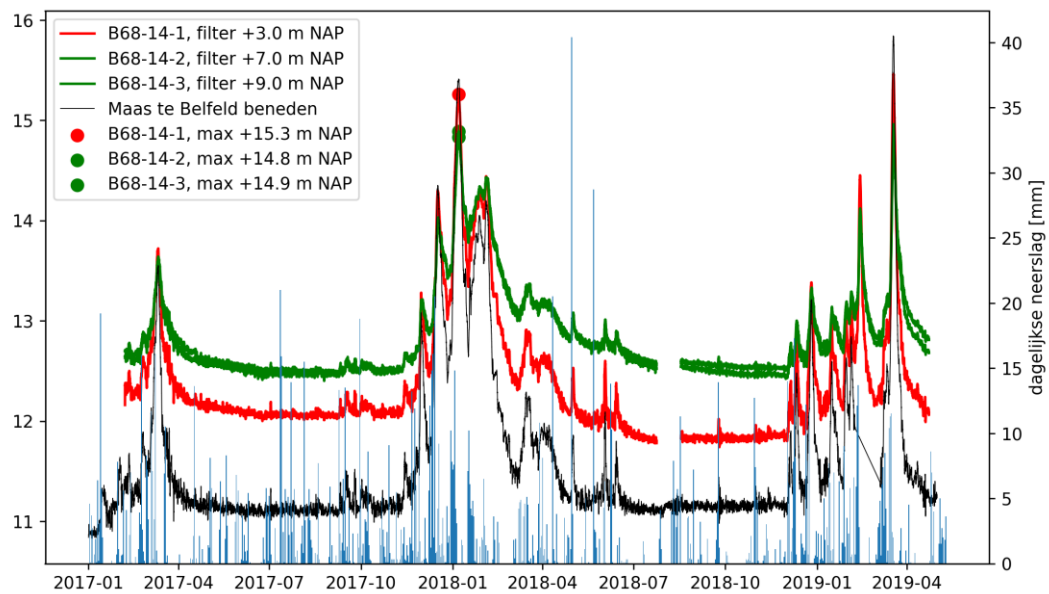
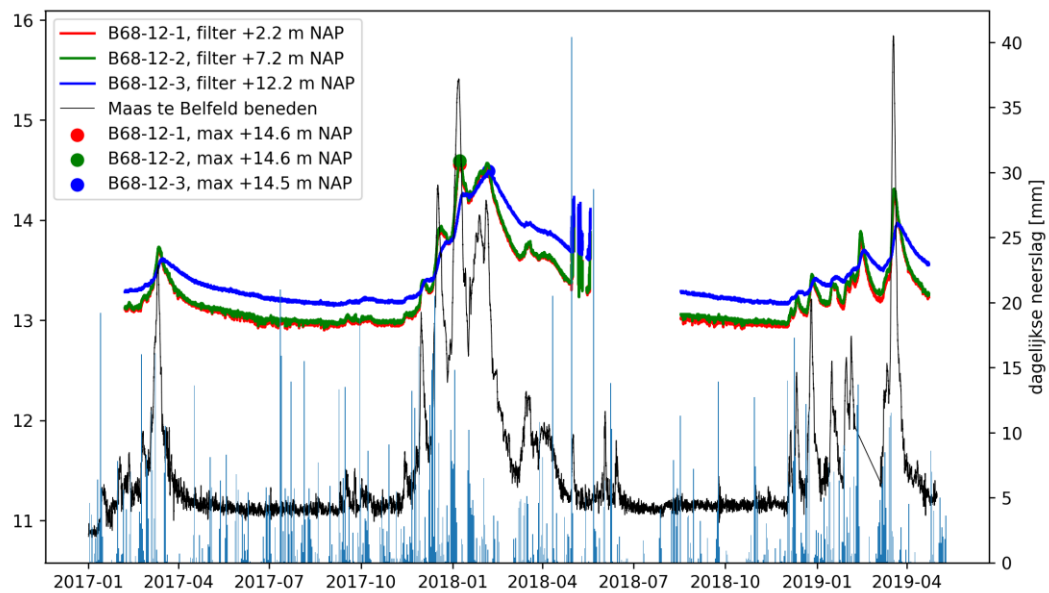


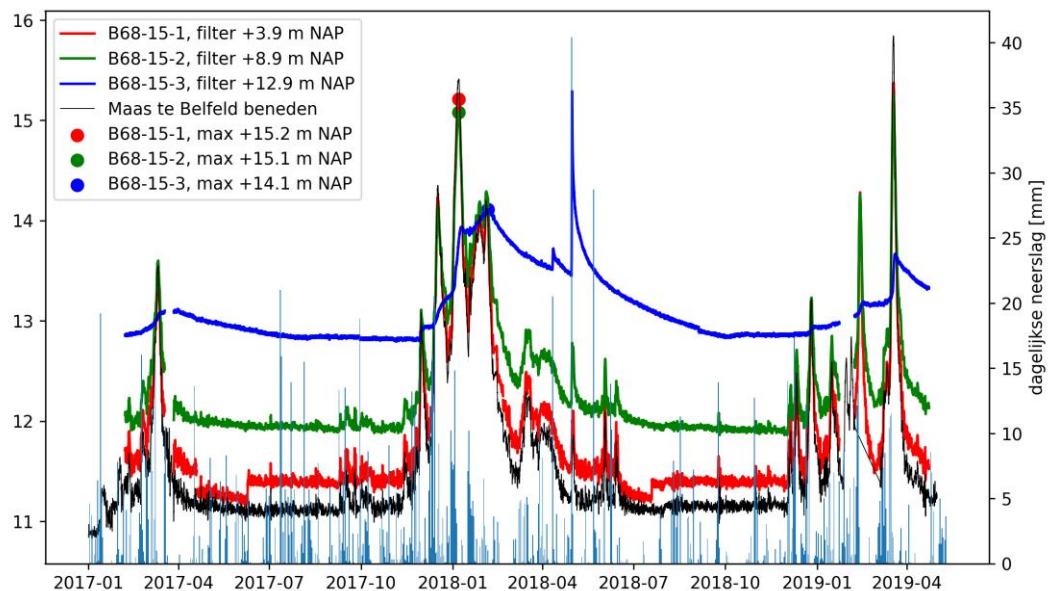
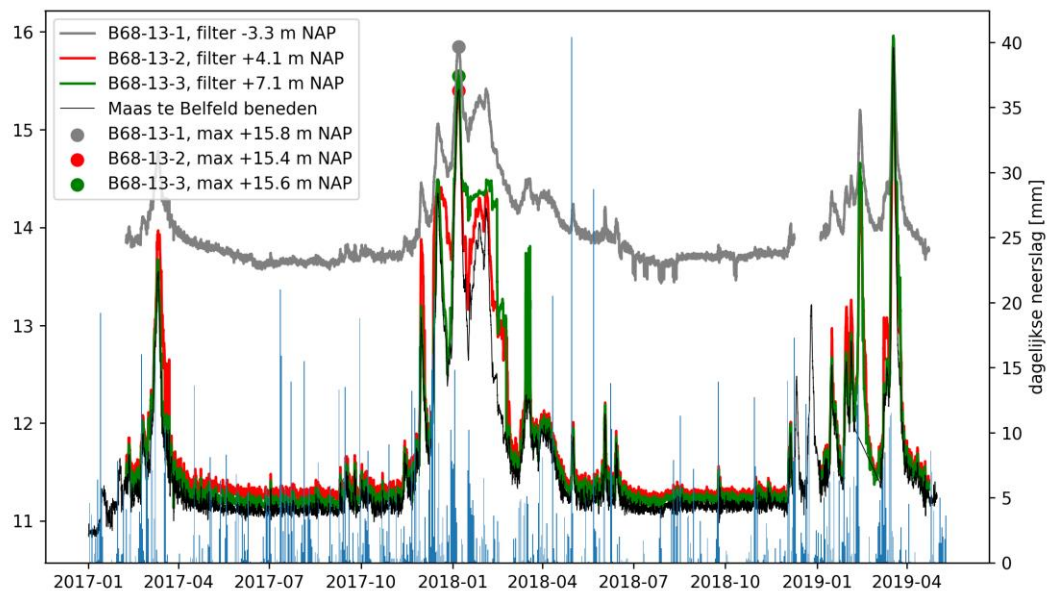


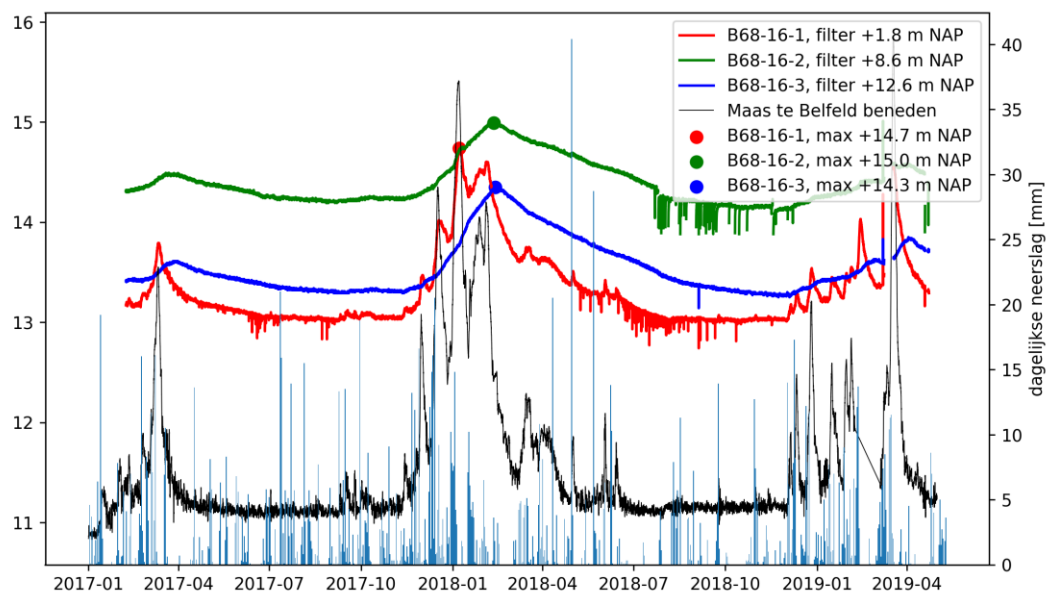


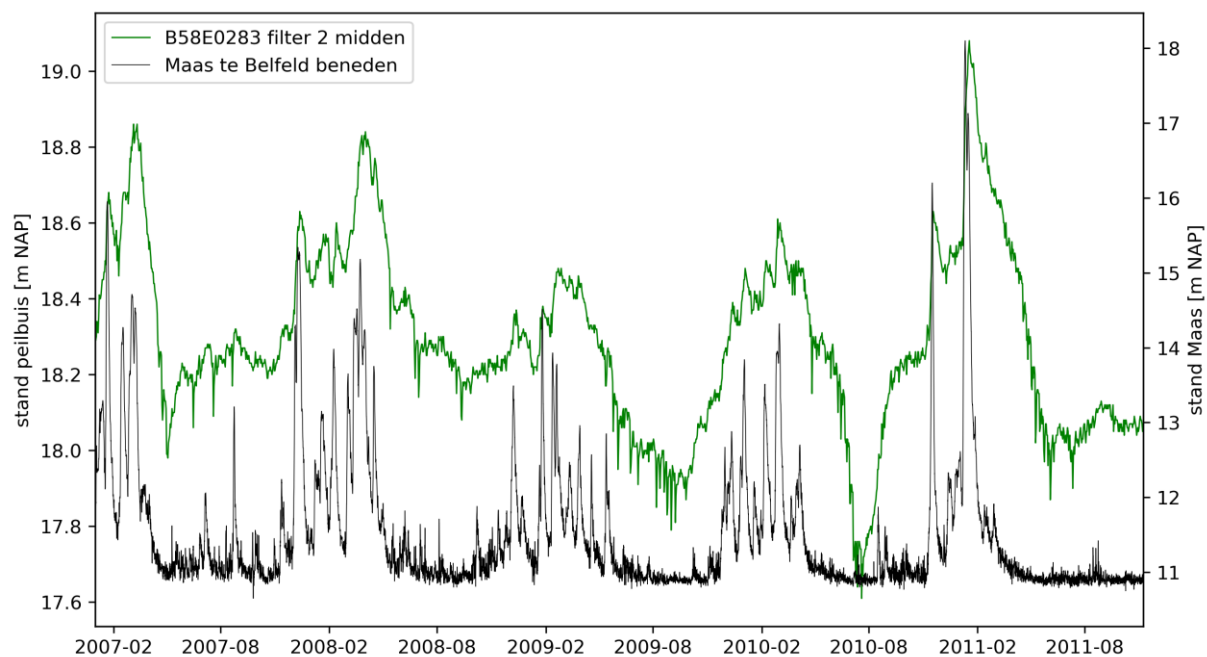
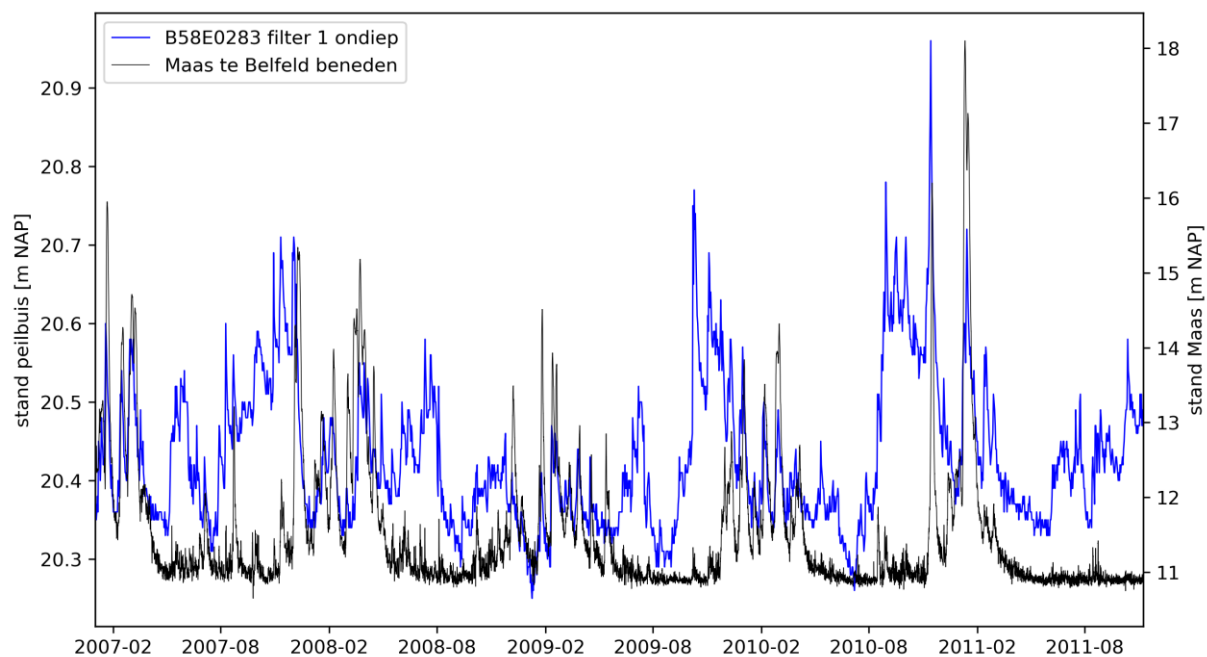


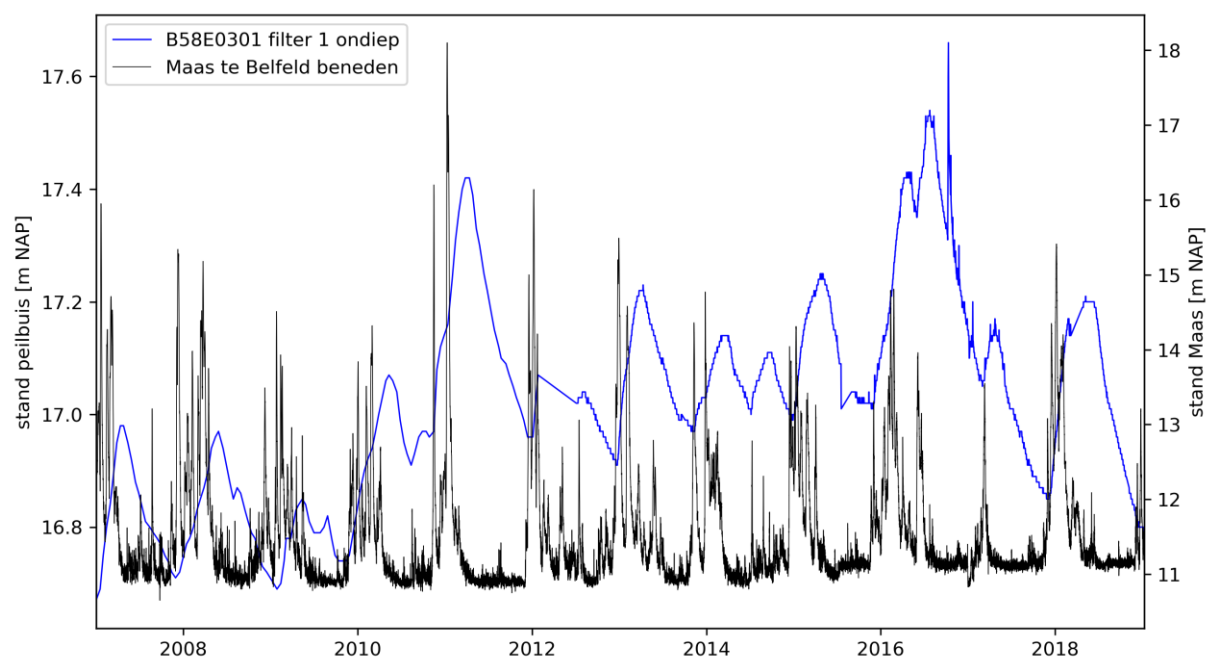
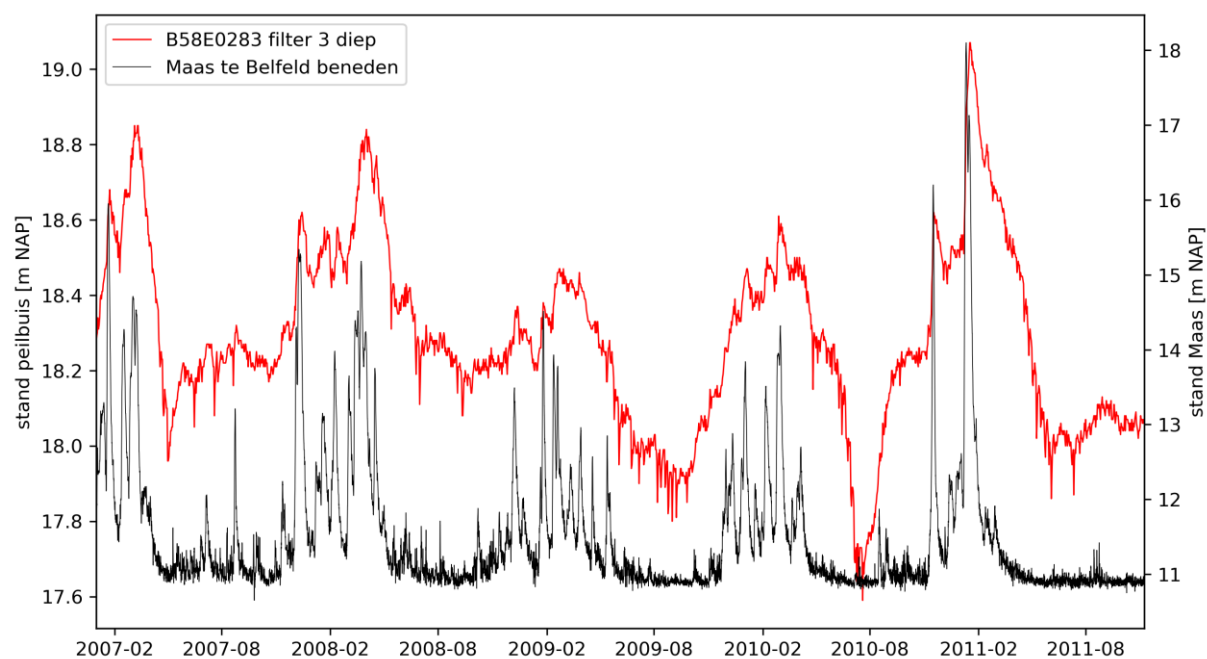


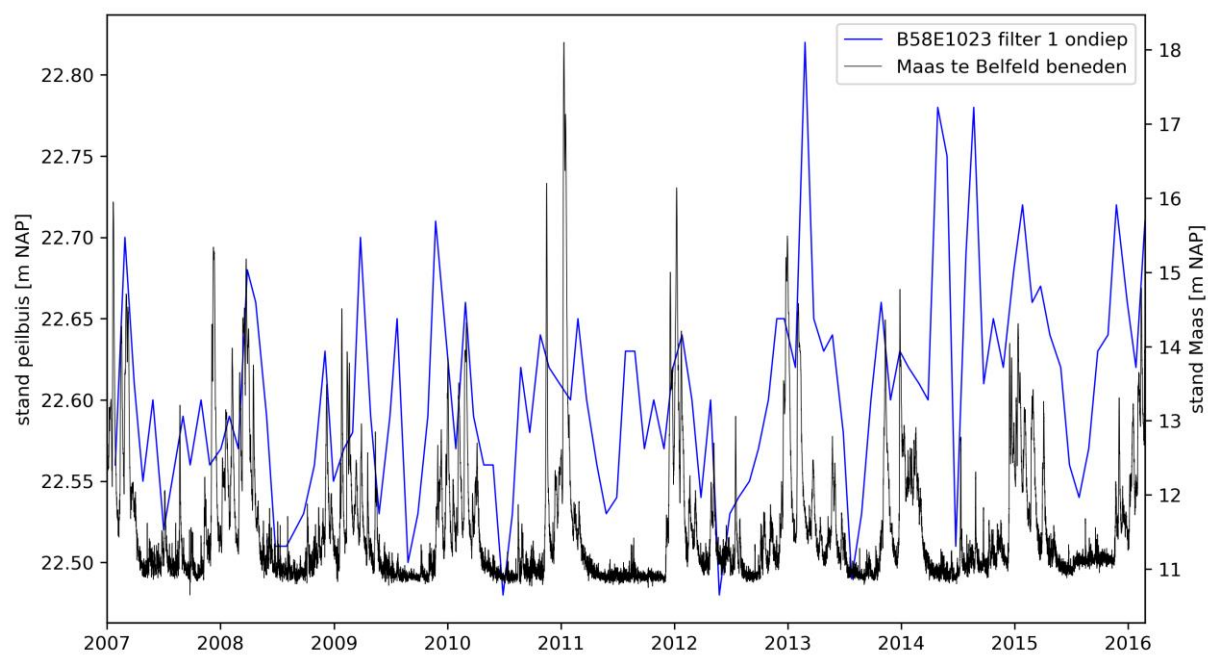






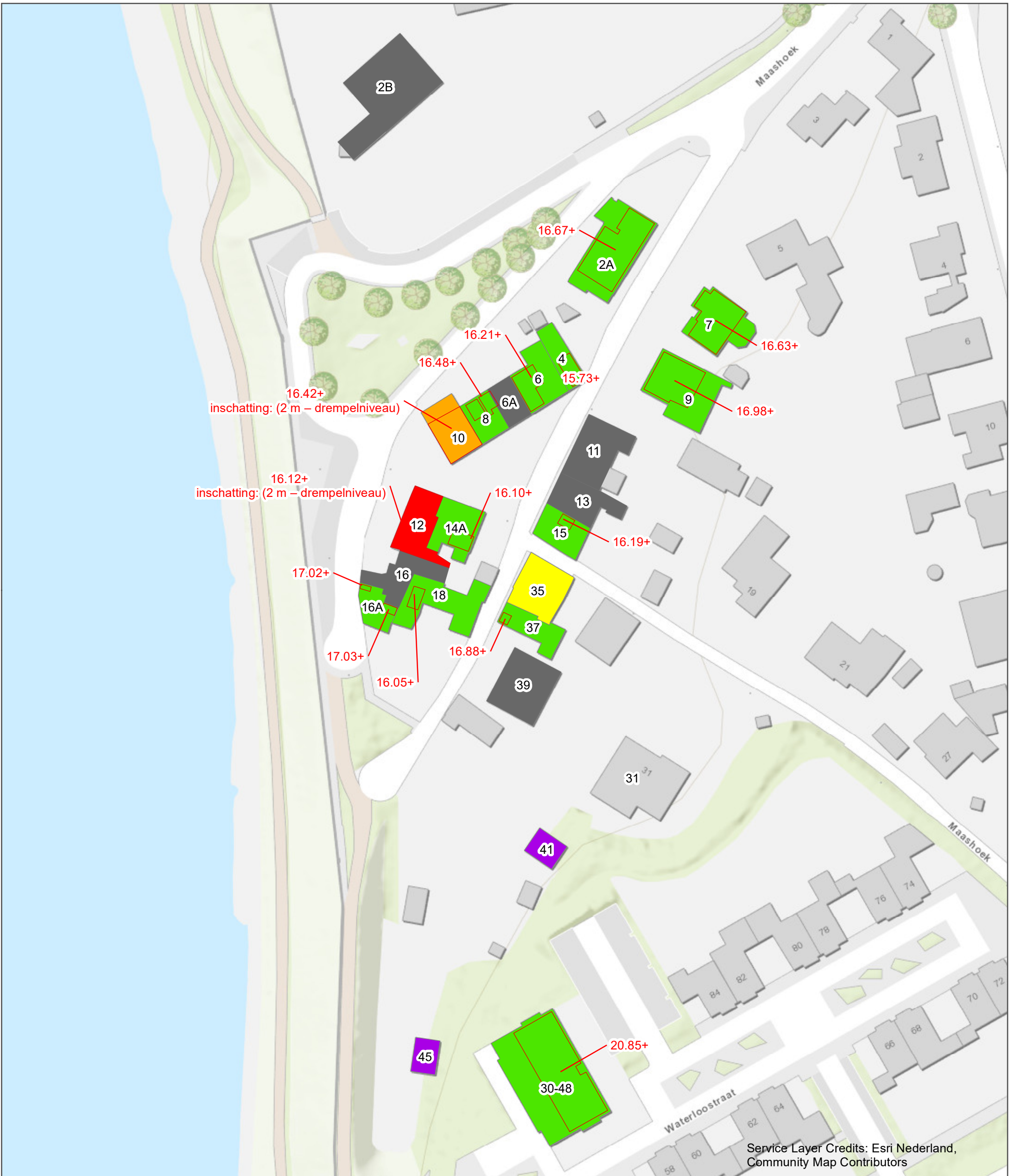






BIJLAGE 4: KELDERINVENTARISATIE





Service Layer Credits: Esri Nederland,
Community Map Contributors

-  Kelder
-  Gemeten
-  Nog meten / onderzoek
-  Geen medewerking
-  Geen kelder
-  Kelder niet toegankelijk
-  Brief retour gekregen



HWBP Noordelijke maasvallei

Steyl

Metingen kelders

opdrachtgever: Waterschap Limburg



ARCADIS

Design & Consultancy
for natural and
built assets

Witteveen **Bos**

datum: 26-Nov-20

schaal (A3): 1:750

0 5 10 20 30 40 Meters

WO

BIJLAGE 5: FAALKANSEN DATABASE RWS





RWS INFORMATIE

Handreiking Faaldatabase

Generieke, pessimistische faalgegevens, te gebruiken door opdrachtnemers

Datum	6 september 2017
Status	Definitief (versie 1.0.1)

Colofon

Naam Standaard	Handreiking Faaldatabase
Beschrijving:	De Handreiking Faaldatabase beschrijft een database met generieke, pessimistische faalkansgegevens en geeft kort achtergrondinformatie over de bijbehorende database.
Status:	Definitief
Datum	6 september 2017
Versienummer:	1.0.1
Soort:	Handreiking
Verantwoordelijke PE:	Theo v.d. Gazelle, Jean-Luc Beguin, ...
Gebruik in proces:	OAM, AenO
Netwerk:	HVWN, HWS en HWN
Object:	Alle RWS-infrastructuur
Hoofdkennisveld:	Assetmanagement
Kennisveld:	Risicogestuurd Beheer en Onderhoud (RGO)
Informatie:	Peter.Blanker@rws.nl
Verantwoordelijke afdeling:	RWS GPO – ICO
WW RWS Nummer:	# 5499

Overzicht wijzigingen

Versie	Datum	Wijzigingen
0.0.1		Eerste versie door Sipke van Manen
0.0.2		Commentaar PJG Blanker verwerkt
0.9	Eind 2016	Eerste versie aangeboden aan WW RWS (toen nog WerkWijzer Aanleg & Onderhoud)
1.0	20 dec 2016	Versie opgenomen in WWA0. Geen commentaar EG TM en EG CM welke tot inhoudelijke wijzigingen hebben geleid van versie 0.9
1.0.1	6 sep 2017	Uniformeringslag over alle ProBO (deel)methoden, geen inhoudelijke aanpassingen.

Inhoud

1	Inleiding 7
1.1	Context 7
1.2	Doel 7
1.3	Gebruikersgroep 8
1.4	Koppeling aan proces 8
1.5	Relatie met andere kaders en handreikingen 8
2	Uitgangspunten van de database 9
3	Het Excel werkboek voor de beheerder 10
4	Het Excel werkboek voor de gebruiker (opdrachtnemer) 13
4.1	Werkblad "Voorkeur" 13
4.2	Werkblad "Lognormaal" 13
5	Toelichting faalfrequenties en kansen 14
5.1	Toelichting lognormale verdeling en error factor 14
5.2	Merkbaar en niet-merkbaar falen 15
5.3	Gebruik van stand-by faalfrequenties en faalkansen 15
6	Gebruikte rekenmethodieken 16
6.1	Het aanvullen van de data 16
6.2	Combinatie van faalkans per vraag en faalfrequentie 16
Referenties 18	
Bijlage A	Theoretische achtergrond 19
A.1	Faaldata voor stand-by componenten 19
A.2	Lognormale verdeling 20
A.2.1	Algemeen 20
A.2.2	De ligging van de mediaan 20
A.2.3	De ligging van overige grenzen 21
A.2.4	De ligging van de modus, het maximum van de pdf 21
A.2.5	Gebruik bij faaldata-analyse 22
A.3	Aanvulling van de data 22
A.3.1	Het gemiddelde en de mediaan zijn gegeven 22
A.3.2	De grenzen zijn gegeven 23
A.3.3	Het gemiddelde en de errorfactor zijn gegeven of geschat 23
A.3.4	Speciale gevallen 24
Bijlage B	Faaldata en grenzen 25
B.1	Faaldata in een homogene groep 25
B.2	Faaldata in een heterogene groep 25
B.3	Faaldata in de praktijk 25
Bijlage C	Bronnen 27
Bijlage D	Tussenbronnen 32

1 Inleiding

1.1 Context

In 2010 is door Rijkswaterstaat besloten tot het beheerst invoeren van risico-gestuurd beheer en onderhoud (RGO) binnen asset management (AM). Met RGO worden alle risico's voor het functioneren van een object in kaart gebracht, waardoor deze op een transparante en weloverwogen manier beheerst kunnen worden. Dit in tegenstelling tot traditioneel onderhoud dat veelal conditie-gestuurd is, gericht op het handhaven van een bepaald technisch niveau.

Het doel van RGO is om de risico's in het functioneren van de drie netwerken via beheer- en onderhoudsacties zodanig te beheersen, dat de afgesproken prestaties worden geleverd tegen minimale (levensduur)kosten. RGO maakt de relatie tussen de netwerkprestatie en onderhoud expliciet. In 2013 besloot het bestuur RWS tot een verdere doorontwikkeling van RGO om volledig in control te komen middels een vervolgtraject RGO, gevolgd door een herijking ervan in 2016.

Binnen Rijkswaterstaat is daartoe in 2016 de handreiking Prestatiegestuurde Risicoanalyses (PRA) opgesteld om het risicogestuurd denken toepasbaar te maken voor alle infrastructurele assets, die Rijkswaterstaat in beheer heeft. Deze handreiking integreert en vervangt daarmee de Leidraad RAMS en de Leidraad risicogestuurd beheer en onderhoud.

Prestatiegestuurde risicoanalyse (PRA) is een belangrijk instrument. De PRA brengt de balans in beeld tussen de prestaties van een object, de risico's die de prestaties beïnvloeden en de kosten van het in stand houden van de prestatie. Met hulp van PRA's kan Rijkswaterstaat onderbouwde beslissingen nemen bij aanleg, beheer en onderhoud.

In aanvulling op deze handreiking zijn verschillende methodes inhoudelijk verder uitgewerkt en vastgelegd in aparte handreikingen. Zo ook deze standaard die een database met generieke, pessimistische faalkansgegevens beschrijft en achtergrondinformatie geeft over de bijbehorende database.

1.2 Doel

Het voorspellen van de betrouwbaarheid en beschikbaarheid van een systeem gebeurt aan de hand van het uitvoeren van een (kwantitatieve) betrouwbaarheids- en beschikbaarheidsanalyse.

De manier waarop zo'n analyse moet worden uitgevoerd is vastgelegd in het kader "Verificatiemethode Betrouwbaarheid en Beschikbaarheid" [1]. In dat document wordt geëist dat een opdrachtnemer de kans op falen van de gebruikte of de ontworpen hardware kwantificeert. Daartoe worden suggesties gegeven van internationaal aanvaarde databases. Maar in de praktijk blijkt nogal eens dat niet goed naspeurbare, of zelfs onjuiste bronnen worden gebruikt.

Rijkswaterstaat heeft daarom, op basis van alle, voor RWS uitgevoerde projecten, een database laten samenstellen waarin alle gebruikte faaldata tegen het licht gehouden zijn en waarbij het 5-95% interval van de faaldata is berekend [2]. Deze database heeft een functionaliteit om de 95%-waarde in een "opdrachtnemers-database" te plaatsen, waardoor een pessimistische (conservatieve) schatting van

de kans, of frequentie, van falen van onderdelen wordt verkregen [3]. De database bevat conservatieve waarden om een onderschatting van de faalkans bij de initiële faalkansbepalingen te voorkomen. Het idee is dat deze pessimistische waarde altijd door opdrachtnemers mag worden gebruikt, ook al worden inferieure onderdelen ontworpen en geleverd. Mocht de opdrachtnemer van mening zijn dat hij een kwalitatief hoogwaardiger onderdeel heeft ontworpen en geleverd, dan dient hij dat aannemelijk te maken, bijvoorbeeld door data die de leverancier heeft bijgehouden.

1.3 Gebruikersgroep

Deze handreiking is enerzijds bedoeld voor de (specialistische) beheerder, die de totale faaldatabase [2] beheert. Hem wordt gevraagd de ontwikkelingen met betrekking tot faaldata in de database te verwerken. De beheerder dient een specialist te zijn op het gebied van systems analysis en risicoanalyse. Dit specialisme is op dit moment gebundeld in het Steunpunt ProBO.

Anderzijds is hij bedoeld voor de gebruiker, te weten de opdrachtnemer die hiermee een snel en goed toegankelijk overzicht heeft van pessimistische data, die gebruikt zijn bij beheerobjecten van Rijkswaterstaat en die hoogst waarschijnlijk ook voor zijn ontwerp van toepassing zullen zijn. Daartoe produceert de beheerder, met behulp van het bijbehorende instrumentarium, de opdrachtnemersdatabase [3].

In de gebruiksfase is de database een hulpmiddel bij het maken van de kwantitatieve risicoanalyse (ORA), zoals dat in het RINK-project is gebeurd.

1.4 Koppeling aan proces

Deze handreiking valt in het proces Aanleg en Onderhoud, deelproces Ontwerp, effecten en techniek. Activiteitencluster Opstellen Systeemspecificatie (eisen, ontwerp en ontwerpnotitie).

1.5 Relatie met andere kaders en handreikingen

Verificatiemethode Betrouwbaarheid en Beschikbaarheid [1]. Daar waar geëist wordt hardware te kwantificeren, is deze database een geëigend hulpmiddel.

Handreiking Prestatiegestuurde Risico Analyses (PRA) [4]. Hierin wordt het gebruik van de database toegelicht in een voorbeeld. De in dit document beschreven faaldatabase heeft zijn oorsprong in deze handreiking.

Deze handreiking is van toepassing op alle onderdelen van het HWN, HVWN, HWS waarvoor kwantitatieve eisen gesteld zijn of moeten worden in termen van betrouwbaarheid en beschikbaarheid.

2 Uitgangspunten van de database

Bij het opbouwen van de database zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- De data betreffen enkelvoudige faalgebeurtenissen van componenten
 - Common Cause faaldata zijn niet opgenomen omdat die meestal zijn gebaseerd op generieke CCF factoren. Common Cause componentgroepen zijn vaak object-specifiek.
 - Menselijk falen is niet opgenomen. Kansen kunnen worden bepaald met het Opschepmodel [5].
 - Data voor software falen is niet opgenomen. De kansen zijn object specifiek en kunnen worden bepaald met het Topaas model [6].
 - De data betreft random failures. Levensduureffecten zijn niet meegenomen.
 - Uitgangspunt is dat de waarden geldig zijn indien de componenten binnen hun technische levensduur worden onderhouden volgens fabrikantvoorschrift.
- De data zijn zoveel mogelijk fabrikant-onafhankelijk.
- De data zijn veelal afkomstig uit generieke databronnen. Faaldata waarvoor een Bayesiaanse update is toegepast, zijn object-specifiek en worden daarom niet opgenomen.
- De aanbevolen faaldata worden conservatief gekozen omdat het object waarop deze data worden toegepast onbekend is. Conservatief betekent in dit geval dat het 95%-fractiel is gekozen: slechts 5% van de gemeten faaldata is groter dan de gekozen waarde. Het idee is dat deze pessimistische waarde **altijd** door opdrachtnemers mag worden gebruikt, ook al worden inferieure onderdelen ontworpen en geleverd. De 95%-waarde is enigszins arbitrair: een 75% waarde geeft een toch nog te optimistisch beeld bij echt slechte componenten en een 99% waarde betekent al snel dat de opdrachtnemer altijd moet gaan aantonen dat zijn component een betere (kleinere) faalkans heeft.
- De componenten zijn gekoppeld aan de NEN2767 systematiek. Deze koppeling is voor de meeste data beschikbaar in de tabel op het 'faalkans basis' werkblad. Deze kolommen zijn verborgen ('hidden').

3 Het Excel werkboek voor de beheerder

De data in het Excel werkboek voor de beheerder [2] zijn in eerste instantie afkomstig uit diverse voor RWS uitgevoerde faalkansanalyses (zie Bijlage D). Deze data zijn verzameld in het werkblad "Faaldatabasis". Uit die data zijn voorkeursdata geselecteerd en samengebracht op werkblad "Voorkeur". Er is geselecteerd op realistische maar conservatieve data die breder toepasbaar is dan voor componenten in de analyse waaruit de data afkomstig is of voor componenten van een specifieke fabrikant. De generieke databases uit Bijlage C zijn hiervoor ook gebruikt. De selectie is aan te passen.

De data op het werkblad "Faaldata basis" is opgebouwd uit data die toegepast is in voor RWS uitgevoerde faalkansanalyses van verschillende objecttypen: stormvloedkeringen, tunnels, sluizen en bruggen.

De betekenis van de kolommen in het werkblad is als volgt:

kolom	Omschrijving
ID	Uniek component identificatienummer.
Componentnaam	Korte omschrijving van de component.
Faalgwijze	De specifieke faalgwijze van de component waarop de data van toepassing is.
Objectsoort NEN2767	Koppeling naar het soort object volgens NEN-2767.
OB-ID NEN2767	ID van objectsoort volgens NEN-2767.
Elementsoort NEN2767	Koppeling naar het soort element volgens NEN-2767 <i>Voor sommige componenten ontbreekt het elementsoort binnen NEN2767 en is alleen een koppeling naar een hoger niveau van de NEN mogelijk.</i>
EI-ID NEN2767	ID van elementsoort volgens NEN-2767.
Bouwdeelsoort NEN2767	Koppeling naar het soort bouwdeel volgens NEN-2767 <i>Voor sommige componenten ontbreekt het bouwdeelsoort binnen NEN2767 en is alleen een koppeling op een hoger niveau van de NEN mogelijk.</i>
BD-ID NEN2767	ID van bouwdeelsoort volgens NEN-2767.
Faalfrequentie stand-by (λ_s) [1/uur]	Stand-by faalfrequentie (gemiddelde) <i>Let op bij toepassing: er kan sprake zijn van gedeeltelijk merkbaar en gedeeltelijk niet merkbaar falen (zie 5.2).</i>
Faalfrequentie bedrijf (λ_B) [1/uur]	Faalfrequentie tijdens bedrijf (gemiddelde).
Q	Faalkans per vraag (gemiddelde) <i>Let op bij toepassing: "zuivere" faalkansen per vraag zijn schaars. Als het testinterval van de componenten waarop de brondata zijn gebaseerd afwijkt van het testinterval in het systeem waarvoor de data wordt toegepast, moet de data worden gecorrigeerd (zie 5.3).</i>
Opmerkingen	Opmerkingen voor de gebruiker. Deze kolom wordt overgenomen in werkblad "Voorkeur".
$\lambda_{0,05}$ of $Q_{0,05}$	5% waarde van de kansverdeling van de basisdata, mits gegeven in de bron.
$\lambda_{0,20}$ of $Q_{0,20}$	20% waarde van de kansverdeling van de basisdata, mits gegeven in de bron.

kolom	Omschrijving
Mediaan, $\lambda_{0,50}$ of $Q_{0,50}$	50% waarde van de kansverdeling van de basisdata, mits gegeven in de bron.
$\lambda_{0,80}$ of $Q_{0,80}$	80% waarde van de kansverdeling van de basisdata, mits gegeven in de bron.
$\lambda_{0,90}$ of $Q_{0,90}$	90% waarde van de kansverdeling van de basisdata, mits gegeven in de bron.
$\lambda_{0,95}$ of $Q_{0,95}$	95% waarde van de kansverdeling van de basisdata, mits gegeven in de bron.
Error factor	Indicator van de onzekerheid van de faaldata, gegeven in de bron of in de tussenbron. Hoe hoger de waarde, hoe hoger de onzekerheid. Zie ook bijlage A.2.
Error factor schatting	In sommige gevallen is de error factor geschat, deze staat dan hier. Dit geldt bijvoorbeeld als geen kansverdeling in de bron wordt gegeven of als de schatting in de tussenbron als te optimistisch wordt beoordeeld.
Berekende $\lambda_{0,05}$ of $Q_{0,05}$	5% waarde van de kansverdeling van de basisdata, zoals berekend. Zie 6.1.
Berekende mediaan $\lambda_{0,50}$ of $Q_{0,50}$	50% waarde van de kansverdeling van de basisdata, zoals berekend. Zie 6.1.
Berekende $\lambda_{0,95}$ of $Q_{0,95}$	95% waarde van de kansverdeling van de basisdata, zoals berekend. Zie 6.1.
Berekende Error factor	Indicatie van de onzekerheid van de faaldata. Hoe hoger de waarde, hoe hoger de onzekerheid, zoals berekend. Zie 6.1.
Opmerking	Opmerking t.a.v. data en kansverdeling (niet van belang voor gebruiker).
Aantal faalmomenten	Aantal failures uit databron, bedoeld voor gebruik bij directe update met velddata.
Kalendertijd	Kalendertijd componenten databron.
Bedrijfstijd	Bedrijfstijd componenten databron.
Opmerking	Opmerking t.a.v. traceerbaarheid en bruikbaarheid data (niet van direct belang voor gebruiker).
Bron	Referentie naar de bron waaruit de specifieke basisdata is overgenomen. De bronnen zijn op een aparte bladzijde van het spreadsheet opgenomen en worden gegeven in Bijlage C.
Bladzijde	De bladzijde in het referentiedocument waarop de data zijn te vinden.
Bron bekeken	Hier is ten behoeve van de analyse aangegeven of de data in de desbetreffende bron is gevonden. Een "0" betekent dat de bron niet beschikbaar was of dat de genoemde waarden zijn beoordeeld als niet bruikbaar voor de desbetreffende faalgebeurtenis.
Componentgrens referentie	Korte omschrijving van wat volgens de referentie onderdeel is van de component (indien beschikbaar).
Voorkeurswaarde	Deze kolom bevat een 'x' als de faaldata uit die rij overgenomen moet worden in de voorkeurstabel.
Tussenbron	De analyse of het document waarin de data is genoemd die in de database zijn opgenomen. De tussenbron geeft ook de referenties (bronnen) van de data. De tussenbronnen worden gegeven in Bijlage D.

De 'berekende' waarden worden door een macro uitgerekend. Een knop bovenaan de desbetreffende kolommen start de macro. Voor meer informatie zie 6.1.

Opmerking

Sommige databronnen bevatten ook informatie over het aantal failures en het aantal vragen of de exposuretijd. Deze informatie kan het inzicht in de onderliggende data verbeteren, maar is niet opgenomen in de database omdat die gegevens niet altijd beschikbaar zijn en ook de mogelijkheden voor een update met velddata niet verbeteren (de onzekerheid van de faalkans is niet direct gekoppeld aan het aantal failures). Zie voor meer informatie Bijlage B.

Het werkblad "Voorkeur" wordt gevuld door een macro die gestart kan worden met de knop links bovenaan het werkblad. Deze macro kopieert alle voorkeurswaarden uit het 'FaaldataBasis' werkblad. Het werkblad heeft als functie de presentatie van de voorkeursdata. Het wordt gebruikt om een nieuwe versie van de database voor opdrachtnemers te maken. De knop waarmee het werkblad gevuld is kan dan worden verwijderd of alleen de data kan worden overgezet.

De kolommen in dit werkblad zijn grotendeels identiek aan de kolommen in het 'FaaldataBasis' werkblad. Merk op dat niet de gemiddelde waarden, maar de 95% grens van de data als voorkeurswaarden zijn gekozen.

4 Het Excel werkboek voor de gebruiker (opdrachtnemer)

Uit de basisdatabase worden de faalkansdata voor gebruik gedestilleerd. Deze data zijn conservatief, pessimistisch en dus aan de hoge kant. De gebruiker wordt daarmee uitgedaagd aan te tonen, of aan te laten tonen, dat het gebruikte component beter presteert dan de database aanneemt, indien het een kwalitatief hoogwaardige component betreft.

De data uit de faaldatabase is zo pessimistisch, dat deze altijd gebruikt kan worden. Het belangrijkste werkblad is het werkblad "Voorkeur".

4.1 Werkblad "Voorkeur"

kolom	Omschrijving
ID	Uniek component identificatienummer.
Componentnaam	Korte omschrijving van de component.
Faalwijze	De specifieke faalwijze van de component waarop de data van toepassing is.
Faalfrequentie stand-by ($\lambda_{S, 0,95}$)	Stand-by faalfrequentie (95% grens). De 95% grens is gekozen opdat conservatieve waarden worden toegepast.
Faalfrequentie bedrijf ($\lambda_{B, 0,95}$)	Faalfrequentie tijdens bedrijf (95% grens).
Faalkans per vraag ($Q_{0,95}$)	Faalkans per vraag (95% grens).
Error factor	Indicatie van de onzekerheid van de faaldata. Hoe groter deze onzekerheid is, hoe pessimistischer de 95%-waarde.
Opmerkingen	Dit zijn opmerkingen die de beheerder heeft opgenomen.
Bron	Referentie naar de bron waaruit de specifieke basisdata is overgenomen. De bronnen zijn op een aparte bladzijde van het spreadsheet opgenomen en worden gegeven in Bijlage C.
Pagina	De bladzijde in het referentiedocument waarop de data zijn te vinden.

4.2 Werkblad "Lognormaal"

Dit werkblad bevat visualisaties van de lognormale verdeling en is toegevoegd ter illustratie. Het kan worden gebruikt als hulp voor het bepalen van verschillende parameters van een lognormale verdeling en het genereren van de bijbehorende grafiek.

5 Toelichting faalfrequenties en kansen

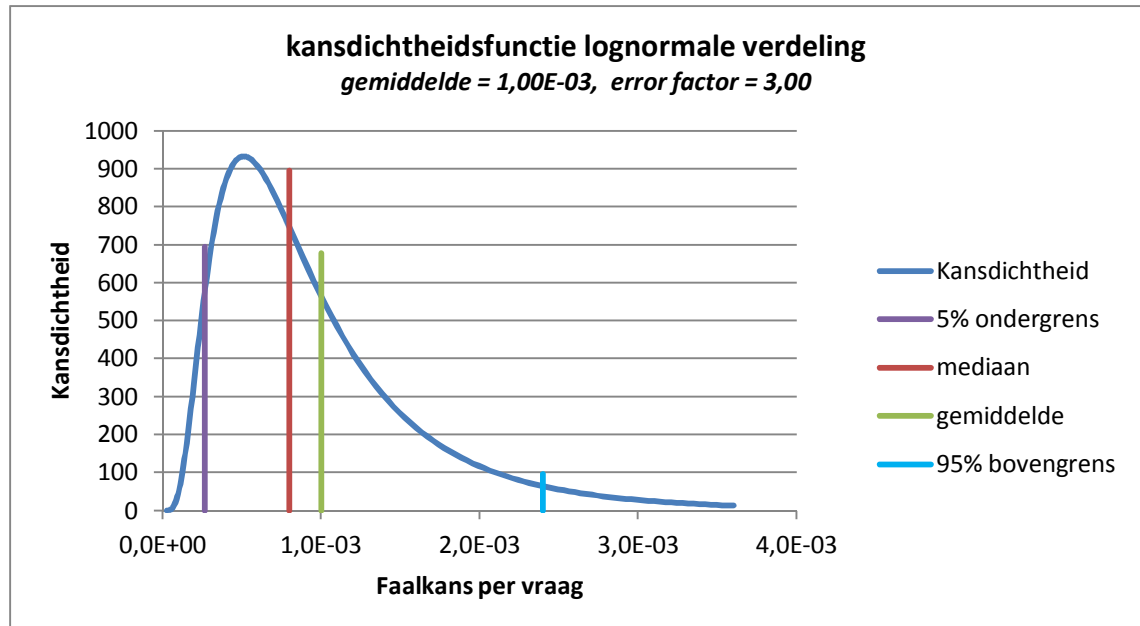
5.1 Toelichting lognormale verdeling en error factor

Bij de faalkansanalyses van ontwerpen en systemen worden voor faalkansen per vraag en voor faalfrequenties (falen per tijdseenheid) vaak puntwaarden toegepast. Dit betreft echter *gemiddelde waarden* omdat in de praktijk deze grootheden in bepaalde mate onzeker zijn. De onzekerheid kan worden aangegeven met de Error Factor. Hoe hoger de Error Factor, hoe groter de onzekerheid.

Voor faalkansen, faalfrequenties en herstelduren wordt vaak uitgegaan van een lognormale verdeling. Het kwadraat van de Error Factor geeft aan hoeveel maal de 5%-ondergrens lager ligt dan de 95%-bovengrens van de verdeling. Voor de Error Factor geldt:

$$EF = \sqrt{\frac{\lambda_{0.95}}{\lambda_{0.05}}}$$

Dit betekent bijvoorbeeld dat voor een lognormale verdeling met een gemiddelde faalkans van 10^{-3} /vraag, een 5%-ondergrens van $2.67 \cdot 10^{-4}$ en een 95%-bovengrens van $2.40 \cdot 10^{-3}$, de Error Factor 3 bedraagt. Deze kansverdeling is grafisch weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1 Kansdichtheidsfunctie lognormale verdeling

De spreadsheet "Faaldata database RWS" bevat een bladzijde met een hulp voor het bepalen van verschillende parameters van een lognormale verdeling.

Meer informatie en theoretische achtergrond is te vinden in bijlage A.2.

5.2 Merkbaar en niet-merkbaar falen

Bij stand-by componenten wordt vaak pas duidelijk of de component zich in een gefaalde toestand bevindt op het moment dat een functionele test wordt uitgevoerd of als het functioneren van de component wordt vereist. Er is dan sprake van niet-merkbaar falen. Denk bijvoorbeeld aan een motor die alleen maar hoeft te draaien als een stormvloedkering moet sluiten.

Ook andere typen componenten kunnen stand-by staan, zoals onderdelen van een besturingsinstallatie of een UPS. Dit soort systemen is vaak voorzien van zelftests waardoor een deel van de faalwijzen gemeld zal worden. Een fractie van het stand-by falen wordt daarmee merkbaar gemaakt. In dat geval kan de stand-by faalfrequentie worden verdeeld in een merkbaar deel en een niet merkbaar deel.

5.3 Gebruik van stand-by faalfrequenties en faalkansen

Voor stand-by componenten geeft de database soms een stand-by faalfrequentie (λ_s) en soms een faalkans per vraag (Q). De niet beschikbaarheid van componenten met een faalfrequentie is afhankelijk van het interval waarmee de desbetreffende component wordt getest (T). Een faalkans per vraag suggereert dat de faalkans onafhankelijk is van het tijdstip van de vraag. Dit is in de meeste situaties echter niet het geval. Een deel van de data is verzameld in kernenergiecentrales, waarin de componenten vaak maandelijks worden getest. Als uitgangspunt wordt genomen dat dit voor alle componenten met een faalkans per vraag geldt. De faalkans per vraag hoort dan dus bij een testinterval van één maand. Indien een groter (langer) testinterval wordt toegepast, dient de faalkans per vraag evenredig te worden verhoogd. De faalkans per vraag kan worden omgezet in een faalfrequentie via de formule:

$$Q = \frac{1}{2} \cdot \lambda_s \cdot T$$

ofwel:

$$\lambda_s = 2 \cdot \frac{Q}{T}$$

Zie ook bijlage A.1.

6 Gebruikte rekenmethodieken

6.1 Het aanvullen van de data

Databronnen bevatten niet altijd de gewenste parameters. Als dit het geval is, moeten deze berekend of geschat worden. De databronnen leveren meestal wel een gemiddelde waarde. Om de overige parameters van de verdeling, de mediaan, de 5%- en 95%- percentielen en de errorfactor *EF* te berekenen is tenminste een van deze waarden nodig. Er zijn verschillende gevallen waarvoor aanvullende parameters worden bepaald:

1. De mediaan is gegeven;
2. De 5% en 95% grenzen zijn gegeven;
3. De errorfactor is gegeven:
 - a. De errorfactor is gegeven in de data;
 - b. De errorfactor is geschat.

De verschillende afleidingen worden besproken in bijlage A.3.

Speciale situaties

Het kan voorkomen dat waarden uit een database niet passen bij een lognormale verdeling. Het is bijvoorbeeld denkbaar dat de 5%-ondergrens nul is. Als dit voorkomt terwijl de mediaan gegeven is, worden de waarden van de grenzen berekend aan de hand van deze mediaan.

In het geval dat zowel de mediaan als de 5%-ondergrens nul is, wordt de lognormale verdeling bepaald aan de hand van de 95%-bovgrens het gemiddelde.

In beide genoemde gevallen wordt gecontroleerd of de resulterende lognormale verdeling goed past bij de gegeven brondata.

Hiërarchie

Bij het berekenen van de parameters kan het voorkomen dat meerdere methoden gebruikt kunnen worden. Bijvoorbeeld: de mediaan, de errorfactor en het gemiddelde zijn gegeven, maar de combinaties leiden ieder tot een andere resultaat. Om met dit soort gevallen om te gaan, is gekozen voor de volgende hiërarchie:

Berekening op basis van:

1. De geschatte errorfactor;
2. De grenzen;
3. De mediaan;
4. De errorfactor uit de bron.

De geschatte errorfactor komt als eerste in de hiërarchie omdat de errorfactor alleen geschat zal worden als de data uit de bron als te optimistisch wordt beoordeeld. Om de waarden uit de databron in de database te houden is de hiërarchie zo ingedeeld. Bij geloofwaardige data zal de geschatte error factor niet ingevuld zijn en dus niet van invloed zijn op de berekening van de overige parameters.

6.2 Combinatie van faalkans per vraag en faalfrequentie

Voor stand-by objecten wordt de faalfrequentie in sommige bronnen, waaronder T-book, gegeven als een combinatie van een faalkans per vraag en een faalfrequentie.

Voor de RWS database is het wenselijk dit te vereenvoudigen tot alleen een stand-by faalfrequentie, zodat opdrachtnemers een begrijpelijker set data krijgen. Zie bijlage A.1 voor onderliggende informatie. Er is gekozen voor de volgende aanpak:

- De faalkans per vraag wordt omgerekend naar een stand-by faalfrequentie, waarbij wordt aangenomen dat het onderliggende testinterval 730 uur (één maand) is.
- De gemiddelde waarden worden opgeteld. Hetzelfde wordt gedaan met de grenzen. Dit betekent dat faalkans per vraag en faalfrequentie 100% afhankelijk worden aangenomen, hetgeen resulteert in de meest "brede" kansverdeling.

Referenties

- [1] RWS
Verificatiemethode Betrouwbaarheid en Beschikbaarheid, versie 1.0.7 (6 september 2017)
WW RWS-nummer 1567
- [2] RWS
RWS Faaldatabase Rev1
Excel spreadsheet dd. 31-7-2015
- [3] RWS
RWS Faaldatabase voor opdrachtnemerversie 20 december 2016, Product bij Handleiding Faaldatabase, definitief, versie 1.0
Excel spreadsheet dd. 20-12-2016
- [4] RWS
Handreiking Prestatiegestuurde RisicoAnalyses (PRA), versie 1.0.0 (September 2016)
WW RWS-nummer 5333
- [5] RWS
Kwantitatieve analyse menselijk handelen bij waterkeringen – het OPSCHep-model, versie 1.0.2 (6 september 2017)
WW RWS-nummer 5532
- [6] RWS
TOPAAS, Een structurele aanpak voor faalkansanalyse van software intensieve systemen, versie 0.7 (10 januari 2013)
WW RWS-nummer 1319
- [7] Schüller, J et al. (1997)
Methods for determining and processing probabilities
SDU, Den Haag
- [8] Weisstein, E. (sd)
Log Normal Distribution
MathWorld--A Wolfram Web Resource [Online]:
<http://mathworld.wolfram.com/LogNormalDistribution.html>
Gebruikt op 14-10-2014.

Bijlage A Theoretische achtergrond

A.1 Faaldata voor stand-by componenten

Componenten die stand-by staan kunnen defect raken op een moment dat ze niet worden aangesproken. Er is dan vaak geen sprake van merkbaar falen; het tijdstip van falen is onbekend en daardoor is het niet mogelijk om een 'tijd tot falen' te bepalen. Een goede schatting van de faalfrequentie is dus niet mogelijk op basis van de faalmomenten alleen. Het is alleen mogelijk om te bepalen of een component binnen twee test-momenten gefaald is. Dus de kans Q dat een component het niet doet op het moment van testen of een vraag is:

$$Q_T = \int_0^T \lambda(t) dt$$

Met:

T de tijd tussen twee tests, het testinterval

$\lambda(t)$ de kans dat het component op tijdstip t stuk gaat

We gaan er vanuit dat een component ieder tijdselement een gelijke kans heeft om te falen. Met andere woorden: de faalfrequentie is constant in de tijd.

$$Q_T = \lambda \int_0^T dt = \lambda T$$

De representatieve faalkans is dus afhankelijk van het testinterval T . Echter, omdat het moment van de vraag uniform verdeeld wordt verondersteld tussen tijdstip nul en het testmoment op $t=T$, is de gemiddelde faalkans over het testinterval: $\frac{1}{2}\lambda T$ en de gemiddelde faalfrequentie:

$$\lambda = \frac{2Q}{T}$$

Er zijn drie manieren waarop het falen van een stand-by component in databoeken gegeven wordt:

1. Met een faalfrequentie (λ);
2. Met een faalkans (Q);
3. Met een faalkans en een faalfrequentie.

In het laatste geval moeten beide gecombineerd worden, door bijvoorbeeld beide uit te drukken als een frequentie en dan op te tellen. Hiervoor is het wel noodzakelijk dat er een testinterval wordt aangenomen. De totale faalfrequentie is dan:

$$\lambda_{\text{tot}} = \lambda_{\text{stand-by}} + \frac{2Q}{T}$$

Het uitgangspunt hierbij is dat een zuivere faalkans per vraag (faalkans onafhankelijk van de tijd) weinig voorkomt en dat als het testinterval in de toepassing tenminste zo lang is als het testinterval van de bron, in elk geval een conservatieve waarde wordt bepaald.

Het betrouwbaarheidsinterval dat hoort bij deze waarde is lastiger te bepalen.

In het meest ongunstige (conservatieve) geval zijn de twee volledig afhankelijk: als een component een hoge faalfrequentie heeft is de faalkans per vraag ook per definitie hoog. In dit geval kan men de grenzen optellen:

$$\int_0^{\lambda_{0.95}} \lambda_{\text{stand-by}}(x) dx = 0.95$$

$$\int_0^{Q_{0.95}} Q(x) dx = 0.95$$

$$x_{0.95} = \lambda_{0.95} + \frac{2}{T} Q_{0.95}$$

En evenzo voor de 5%-ondergrens.

A.2 Lognormale verdeling

In het algemeen wordt de lognormale verdeling beschouwd als een goede manier om de onzekerheid in faalkansen te beschrijven.

A.2.1 Algemeen

De lognormale verdeling is de verdeling van een variabele waarvan het logaritme normaal verdeeld is: als x normaal verdeeld is, is e^x lognormaal verdeeld. De verdeling heeft, net als de normale verdeling, twee parameters. De parameters M en S zijn het gemiddelde en de spreiding van de onderliggende normale verdeling. μ (μ) en σ (σ) worden ook vaak gebruikt maar om verwarring te voorkomen worden deze hier niet gebruikt. Met de parameters M en S is de dichtheidsfunctie van de lognormale verdeling gegeven als (Weissstein):

$$f(x) = \frac{1}{xS\sqrt{2\pi}} e^{\left[-(\ln x - M)^2 / 2S^2\right]}$$

En het gemiddelde en de variantie als:

$$\text{Gem} = e^{(M + S^2/2)}$$

$$\text{Var} = e^{2M + S^2} (e^{S^2} - 1) = \text{Gem}^2 (e^{S^2} - 1)$$

En M en S :

$$M = \ln(\text{Gem}) - \frac{S^2}{2}$$

$$S = \sqrt{\ln\left(1 + \frac{\text{Var}}{\text{Gem}^2}\right)}$$

A.2.2 De ligging van de mediaan

De mediaan $x_{0.5}$ ligt zodanig dat de helft van de waarde van de kansdichtheid links van de mediaan ligt:

$$\int_0^{x_{0.5}} P(x') dx' = \frac{1}{2}$$

Invullen van de cumulatieve dichtheidsfunctie (Weissstein) geeft:

$$\frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{\ln x_{0.5} - M}{S\sqrt{2}} \right) \right] = \frac{1}{2}$$

$$\operatorname{erf} \left(\frac{\ln x_{0.5} - M}{S\sqrt{2}} \right) = 0$$

Met erf de errorfunctie:

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-z^2} dz$$

De inverse errorfunctie is enkel numeriek te benaderen. Op $\operatorname{erf}(x)=0$ na, in dit geval $x=0$.

$$\frac{\ln x_{0.5} - M}{S\sqrt{2}} = 0$$

$$x_{0.5} = e^M$$

A.2.3

De ligging van overige grenzen

Op dezelfde manier als de mediaan wordt deze gegeven (met Z het percentiel) door

$$\frac{1}{2} \left[1 + \operatorname{erf} \left(\frac{\ln x - M}{S\sqrt{2}} \right) \right] = Z$$

$$\operatorname{erf} \left(\frac{\ln x - M}{S\sqrt{2}} \right) = 2Z - 1$$

met $Z=0.05$:

$$\operatorname{erf} \left(\frac{\ln x_{0.05} - M}{S\sqrt{2}} \right) = -0.9$$

Dit numeriek benaderen geeft:

$$\frac{\ln x_{0.05} - M}{S\sqrt{2}} \approx -1.163$$

$$\frac{\ln x_{0.05} - M}{S} \approx -1.645$$

$$x_{0.05} = e^{-1.645 \cdot S + M}$$

En met $Z=0.95$

$$\operatorname{erf} \left(\frac{\ln x_{0.95} - M}{S\sqrt{2}} \right) = 0.9$$

$$\frac{\ln x_{0.95} - M}{S\sqrt{2}} \approx 1.163$$

$$x_{0.95} = e^{1.645 \cdot S + M}$$

A.2.4

De ligging van de modus, het maximum van de pdf

Het maximum van een functie ligt op punt x zodat geldt¹:

$$\begin{aligned}\frac{df(x)}{dx} &= \frac{d}{dx} \left\{ \frac{1}{xS\sqrt{2\pi}} e^{\left[-(\ln x - M)^2 / 2S^2\right]} \right\} = 0 \\ \frac{df(x)}{dx} &= \frac{d}{dx} \left\{ \frac{1}{xS\sqrt{2\pi}} \right\} e^{\left[-(\ln x - M)^2 / 2S^2\right]} + \frac{1}{xS\sqrt{2\pi}} \frac{d}{dx} \left\{ e^{\left[-(\ln x - M)^2 / 2S^2\right]} \right\} \\ \frac{df(x)}{dx} &= \frac{-1}{x^2 S \sqrt{2\pi}} e^{\left[-(\ln x - M)^2 / 2S^2\right]} + \frac{1}{xS\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{\ln x - M}{-xS^2} e^{\left[-(\ln x - M)^2 / 2S^2\right]} = 0 \\ \frac{1}{x^2 S \sqrt{2\pi}} e^{\left[-(\ln x - M)^2 / 2S^2\right]} &= \frac{1}{xS\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{\ln x - M}{-xS^2} e^{\left[-(\ln x - M)^2 / 2S^2\right]} \\ 1 &= \frac{\ln x - M}{-S^2} \\ M - S^2 &= \ln x \\ x_{\text{mode}} &= e^{M - S^2}\end{aligned}$$

A.2.5 Gebruik bij faaldata-analyse

Voor het gebruik bij faaldata-analyse is de errorfactor van belang. Deze is gedefinieerd als [7]:

$$EF = \sqrt{\frac{x_{0.95}}{x_{0.05}}}$$

Met $x_{0.05}$ en $x_{0.95}$ de 5%-ondergrens en de 95%-bovgrens van de verdeling. Er geldt voor de errorfactor, met $\alpha = 1.645$:

$$EF = \sqrt{\frac{x_{0.95}}{x_{0.05}}} = \sqrt{\frac{e^{\alpha S + M}}{e^{-\alpha S + M}}} = \sqrt{e^{2\alpha S}} = e^{\alpha S}$$

En voor de 95%-boven en 5%-ondergrens in termen van de mediaan en errorfactor:

$$\begin{aligned}\frac{x_{0.05}}{x_{0.5}} &= \frac{e^{-\alpha S + M}}{e^M} = e^{-\alpha S} = \frac{1}{EF} \\ \frac{x_{0.95}}{x_{0.5}} &= \frac{e^{\alpha S + M}}{e^M} = e^{\alpha S} = EF\end{aligned}$$

A.3 Aanvulling van de data

Het komt veel voor dat de data geen errorfactor, grenzen of mediaan bevat. Dit deel van de appendix beschrijft de methodiek die gebruikt is om deze te berekenen. Overal wordt aangenomen dat de data lognormaal verdeeld is. Overal is het gemiddelde bekend.

A.3.1 Het gemiddelde en de mediaan zijn gegeven

¹ Het gevonden punt had in theorie, maar niet voor de lognormale verdeling, een minimum kunnen zijn.

Als het gemiddelde en de mediaan bekend zijn, kunnen de error factor en de grenzen als volgt worden bepaald.

De parameter S van de lognormale verdeling wordt gegeven door:

$$S = \sqrt{2 \ln \left(\frac{\text{Gem}}{x_{0.5}} \right)}$$

Met $x_{0.5}$ de mediaan. Aan de hand hiervan wordt de errorfactor berekend:

$$EF = e^{1.645 \cdot S}$$

En vervolgens de grenzen van het betrouwbaarheidsinterval:

$$x_{0.05} = \frac{x_{0.5}}{EF}$$

$$x_{0.95} = x_{0.5} \cdot EF$$

A.3.2 *De grenzen zijn gegeven*

Als de grenzen bekend zijn, kunnen de error factor en de mediaan als volgt worden bepaald.

De errorfactor kan berekend worden met:

$$EF = \sqrt{\frac{x_{0.95}}{x_{0.05}}}$$

En vervolgens S en de mediaan:

$$S = \frac{\ln EF}{1.645}$$

$$x_{0.5} = \text{Gem} \cdot e^{-\frac{1}{2}S^2}$$

A.3.3 *Het gemiddelde en de errorfactor zijn gegeven of geschat*

Als het gemiddelde en de error factor bekend zijn, kunnen de mediaan en de grenzen als volgt worden bepaald.

Dit is een combinatie van de twee voorgaande paragrafen; S wordt berekend en daarna de waarden voor de percentielen en de mediaan:

$$S = \frac{\ln EF}{1.645}$$

$$x_{0.5} = \text{Geme} \cdot e^{-\frac{1}{2}S^2}$$

$$x_{0.05} = \frac{x_{0.5}}{EF}$$

$$x_{0.95} = x_{0.5} \cdot EF$$

A.3.4

Speciale gevallen

Het kan voorkomen dat een waarde gegeven is maar dat de berekening niet mogelijk is omdat deze waarde nul is. Het is bijvoorbeeld denkbaar dat de 5%-ondergrens ($x_{0.05}$) nul is. Er is hier dus geen sprake van een lognormale verdeling.

Als dit voorkomt terwijl gemiddelde en mediaan gegeven zijn, worden de waarden van de grenzen berekend aan de hand van deze mediaan, alsof het hier een lognormale verdeling betreft. De resulterende 5%-ondergrens zal normaal gesproken laag liggen en dit zou aangeven dat onze aanname niet heel slecht is.

In het geval dat zowel de mediaan als de 5%-ondergrens nul is, is een lognormale verdeling eigenlijk niet mogelijk. Het is wel mogelijk om een lognormale verdeling te berekenen aan de hand van de 95%-bovengrens en het gemiddelde. De 95%-bovengrens is namelijk gegeven als:

$$x_{0.95} = x_{0.5} \cdot EF$$

En de spreiding S als:

$$S = \sqrt{2 \ln \left(\frac{\text{Gem}}{x_{0.5}} \right)}$$

Enig herschrijven levert:

$$x_{0.95} = \text{Gem} \cdot e^{-S^2/2} EF$$

Met

$$EF = e^{\alpha S}$$

geeft dit

$$x_{0.95} = \text{Gem} \cdot e^{-S^2/2} \cdot e^{\alpha S}$$

$$-\frac{1}{2}S^2 + \alpha S - \ln \left(\frac{x_{0.95}}{\text{Gem}} \right) = 0$$

$$S = \alpha \pm \sqrt{\alpha^2 - 2 \ln \left(\frac{x_{0.95}}{\text{Gem}} \right)}$$

$$EF = e^{1.645 \cdot S_+}$$

Met S_+ de hoogste waarde van S . Vervolgens worden de grenzen en de mediaan berekend op basis van deze errorfactor. De errorfactor, berekend aan de hand van S_- , is ook een correcte oplossing, deze zal in sommige gevallen beter bij de data passen. De automatisering kiest echter altijd voor de S_+ oplossing.

Bijlage B Faaldata en grenzen

Databoeken geven een gemiddelde faalfrequentie per component. Idealiter is deze data gebaseerd op identieke componenten in identieke milieus, een zogenaamde homogene groep.

B.1 Faaldata in een homogene groep

In een homogene verzameling faaldata, is het mogelijk om alle faalmomenten bij elkaar op te tellen. De 'echte' faalfrequentie is tenslotte voor alle componenten gelijk.

De onzekerheid in de faaldata wordt beschreven door de χ^2 -kwadraat verdeling (voor faalfrequenties, bij faalkansen per vraag geldt de F-verdeling) Met 90% zekerheid is te stellen dat de waarde van het 'echte' gemiddelde zich bevindt tussen de 5%-ondergrens $P_{0.05}$ en de 95%-bovengrens $P_{0.95}$

$$P_{0.05} = \frac{\chi^2(2N, 0.05)}{2t}$$

$$P_{0.95} = \frac{\chi^2(2N + 2, 0.95)}{2t}$$

Met:

$\chi^2(\alpha, \beta)$	het β -betrouwbaarheidsinterval van de χ^2 verdeling met α vrijheidsgraden
$P_{0.05}$	de 5%-ondergrens van P
$P_{0.95}$	de 95%-bovengrens van P
N	het aantal keer dat een component faalt
t	de meettijd.

De verhouding tussen de grenzen is enkel afhankelijk van het aantal faalmomenten.

B.2 Faaldata in een heterogene groep

Databoeken bevatten niet altijd data vergaard uit een homogene groep. Met een homogene groep wordt bedoeld dat de componenten in de groep hetzelfde zijn, zich in hetzelfde milieu bevinden etc. Het is vaak het geval dat de data uit verschillende homogene groepen gecombineerd worden. Deze samenvoeging levert een heterogene groep op waardoor de bovenstaande rekenmethodes niet meer toepasbaar zijn.

Databoeken bevatten vaak data die samengevoegd is uit data van iets verschillende componenten in verschillende milieus etc. Omdat het falen van een object afhangt van vele factoren is het niet correct om de verschillende faaldata bij elkaar op te tellen.

Omdat de data die in databoeken gebruikt worden niet uit homogene groepen komt, wordt in deze boeken gebruik gemaakt van geavanceerde statistische modellen. De exacte werking van deze modellen is niet relevant voor het doel van dit rapport.

B.3 Faaldata in de praktijk

De voorgaande secties impliceren dat, als in een databron verschillende homogene groepen zijn gecombineerd, het totaal aantal faalgebeurtenissen met het aantal bedrijfsuren, kalenderuren of vragen onvoldoende informatie geeft over de

kansverdeling van het gevonden gemiddelde. Hierdoor kan ook niet op basis van alleen die informatie een Bayesiaanse update worden uitgevoerd. Verder teruggaan naar de data van elk van de onderliggende homogene groepen is theoretisch mogelijk, maar praktisch onhaalbaar. Bovendien wordt dit soort gegevens slechts in een beperkt aantal databronnen gegeven. Bedenk dat in het geval dat de faaldata beschikbaar zijn, het niet waarschijnlijk is dat de componenten waarop de generieke data zijn gebaseerd en de beschouwde component (de component waarvoor de data wordt toegepast) een homogene groep vormen. Juist hierom wordt de Bayesiaanse update toegepast.

Bijlage C Bronnen

Bron	Omschrijving bron	Toelichting bron
ABB	Foutenboom analyse voor Renovatie Besturingsinstallatie Stormvloedkering Oosterschelde, ABB documentnummer 3BNLE0003546DFS06, RWS bestek ZL 5269	Rapport van ABB met de specifieke faaldata van besturingscomponenten toegepast in de faalkansanalyse van de Oosterscheldekering. Het betreft data afkomstig van leveranciers: ABB, Hirschmann en HP.
ABBlev	ABB, leveranciersopgave, Reliability Data Sheet Controller Platform AC 800M	leveranciersopgave
ABBlev2	ABB, leveranciersopgave, Automation System Reliability and Availability Predicted vs. Observed Reliability	leveranciersopgave
ABBsheet1	ABB Reliability Data Sheet ABB Operate IT, Process Portal A.	ABB rapport met faaldata van besturingscomponenten van ABB.
ABBsheet2	Daretronics, leveranciersgegevens	leveranciersopgave
Allianz	Allianz: Handbook of loss prevention. Allianz Versicherungs-AG, Berlin/Munchen 1978.	Handboek van Allianz verzekeringsmaatschappij met daarin gedetailleerde informatie over faalwijzen en mechanismen.
ALWR88	ALWR Advanced light water reactor requirements document, Appendix A PRA key assumptions and groundrules, 1988.	Data ten behoeve van de analyse van het ontwerp van de Advanced light water reactor voor EPRI
BMKdok	BMK, Faalkansberekening besturingssysteem, document nummer E-57-0001-3-C, 1996.	
CMG	Faalkansanalyse NSTA, CMG rapport NSFA0004 versie 2.0, 2002-12-19	Rapport van CMG met de specifieke faaldata van besturingscomponenten toegepast in de faalkansanalyse van de Oosterscheldekering. Voor relais en schakelaars zijn de faalsnelheden bepaald op basis van MIL handbook 217F. De data van de overige componenten zijn afkomstig van de fabrikanten: Besturingscomponenten: Control/PEP, op basis van MIL handbook 217 UPS en 24V: geen fabrikant genoemd

Bron	Omschrijving bron	Toelichting bron
Egg	Egg-SSRE 8875 Generic component failure data base for light water and liquid sodium reactor PRA's, 1990.	
Eide1	Eide-1, Component External Leakage and Rupture Frequency Estimates, Eide en andere, PSA 1993, Probabilistic Safety Assessment International Topical Meeting, Clearwater Beach, Florida, January 26-29, 1993. Pagina 1171	Verzameling van faaldata voor lekkage- en breukfrequenties uit "Licensee Event Reports" betreffende de ervaring in commerciële kernenergiereactoren in de Verenigde Staten.
Eide2	Eide-2, Component Failure Rate Comparison and Recommendations for various processing Fluids, Eide en andere, Sessie 68-7 t/m 68-12, Proceedings of PSAM-II, San Diego, 20-25 maart 1994	Paper in PSAM-II proceedings waarin faaldata van componenten voor vier verschillende procesmedia worden vergeleken. De data zijn vooral afkomstig uit de Nuclear Computerized Library for Assessing Reactor Reliability (NUCLARR) database.
EideGen	Eide Generic component failure database, Eide en andere, PSA 1993, Probabilistic Safety Assessment International Topical Meeting, Clearwater Beach, Florida, January 26-29, 1993. Pagina 1175-1182	De data zijn vooral afkomstig uit de Nuclear Computerized Library for Assessing Reactor Reliability (NUCLARR) database die ontwikkeld is voor de Nuclear Regulatory Commission in de Verenigde Staten door Idaho National Engineering Laboratory
Eireda91	EIREDA European Industry Reliability Data Handbook, 1991.	Voorloper van Eireda 1995
Eireda95	Eireda, European Industry Reliability Data Bank, Industrial Plants, Volume 2, Second Edition 1995, ISBN 2-9509092-0-5.	Europese industrie betrouwbaarheids-databank, met data van elektrische, mechanische en elektromechanische componenten en systemen van thermische energiecentrales.
EJ	Expert judgement	Inschatting van expert voor specifieke toepassing. Veelal op basis van diverse generieke databronnen.
E-ned	Elektriciteitsdistributienetten, 1996. EnergieNed statistieken. Kluwer Bedrijfsinformatie b.v.	Uitgave van storingsgegevens in de Nederlandse elektrische energievoorziening, verkrijgbaar bij EnergieNed in Arnhem.
EpriCF	EPRI AP-2071 Component failure and repair data for coal-fired power units, Fluor Power Services, 1981.	

Bron	Omschrijving bron	Toelichting bron
G&B72	Reliability Technology, Green & Bourne, Systems Reliability Service, 1972, ISBN 0 471 32480 9	Betrouwbaarheidsanalysetheorie
Hirsch	Hirschman, leveranciersopgave	leveranciersopgave
IEEE84	IEEE Std 500 Reliability data, Guide to the collection and Presentation of Electrical, Electronic, sensing Component, and Mechanical Equipment Reliability Data for Nuclear-Power Generating Stations, 1984.	-
KEMA2	Faalkansanalyse besturing locomobiel sectordeurkering, KEMA rapport 41326-NUC-96-4480, 13 augustus 1996	Rapport combineert faaldata fabrikant
KEMA3	Betrouwbaarheid Besturing Maeslantkering, KEMA rapport 94207-MAP-3, rev. 0, 3 juli 1990	Zie Bron "KEMAmas"
KEMA4	Betrouwbaarheidsanalysetechnieken, KEMA rapport 30117-MAP-21, 7 augustus 1992	Data dieselgeneratoren o.b.v. onderzoek door KEMA
KEMA5	Verzameling van faalsnelheden en hersteltijden in hoogspanningsnetten, KEMA rapport WSK/30118-4, 1985.	Overzicht van faalsnelheden e.d. van in hoogspanningsnetten aanwezige componenten uit VDEN statistieken en computerbestanden over 1978 t/m 1982
KEMAmas	Kema, 94207-Map-2 Betrouwbaarheid aandrijving sectordeuren Maeslantkering, Kema rapport 94207, 1990.	Onderbouwing van de data gebruikt voor het aantonen van de betrouwbaarheid van de aandrijving van de sectordeuren Maeslantkering.
Led2	Led2 - Ledlampen in scheepvaart- en verkeersinstallaties, www.led2.org. Rijkswaterstaat. Accessed on 7th March 2008.	Download document "Led2-lampen"
lev.	Leveranciersgegevens	Faaldata afkomstig van anonieme leveranciers, opgevraagd in project waar tussenbron betrekking op heeft
NotaInl	Nota van Inlichtingen bij bestek ZLD-6400, Rijkswaterstaat.	
Nureg2728	NUREG/CR-2728 Interim Reliability Evaluation Program Procedures Guide, 1983.	Overgenomen van EGG-EA-5887 Generic database for data and Models Chapter of the national Reliability Evaluation program (NREP) Guide, 1982

Bron	Omschrijving bron	Toelichting bron
Oreda84	OREDA-84, Offshore Reliability Data, 1st edition, Veritec, 1984	Data van componenten en systemen in de offshore, verzameld door oliemaatschappijen
Oreda92	OREDA-92, Offshore Reliability Data, 2nd edition, Det Norske Veritas Industri Norge AS, 1992.	Data van componenten en systemen in de offshore, verzameld door oliemaatschappijen
Oreda97	OREDA-97, Offshore Reliability Data, 3rd edition, Det Norske Veritas, 1992	Data van componenten en systemen in de offshore, verzameld door oliemaatschappijen
Phoenix	Phoenix Exida rapport	Rapport uitgevoerd door Exida voor de bepaling van de betrouwbaarheidsdata op basis van IEC-61508.
proj.	Projectspecifieke bron	Faaldata gebruikt in project zonder daadwerkelijke bronvermelding.
Q&RE90	Quality and Reliability Engineering International vol. 6, 1990.	Niet beschikbaar bij NRG
RAC2.10	RAC database, Version: 2.10	Database van het Reliability Analysis Centre, met data van mechanische, elektrische, elektromechanische, hydraulische en besturingscomponenten. Verzameld binnen de Amerikaanse strijdkrachten.
RBMR_BOS	RBMR, BOS Failure Analysis Hardware Continuum, Overview of the Stratus Continuum 610, CMG, 2 november 2001.	-
SAIC90	Generic Data Notebook for Commercial Nuclear Power plant Probabilistic Risk assessment, SAIC 877-03-02 Rev. 0, 1990.	Data gebaseerd op verschillende databronnen, voornamelijk uit analyses van kernenergiecentrales
Simatic.xls	Siemens Simatic##.xls	
Tbook3	T-book 3rd edition, Reliability Data of Components in Nordic Nuclear Power Plants, ATV office and Studsvik AB, ISBN 91-7186-294-1, 1992	Betrouwbaarheidsdata van componenten in Scandinavische Kerncentrales.
Tbook4	T-book 4th edition, Reliability Data of Components in Nordic Nuclear Power Plants, ATV office and Studsvik AB, ISBN 91-7186-303-6, 1994	Betrouwbaarheidsdata van componenten in Scandinavische Kerncentrales.

Bron	Omschrijving bron	Toelichting bron
Tbook6	T-book, 6th edition, Reliability Data of Components in Nordic Nuclear Power Plants, The TUD Office, ISBN 91-631-7232-1, 2005	Betrouwbaarheidsdata van componenten in Scandinavische Kerncentrales.
VDEN86	VDEN Openbare netten voor elektriciteitsdistributie, 1986.	Voorganger van bron "E-ned"
Wash	NUREG-75/014 (WASH 1400) Reactor Safety Study, An Assessment of Accident Risks in U.S. Commercial Nuclear Power Plants, 1975	Eerste Probabilistic Safety Analysis van kerncentrales in de Verenigde Staten
Wels	KEMA-40050, Faaldata hydraulische componenten, H.C. Wels, 92-12-07	Faaldata van hydraulische componenten op basis van ervaring handboeken (Green en Bourne) aangepast op basis van RWS (WED) ervaring bij Oosterscheldekering en Krammer-sluizen.

Bijlage D Tussenbronnen

Bronreferentie in database	Omschrijving
A2 36	Beschikbaarheidsanalyse (E36) Tunnelventilatie Project: Overkappingsconstructie Rijksweg 2 in de gemeente Utrecht, CDO-TTAL-TTIU36-ANA-0001, versie B, 2-9-2011
A2 40/89	Faalkansanalyse Besturing Verkeer (40) en Noodbediening Verkeer (89) Project: Overkappingsconstructie Rijksweg 2 in de gemeente Utrecht, COO-TTAL-TVKR40-ANA-0001, versie C, 2-11-2011
A2 51	Beschikbaarheidsanalyse (E51) Brandblusinstallatie Tunnel Project: Overkappingsconstructie Rijksweg 2 in de gemeente Utrecht, COO-TTAL-TTIU51-ANA-0001, versie C, 8-9-2011
A2 61	Beschikbaarheidsanalyse TDEC61 CCTV Project: Overkappingsconstructie Rijksweg 2 in de gemeente Utrecht, CDO-TTAL-TDEC61-ANA-0001, versie B, 2-9-2011
A2 63	Beschikbaarheidsanalyse TDEC63 Omroep Project: Overkappingsconstructie Rijksweg 2 in de gemeente Utrecht, CDO-TTAL-TDEC63-ANA-0001, versie B, 18-10-11
A2 80	Beschikbaarheidsanalyse Bediening en Besturing Project: Overkappingsconstructie Rijksweg 2 in de gemeente Utrecht, COO-TTAL-TSYSAL-ANA-0001, versie C, 7-9-2011
A2 91	Beschikbaarheidsanalyse TEVC91 – Vluchtdeuren Project: Overkappingsconstructie Rijksweg 2 in de gemeente Utrecht, CDO-TTAL-TEVC91-ANA-0001, versie A, 14-9 2011
OKE	Betrouwbaarheidsanalyse OKE, Data analyse, NRG rapport 20813/02.54184 revisie F, 12 augustus 2003
OSK	Faalkansanalyse Stormvloedkering Oosterschelde 2008, Data analyse, NRG rapport 22311/08.90551, revisie B, 28 november 2008

Bronreferentie in database	Omschrijving
Sluis_Driel	Beschikbaarheidsanalyse sluizen en stuwen NederRijn-Lek, 21874/06.73986 revisie B, 9 juni 2006
Brug_Terneuzen	Risicoanalyse basculebrug Westsluis Terneuzen, NRG rapport 22234/08.88810, 22 mei 2008
LK	Leidraad kunstwerken 2003 Technische Adviescommissie Waterkeringen De data in de leidraad kunstwerken is identiek aan de data in: <i>Basisrapport Waterkerende Kunstwerken en Bijzondere Constructies, TAW leidraad, juni 1997.</i> De data in: <i>Standaard NIE-002, Betrouwbaarheid Elektrische Installaties, samengesteld door de Bouwdienst van Rijkswaterstaat, 13 maart 2000</i> is afkomstig uit het basisrapport.

Handreiking RWS faaldatabase en een RWS faaldatabase voor opdrachtnemers

Nummer:	5499
Versie:	1.0
Status:	In beheer
Type:	Handreiking
Inhoudelijk beheerder:	Peter Blanker
Verantwoordelijke afdeling:	Afd. Instandh. Constructies en Onderh.
Netwerken:	Hoofdvaarwegennet, Hoofdwatersysteem
Rollen:	Technisch Manager
Fase:	Realisatie, Onderhoud
Proceseigenaar	Proceseigenaar Aanleg en Onderhoud

RWS Faaldatabase voor opdrachtnemers

RWS Faaldatabase voor opdrachtnemers 20 december 2016

Product bij Handleiding Faaldatabase, definitief 20
december 2016, versie 1.0

RWS Faaldatabase Voorkeursfaaldata

Componentnaam	Faaltwijze	Faalfrequentie stand-by ($\lambda_{s,0,95}$) [1/uur]	Faalfrequentie bedrijf ($\lambda_{b,0,95}$) [1/uur]	Faalkans per vraag ($Q_{0,95}$) [-]	Error factor	Opmerkingen	Bron	Pagina
Accumulator, type zuigeraccumulator	Vast	3,70E-07			10,0	behandeld als zuiger/cilinder	LeidK	BRWK 56
Aggregaat, hydraulisch aggregaat	Start niet	3,10E-05			5,0		EJ	
Aggregaat, hydraulisch aggregaat	Faalt	9,90E-06			4,0	critical! 5e-6 unknown failures niet meegerekend. Waarde obv kalendertijd	Oreda92	515
Aggregaat, hydraulisch aggregaat	Faalt	9,90E-06			4,0	critical! 5e-6 unknown failures niet meegerekend. Waarde obv kalendertijd	Oreda92	515
Antenne-inrichting	Niet-beschikbaar		7,75E-05		5,0		EJ	
Arreteerpen	Niet omhoog	1,13E-05			10,0		EJ	
Arreteerpen	Niet omlaag	1,13E-05			10,0		EJ	
Balg, rubberen balg	Lekkage, extern		1,88E-06		10,0		EJ	
Barometer	Valt uit		3,75E-05		10,0		EJ	
Batterij, accu 24V	Levert geen spanning	9,69E-06			9,6	combinatie λ s en Q T-book 6	Tbook6	270
Batterij, accu 24V	Faalt tijdens bedrijf		8,09E-07		5,1	spurious interruption na zekere bedrijfstijd	Tbook6	271
Beveiliging, automaat 0,4kV	Opent spontaan		1,09E-07		10,0		Tbook6	322
Beveiliging, automaat 0,4kV	Schakelt niet	6,68E-06			10,2	combinatie λ s en Q T-book 6	Tbook6	321
Beveiliging, automaat 10 kV	Schakelt niet	7,45E-06			11,8	combinatie λ s en Q T-book 6	Tbook6	315
Beveiliging, smeltveiligheid	Opent niet			3,80E-05	10,0		Egg	22
Beveiliging, smeltveiligheid 0,4kV	Opent spontaan		3,80E-07		10,0		Egg	22
Beveiliging, smeltveiligheid 10 kV	Faalt		2,17E-07		20,0	faalmode niet in bron!	E-ned	268
Beveiliging, thermisch	Opent voortijdig		1,10E-06		10,0		Egg	21
Breekplaat	Opent spontaan			3,75E-05	10,0		EJ	
Camera, CCTV dome camera	Defect		3,56E-05		5,0		RAC2.10	
Camera, CCTV vaste camera	Defect		9,29E-06		5,0		NIE-002	26
Cilinder, hydraulische cilinder	Lekkage, groot, intern/extern		3,75E-06		10,0		Wels	9
Cilinder, hydraulische cilinder	Blokkeert		3,75E-07		10,0		Wels	9
Connector, schroef connector	Faalt		2,31E-08		20,0		Siemens	
CPU, Central Processing unit van PLC	Faalt		1,03E-05		5,0		proj.	tab_S5 (6ES5..)
Detectielus, DVM detectielus	Faalt		1,07E-07		20,0		proj.	
Digilijn	Niet-beschikbaar		3,19E-04		10,0		EJ	
Dokdeur	Zit vast	8,64E-06			10,0		EJ	
Dokschuif	Opent niet		1,13E-05		10,0		EJ	
Dokschuif	Sluit niet		1,13E-05		10,0		EJ	
Encoder, audioconverter van analoog naar digitaal signaal	Faalt		1,88E-05		10,0		proj.	
Filter, oliefilter hydraulisch	Verstopt		3,70E-05		10,0		Egg	19
Geheugen module PLC	Valt uit		1,65E-05		10,0		lev.	
Gelijkrichter, 0,4kV	Valt uit		4,06E-06		5,0		Tbook6	273
Gelijkrichter, Gestabiliseerde voeding 24V	Geeft geen gelijkspanning		2,87E-05		9,0		SAIC90	3B15
Generator, diesel	Start niet	4,04E-05			9,0	combinatie λ s en Q T-book 6	Tbook6	265
Generator, diesel	Stopt voortijdig		4,60E-03		4,6		Tbook6	264
Grafische kaart	Faalt		4,51E-06		10,0		lev.	
Harde schijf	Defect		6,69E-06		5,0		RBMR_BOS	
Hydraulisch systeem	Externe lekkage		7,51E-07		10,0		Eide2 /EJ	068-9/10
I/O kaart, 4 kanaals analoge Inputkaart	Faalt		1,30E-05		5,0		Siemens	
I/O kaart, 8 kanaals digitale in- en outputkaart	Faalt		4,15E-06		5,0		Siemens	
I/O kaart, digitale uitgangkaart	Faalt		1,61E-05		5,0		Siemens	
Kabel, 0,4kV kabel bovengronds (per km)	Breukt		1,05E-05		2,0		IEEE84	767

RWS Faaldatabase Voorkeursfaaldata

Componentnaam	Faalwijze	Faalfrequentie stand-by ($\lambda_{s,0,95}$) [1/uur]	Faalfrequentie bedrijf ($\lambda_{b,0,95}$) [1/uur]	Faalkans per vraag ($Q_{0,95}$) [-]	Error factor	Opmerkingen	Bron	Pagina
Kabel, 0,4kV in kast (per m)	Faalt		3,75E-08		10,0		proj.	
Kabel, 0,4kV kabel in goot (per km)	Breekt		4,93E-07		10,0		IEEE84	764
Kabel, 10 kV flexibele kabel (per km)	Breekt		8,19E-06		3,0	600V - 15kV bovengronds	IEEE84	767
Kabel, 10 kV kabel (per km)	Valt uit		3,26E-06		3,0		E-ned	268
Kabel, 10kV kabel in kabelgoot (per km)	Defect		2,40E-06		3,0		EJ	
Kabel, glasfiber kabel (per km)	Breekt		2,07E-05		14,5	control cable (koper!)	IEEE84	772
Kabel, hoogspanningslijn 110-220 kV (per km)	Valt uit		9,50E-07		1,3		KEMA5	76
Kabel, hoogspanningslijn 380 kV (per km)	Valt uit		5,00E-07		1,5		KEMA5	88
Kabel, hoogspanningslijn 50 kV (per km)	Valt uit		1,27E-06		1,5		KEMA5	64
Kabel, signaalkabel koper (per km)	Breekt		2,07E-05		14,5		NIE-002	25
Klep, drukbegrenzingsventiel	Opent spontaan		1,13E-05		10,0	air operated safety valve	Eide2	068-09
Klep, drukbegrenzingsventiel	Opent niet	1,01E-05			10,0		EJ	
Klep, drukbegrenzingsventiel	Sluit niet	1,01E-05			10,0		EJ	
Klep, drukregelklep	Regelt niet		1,13E-05		10,0	air operated control valve (compressed gas)	Eide2	068-09
Klep, gestuurde terugslagklep	Opent niet	3,75E-07			10,0		EJ	
Klep, gestuurde terugslagklep	Sluit niet	3,75E-07			10,0	"open"	Wels	9
Klep, gestuurde terugslagklep	Opent spontaan		3,43E-06		8,3		SAIC90	3-C-83
Klep, handafsluiter	Vast opent niet/sluit niet		3,75E-08		10,0		EJ	
Klep, hydraulisch gestuurd ventiel	Opent niet	3,75E-07			10,0		EJ	
Klep, motorgestuurde klep	Opent niet/sluit niet	2,26E-05			9,1	combinatie λ_s en Q T-book 6	Tbook6	150
Klep, naaldventiel	Verstopt		2,12E-05		30,0		EJ	
Klep, ontluichtingsklep	Sluit niet		1,72E-06		10,0		lev.	
Klep, regelklep	Lekkage, intern		1,30E-05		3,0	significante lekkage	Oreda84	167
Klep, regelklep	Regelt niet		8,06E-05		5,0	pneumatically operated, globe/gate, hydrocarbon, oil <24"	Oreda84	167
Klep, regelklep	Verstopt		8,20E-06		9,5		Oreda84	167
Klep, smoorventiel	Verstopt		2,12E-05		30,0		EJ	
Klep, solenoïde stuurventiel, normaal bekrachtigd	Fuctioneert niet	1,26E-06			6,0		Tbook6	185
Klep, solenoïde stuurventiel, normaal niet bekrachtigd	Fuctioneert niet	2,99E-06			9,9	combinatie λ_s en Q T-book 6	Tbook6	187
Klep, terugslagklep	Opent niet	7,51E-07			10,0	combinatie λ_s en Q T-book 6, gecorrigeerd o.b.v. EJ	Tbook6 + EJ	168
Klep, terugslagklep	Sluit niet	9,39E-07			10,0	combinatie λ_s en Q T-book 6, gecorrigeerd o.b.v. EJ	Tbook6 + EJ	169
Klep, veerbelaste veiligheidsklep veerbelast	Opent niet / sluit niet			5,50E-04	10,0		Eireda91	73
Klep, veerbelaste veiligheidsklep veerbelast	Sluit niet na openen			3,70E-02	10,0		Eireda91	73
Klep, veiligheidsklep	Opent niet	6,82E-06			5,0		EJ	
Klep, veiligheidsklep	Opent spontaan		1,13E-05		10,0	air operated safety valve	Eide2	068-09
Klep, vlinderklep	Opent niet	1,33E-05			5,0	kalendertijd!	Oreda97	369
Klep, vlinderklep	Sluit niet	2,50E-05			9,8	kalendertijd!	Oreda97	369
Klok, systeemklok	Defect		2,82E-06		5,0		RBMR_BOS	
Koppeling, Lierkoppeling	Niet vast	3,10E-06			5,0		EJ	
Koppeling, Lierkoppeling	Niet los	9,29E-06			5,0		EJ	
Koppeling, vloeistofkoppeling	Faalt		1,58E-05		5,0		lev.	
Lamp, LED-MODULE	Faalt		3,72E-07		10,0	contourverlichting vluchtdeur	lev.	
Lier	Faalt tijdens bedrijf		1,10E-04		1,4	crane system, Diesel hydraulic, kalendertijd!	Oreda84	295
Luchtkoeler	Start niet			7,69E-04	9,0		SAIC90	3A01
Luchtkoeler	Stopt voortijdig		3,06E-05		4,3		SAIC90	3A05

RWS Faaldatabase Voorkeursfaaldata

Componentnaam	Faaltwijze	Faalfrequentie stand-by ($\lambda_{s,0,95}$) [1/uur]	Faalfrequentie bedrijf ($\lambda_{b,0,95}$) [1/uur]	Faalkans per vraag ($Q_{0,95}$) [-]	Error factor	Opmerkingen	Bron	Pagina
Luidspreker	Faalt		2,50E-06		10,0		lev.	
Meter, vermogensmeting	Valt uit		3,75E-05		10,0		EJ	
Modem, Solid State Device	Faalt		1,10E-05		10,0	solid state logic module / EJ	Egg	24
Moederboard	Faalt		9,60E-06		5,0		lev.	
Monitor	Faalt		4,58E-05		10,0		lev.	
Motor control unit	Schakelt niet		1,36E-05		5,0		lev.	
Motor, elektrische motor	Start niet	1,10E-04			10,0		Egg	22
Motor, elektrische motor	Stopt voortijdig		1,10E-04		10,0		Egg	22
Motor, hydraulisch	Lekkage, intern		3,75E-07		10,0		EJ	
Motor, hydraulisch	As breuk		3,75E-06		10,0		EJ	
Netwachter	Functioneert niet		7,51E-06		10,0		EJ	
Omvormer, 24VDC naar 230VAC	Defect		4,51E-05		10,0	critical	Oreda84	257
Onderstation 150 kV	Valt uit		1,37E-05		3,0		EJ	
Openbaar elektriciteitsnet	Dip		5,33E-03		20,0		EJ	
Openbaar elektriciteitsnet	Valt uit		1,00E-04		3,2		VDEN86	66
Pakking	Lekkage		1,80E-06		10,0		G&B72	568
Panamawiel van deur	Faalt		5,63E-07		10,0	zie tandwielkast Allianz	EpriCF / Allianz	2-2 / 772
PLC	Valt uit		2,08E-05		5,0		KEMA3	5
PLC backplane	Defect		2,23E-06		5,0		CMG	61
Pomp, continu in bedrijf	Start niet	1,19E-05			7,4	combinatie λ s en Q T-book 6	Tbook6	109
Pomp, continu in bedrijf	Stopt voortijdig		7,60E-05		6,2		Tbook6	108
Pomp, elektromotor aangedreven	Start niet			1,53E-02	5,3		SAIC90	3M09
Pomp, hydraulisch	Lekkage, intern		3,75E-07		10,0		EJ	
Pomp, hydraulisch	Externe lekkage		1,13E-07		10,0		Eide2	068-10
Pomp, hydraulisch (stand by)	Valt uit		3,27E-03		10,0		Tbook6	135
Pomp, hydraulisch (stand by)	Start niet	1,32E-05			9,8	combinatie λ s en Q T-book 6	Tbook6	136
Pomp, Stand-by	Start niet <75kg/s)	4,12E-05			12,0	combinatie λ s en Q T-book 6	Tbook6	121
Relais	Schakelt niet			1,10E-03	10,0		Egg	21
Rem lier	Niet vast	1,99E-04			10,0		EJ	
Rem lier	Niet los	1,99E-04			10,0		EJ	
Router, CISCO	Faalt		9,40E-06		5,0		proj.	
Satellietverbinding	Defect			3,72E-02	5,0		EJ	
Schakelaar 0.4 kV	Sluit/opent spontaan		1,09E-07		10,0		Tbook6	322
Schakelaar 0.4 kV	Schakelt niet	6,68E-06			10,2	combinatie λ s en Q T-book 6	Tbook6	321
Schakelaar, 10 kV	Schakelt niet	7,45E-06			11,8	combinatie λ s en Q T-book 6	Tbook6	315
Schakelaar, 10 kV	Sluit/opent spontaan		3,19E-07		10,0	waarde voor breaker, geen disconnecter	Tbook6	316
Schakelaar, 24VDC	Opent spontaan		2,50E-06		10,0		RBMR_BOS	
Schakelaar, eindschakelaar	Geeft geen signaal	9,29E-07			5,0	positiemelder	RA-kader	19
Schakelaar, eindschakelaar	Geeft onterecht signaal	3,10E-06			5,0	positiemelder	RA-kader	19
Schakelaar, handschakelaar	Opent spontaan		1,88E-06		10,0		LeidK	156
Schakelaar, handschakelaar	Schakelt niet			1,10E-04	10,0		Nureg2728	5.1-1, 126 e.v.
Schakelaar, lastscheider	Opent spontaan		2,14E-06		10,0		NIE-002	26
Schakelaar, lastscheider 10 kV	Opent spontaan		3,75E-07		10,0		EJ	
Schakelaar, lastscheider 10 kV	Opent niet	8,76E-08			20,0		EJ	
Schakelaar, naderingsschakelaar contactloos	Faalt		7,25E-07		20,0		lev.	
Schakelaar, niveauschakelaar	Schakelt niet	2,63E-06			10,0	T-book 6 waarde aangepast o.b.v. EJ	Tbook6+EJ	248
Schakelaar, spil-eindschakelaar	Sluit niet			2,40E-04	3,0		Nureg2728	5.1-1, 126 e.v.
Schuif, in sluisdeur	Zit vast	9,29E-06			5,0		EJ	

RWS Faaldatabase Voorkeursfaaldata

Componentnaam	Faaltwijze	Faalfrequentie stand-by ($\lambda_{s,0,95}$) [1/uur]	Faalfrequentie bedrijf ($\lambda_{b,0,95}$) [1/uur]	Faalkans per vraag ($Q_{0,95}$) [-]	Error factor	Opmerkingen	Bron	Pagina
Sensor, drukmeter, pressure sensor	Valt uit	4,88E-06			10,0	combinatie λ s en Q T-book 6, gecorrigeerd o.b.v. EJ	Tbook6	231
Sensor, drukverschilmeter	Faalt		5,22E-06		10,0		RAC2.10	
Sensor, graycodegever	Functioneert niet		3,75E-06		10,0	waarde voor speed transducer	EideGen	1179
Sensor, hitte/rookmelder	Faalt		3,62E-07		20,0		lev.	
Sensor, hoekmeting	Valt uit		1,88E-05		10,0		EJ	
Sensor, lucht temperatuur meter	Faalt		1,81E-06		10,0		lev.	
Sensor, niveaumeter vlottersysteem	Faalt		7,20E-05		10,0		LeidK	28
Sensor, Positieteller	Valt uit		1,13E-05		10,0		EJ	
Sensor, vloeistof temperatuur	Meet niet		1,72E-05		10,0		lev.	
Sensor, zichtmeter	Faalt		3,76E-06		10,0		proj.	
Server, connectivity server	Faalt		2,40E-05		5,0		lev.	
Slang, hydraulisch licht belast	Lekkage		1,50E-05		10,0		G&B72	568
Slang, hydraulisch zwaar belast	Lekkage		1,50E-04		10,0		G&B72	568
Splitter, coax antenne splitter	Defect		1,55E-06		5,0		EJ	
Spoel, smoorspoel	Functioneert niet		9,55E-07		5,0		E-ned	268
Switch, netwerk switch	Functioneert niet				5,0		ABB	20
Tandwielkast	Defect		3,10E-06		3,0	onderdeel air heater coal plant	EpriCF	2-2
Tank	Lekkage		1,88E-06		10,0		Egg	12
Toetsenbord/muis	Faalt		4,51E-06		10,0		lev.	
Transmissienetwerk, multiplexer glasvezel	Defect		1,88E-05		10,0		EJ	
Transmissienetwerk, multiplexer koper	Defect		3,10E-06		5,0		EJ	
Transformator, 10/0.4 kV	Valt uit		2,14E-07		10,0		E-ned	268
Transformator, 24VDC	Faalt		6,44E-06		5,0		RAC2.10	
Transformator, 25/150 kV	Valt uit		7,44E-06		5,0		E-ned	
Transmissienetwerk, communicatiekaart	Valt uit		6,30E-06		5,0		Siemens	tab_S5 (6ES5..)
Transmissienetwerk, communicatiekaart ethernet	Faalt		5,33E-06		5,0		Siemens	
Transmissienetwerk, communicatiekaart profibus	Valt uit		3,89E-05		5,0		Siemens	tab_S5 (6ES5..)
Transmissienetwerk, communicatiekaart RS 485	Faalt		3,77E-06		5,0		Siemens	
Transmissienetwerk, communicatiekaart RS232	faalt		2,43E-06		5,0		Siemens	
Transmissienetwerk, converter koper naar glas omzetter	Faalt		1,54E-05		5,0		lev.	
Transmissienetwerk, IO bus	Valt uit		8,86E-07		5,0		RBMR_BOS	
Transmissienetwerk, modbus master en base	Faalt		3,72E-06		5,0		proj.	
Transmissienetwerk, netwerk interface module	Valt uit		1,13E-05		10,0	solid state logic module	EideGen	1180
Transmissienetwerk, netwerkadapter	Faalt		7,51E-06		10,0		lev.	
Transmissienetwerk, optische link module	Faalt		4,04E-06		10,0		Siemens	
Transmissienetwerk, profibus connector	Faalt		2,58E-08		10,0		Siemens	
Transmissienetwerk, profibus glasvezel module	Defect		1,87E-05		20,0		Siemens	tab_S5 (6ES5..)
Transmissienetwerk, systeem bus	Valt uit		3,10E-06		5,0		EJ	
Transmissienetwerk, transmissiebus	Buslock t.g.v. falen I/O-module				5,0	LC, 5DI, 5DO	ABB	18
UPS	Voeding onderbroken		2,20E-05		5,0	merkbaar 80%, niet merkbaar 20%	lev.	60
UPS, 24VDC	Faalt		8,26E-05		10,0		Eide2	
UPS, Static switch	Functioneert niet	1,13E-05			10,0		EJ	
Ventilator	Start niet			1,55E-02	5,0		EideGen	1178
Ventilator	Valt uit		1,13E-04		10,0	pump or compressor fails to run	Eide2	068-10
Verdeler, 24VDC	Kortsluiting of aardsluiting		1,58E-06		5,0	combinatie kortsluiting en aardsluiting	Tbook6	309
Verdelerrail 0.4 kV	Railfout, short circuit or ground contact		4,59E-07		5,0	short circuit en ground contact gecombineerd	Tbook6	306

RWS Faaldatabase Voorkeursfaaldata

Componentnaam	Faaltwijze	Faalfrequentie stand-by ($\lambda_{s,0,95}$) [1/uur]	Faalfrequentie bedrijf ($\lambda_{b,0,95}$) [1/uur]	Faalkans per vraag ($Q_{0,95}$) [-]	Error factor	Opmerkingen	Bron	Pagina
Verdelerrail 24V	(Aard-) sluiting		3,54E-07		5,0		E-ned	268
Voedingsunit, 230/24V	Faalt		7,37E-06		5,0		proj.	
Voedingsunit, gestabiliseerde voeding +/-35V	Functioneert niet		4,06E-06		5,0	rectifier	Tbook6	273
Voedingsunit, gestabiliseerde voeding 220 VAC	Defect		7,99E-06		5,0		RBMR_BOS	
Wandcontactdoos	Faalt		2,70E-08		10,0		proj.	
Werkstation	Faalt		2,60E-05		5,0		proj.	

RWS Faaldatabase toelichting

kolom	toelichting	opmerkingen
Componentnaam	Omschrijving van de component.	
Faalwijze	De specifieke faalwijze van de component waarop de data van toepassing is.	Een component kan verschillende faalwijzen bezitten. Indien deze niet duidelijk is gespecificeerd, dient voor een specifieke faalwijze de volledige faalkans of faalfrequentie te worden toegepast.
Faalfrequentie stand-by ($\lambda_{s, 0,95}$) [1/uur]	Stand-by faalfrequentie (95% grens). De 95% grens is gekozen opdat conservatieve waarden worden toegepast.	Bij stand-by componenten wordt vaak pas duidelijk of de component zich in een gefaalde toestand bevindt op het moment dat een functionele test wordt uitgevoerd of als het functioneren van de component vereist wordt. Er is dan sprake van niet-merkbaar falen. Denk bijvoorbeeld aan een motor die alleen maar hoeft te draaien als een stormvloedkering moet sluiten. Ook andere typen componenten kunnen stand-by staan, zoals onderdelen van een besturingsinstallatie of een UPS. Dit soort systemen is vaak voorzien van zelftests waardoor een deel van de faalwijzen gemeld zal worden. Een fractie van het stand-by falen wordt daarmee merkbaar gemaakt. In dat geval kan de stand-by faalfrequentie worden verdeeld in een merkbaar deel en een niet merkbaar deel.
Faalfrequentie bedrijf ($\lambda_{b, 0,95}$) [1/uur]	Faalfrequentie tijdens bedrijf (95% grens).	Een component kan verschillende faalfrequenties hebben afhankelijk of deze stand-by staat of in bedrijf is.
Faalkans per vraag ($Q_{0,95}$) [-]	Faalkans per vraag (95% grens).	Let op bij toepassing: "zuivere" faalkansen per vraag zijn schaars. Als het testinterval van de componenten waarop de brondata zijn gebaseerd afwijkt van het testinterval in het systeem waarvoor de data wordt toegepast, moet de data worden gecorrigeerd. Voor stand-by componenten geeft de database soms een stand-by faalfrequentie (λ_s) en soms een faalkans per vraag (Q). De niet beschikbaarheid van componenten met een faalfrequentie is afhankelijk van het interval waarmee de desbetreffende component wordt getest (T). Een faalkans per vraag suggereert dat de faalkans onafhankelijk is van het tijdstip van de vraag. Dit is in de meeste situaties echter niet het geval. Een deel van de data is verzameld in kernenergiecentrales, waarin de componenten vaak maandelijks worden getest. Als conservatief uitgangspunt wordt genomen dat dit voor alle componenten met een faalkans per vraag geldt. De faalkans per vraag hoort dan dus bij een testinterval van één maand. Indien een groter testinterval wordt toegepast, dient de faalkans per vraag evenredig te worden verhoogd. De faalkans per vraag kan worden omgezet in een faalfrequentie via de formule: $Q = \frac{1}{2}\lambda_s T$ ofwel: $\lambda_s = 2Q/T$
Error factor (EF)	Indicator van de onzekerheid van de faaldata, gegeven in de bron of in de tussenbron. Hoe hoger de waarde, hoe hoger de onzekerheid. $EF = \sqrt{\frac{\lambda_{0,95}}{\lambda_{0,05}}}$	Het kwadraat van de Error Factor geeft aan hoeveel maal de 5% ondergrens lager ligt dan de 95% bovengrens van de verdeling. Voor faalkansen, faalfrequenties en herstelduren wordt vaak uitgegaan van een lognormale verdeling. In dat geval geldt ook: $EF = \frac{\lambda_{0,95}}{\lambda_{0,50}} \quad EF = \frac{\lambda_{0,50}}{\lambda_{0,05}}$ Op het werkblad "Lognormaal" kan het effect van de error factor op de lognormale verdeling worden gezien.
Opmerkingen	Opmerkingen t.b.v. de interpretatie van de data	
Bron	Database of -document waarop de data gebaseerd zijn. Verwijst naar tabblad "Bronnen"	
Pagina	Pagina in bron waarop de data te vinden is.	

RWS Faaldatabase databronnen

Bron	Omschrijving bron	Randvoorwaarden bron	Bron leidraad Kunstwerken
ABB	Foutenboom analyse voor Renovatie Besturingsinstallatie Stormvloedkering Oosterschelde, ABB documentnummer 3BNLE0003546DFS06, RWS bestek ZL 5269	Rapport van ABB met de specifieke faaldata van besturingscomponenten toegepast in de faalkansanalyse van de Oosterscheldedekering. Het betreft data afkomstig van leveranciers: ABB, Hirschmann en HP.	
ABBlev	ABB, leveranciersopgave, Reliability Data Sheet Controller Platform AC 800M	leveranciersopgave	
ABBlev2	ABB, leveranciersopgave, Automation System Reliability and Availability Predicted vs. Observed Reliability	leveranciersopgave	
ABBsheet1	ABB Reliability Data Sheet ABB Operate IT, Proces Portal A.	ABB rapport met faaldata van besturingscomponenten van ABB.	
ABBsheet2	Daretronics, leveranciersgegevens	leveranciersopgave	
Allianz	Allianz: Handbook of loss prevention. Allianz Versicherungs-AG, Berlin/Munchen 1978.	Handboek van Allianz verzekeringsmaatschappij met daarin gedetailleerde informatie over faalwijzen en mechanismen.	LK ref B.6
ALWR88	ALWR Advanced light water reactor requirements document, Appendix A PRA key assumptions and groundrules, 1988.	Data ten behoeve van de analyse van het ontwerp van de Advanced light water reactor voor EPRI	LK ref B.12
BMKdok	BMK, Faalkansberekening besturingssysteem, document nummer E-57-0001-3-C, 1996.		
CMG	Faalkansanalyse NSTA, CMG rapport NSFA0004 versie 2.0, 2002-12-19	Rapport van CMG met de specifieke faaldata van besturingscomponenten toegepast in de faalkansanalyse van de Oosterscheldedekering. Voor relais en schakelaars zijn de faalsnelheden bepaald op basis van MIL handbook 217F. De data van de overige componenten zijn afkomstig van de fabrikanten: Besturingscomponenten: Control/PEP, op basis van MIL handbook 217 UPS en 24V: geen fabrikant genoemd	
Egg	Egg-SSRE 8875 Generic component failure data base for light water and liquid sodium reactor PRA's, 1990.		
Eide1	Eide-1, Component External Leakage and Rupture Frequency Estimates, Eide en andere, PSA 1993, Probabilistic Safety Assessment International Topical Meeting, Clearwater Beach, Florida, January 26-29, 1993. Pagina 1171	Verzameling van faaldata voor lekkage- en breukfrequenties uit "Licensee Event Reports" betreffende de ervaring in commerciële kernenergiereactoren in de Verenigde Staten.	
Eide2	Eide-2, Component Failure Rate Comparison and Recommendations for various processing Fluids, Eide en andere, Sessie 68-7 t/m 68-12, Proceedings of PSAM-II, San Diego, 20-25 maart 1994	Paper in PSAM-II proceedings waarin faaldata van componenten voor vier verschillende procesmedia worden vergeleken. De data zijn vooral afkomstig uit de Nuclear Computerized Library for Assessing Reactor Reliability (NUCLARR) database.	
EideGen	Eide Generic component failure database, Eide en andere, PSA 1993, Probabilistic Safety Assessment International Topical Meeting, Clearwater Beach, Florida, January 26-29, 1993. Pagina 1175-1182	De data zijn vooral afkomstig uit de Nuclear Computerized Library for Assessing Reactor Reliability (NUCLARR) database die ontwikkeld is voor de Nuclear Regulatory Commission in de Verenigde Staten door Idaho National Engineering Laboratory	
Eireda91	EIREDA European Industry Reliability Data Handbook, 1991.	Voorloper van Eireda 1995	LK ref B.15
Eireda95	Eireda, European Industry Reliability Data Bank, Industrial Plants, Volume 2, Second Edition 1995, ISBN 2-9509092-0-5.	Europese industrie betrouwbaarheids databank, met data van elektrische, mechanische en elektromechanische componenten en systemen van thermische energiecentrales.	
EJ	Expert judgement	Inschatting van expert voor specifieke toepassing. Veelal op basis van diverse generieke databronnen.	
E-ned	Elektriciteitsdistributienetten, 1996. EnergieNed statistieken. Kluwer Bedrijfsinformatie b.v.	Uitgave van storingsgegevens in de Nederlandse elektrische energievoorziening, verkrijgbaar bij EnergieNed in Arnhem.	
EpriCF	EPRI AP-2071 Component failure and repair data for coal-fired power units, Fluor Power Services, 1981.	-	LK ref B.8
G&B72	Reliability Technology, Green & Bourne, Systems Reliability Service, 1972, ISBN 0 471 32480 9	Betrouwbaarheidsanalyse theorie	LK ref B.11
Hirsch	Hirschman, leveranciersopgave	leveranciersopgave	
IEEE84	IEEE Std 500 Reliability data, Guide to the collection and Presentation of Electrical, Electronic, sensing Component, and Mechanical Equipment Reliability Data for Nuclear-Power Generating Stations, 1984.	-	LK ref B.5
KEMA2	Faalkansanalyse besturing locomobiel sectordeurkering, KEMA rapport 41326-NUC-96-4480, 13 augustus 1996	Rapport combineert faaldata fabrikant	
KEMA3	Betrouwbaarheid Besturing Maeslantkering, KEMA rapport 94207-MAP-3, rev. 0, 3 juli 1990	Zie "KEMAmacs"	

RWS Faaldatabase databronnen

Bron	Omschrijving bron	Randvoorwaarden bron	Bron leidraad Kunstwerken
KEMA4	Betrouwbaarheidsanalysetechnieken, KEMA rapport 30117-MAP-21, 7 augustus 1992		LK ref B.2
KEMA5	Verzameling van faalsnelheden en hersteltijden in hoogspanningsnetten, KEMA rapport WSK/30118-4, 1985.	Overzicht van faalsenheden e.d. van in hoogspanningsnetten aanwezige componenten uit VDEN statistieken en computerbestanden over 1978 t/m 1982	LK ref B.13
KEMAmacs	Kema, 94207-Map-2 Betrouwbaarheid aandrijving sectordeuren Maeslantkering, Kema rapport 94207, 1990.	Onderbouwing van de data gebruikt voor het aantonen van de betrouwbaarheid van de aandrijving van de sectordeuren Maeslantkering.	LK ref B.7
Led2	Led2 - Ledlampen in scheepvaart- en verkeersinstallaties, www.led2.org. Rijkswaterstaat. Accessed on 7th March 2008.	Download document "Led2-lampen"	
lev.	Leveranciersgegevens	Faaldata afkomstig van anonieme leveranciers, opgevraagd in project waar tussenbron betrekking op heeft	
NotaInl	Nota van Inlichtingen bij bestek ZLD-6400, Rijkswaterstaat.		
Nureg2728	NUREG/CR-2728 Interim Reliability Evaluation Program Procedures Guide, 1983.	Overgenomen van EGG-EA-5887 Generic database for data and Models Chapter of the national Reliability Evaluation program (NREP) Guide, 1982	LK ref B.3
Oreda84	OREDA-84, Offshore Reliability Data, 1st edition, Veritec, 1984	Data van componenten en systemen in de off-shore, verzameld door oliemaatschappijen	LK ref B.9
Oreda92	OREDA-92, Offshore Reliability Data, 2nd edition, Det Norske Veritas Industri Norge AS, 1992.	Data van componenten en systemen in de off-shore, verzameld door oliemaatschappijen	
Oreda97	OREDA-97, Offshore Reliability Data, 3rd edition, Det Norske Veritas, 1992	Data van componenten en systemen in de off-shore, verzameld door oliemaatschappijen	LK ref B.1
Phoenix	Phoenix Exida rapport	Rapport uitgevoerd door Exida voor de bepaling van de betrouwbaarheidsdata op basis van IEC-61508.	
proj.	Projectspecifieke bron	Faaldata gebruikt in project zonder daadwerkelijke bronvermelding.	
Q&RE90	Quality and Reliability Engineering International vol. 6, 1990.	Niet beschikbaar bij NRG	LK ref B.14
RAC2.10	RAC database, Version: 2.10	Database van het Reliability Analysis Centre, met data van mechanische, elektrische, elektromechanische, hydraulische en besturingscomponenten. Verzameld binnen de Amerikaanse strijdkrachten.	
RBMR_BOS	RBMR, BOS Failure Analysis Hardware Continuum, Overview of the Stratus Continuum 610, CMG, 2 november 2001.	-	
SAIC90	Generic Data Notebook for Commercial Nuclear Power plant Probabilistic Risk assessment, SAIC 877-03-02 Rev. 0, 1990.	Data gebaseerd op verschillende databronnen, voornamelijk uit kernenergiecentrales	LK ref B.10
Siemens	Siemens Internet		
Tbook3	T-book 3rd edition, Reliability Data of Components in Nordic Nuclear Power Plants, ATV office and Studsvik AB, ISBN 91-7186-294-1, 1992	Betrouwbaarheidsdata van componenten in Scandinavische Kerncentrales.	
Tbook4	T-book 4th edition, Reliability Data of Components in Nordic Nuclear Power Plants, ATV office and Studsvik AB, ISBN 91-7186-303-6, 1994	Betrouwbaarheidsdata van componenten in Scandinavische Kerncentrales.	
Tbook6	T-book, 6th edition, Reliability Data of Components in Nordic Nuclear Power Plants, The TUD Office, ISBN 91-631-7232-1, 2005	Betrouwbaarheidsdata van componenten in Scandinavische Kerncentrales.	
VDEN86	VDEN Openbare netten voor elektriciteitsdistributie, 1986.	Voorganger van bron "E-ned"	LK ref B.4
Wash	NUREG-75/014 (WASH 1400) Reactor Safety Study, An Assessment of Accident Risks in U.S. Commercial Nuclear Power Plants, 1975	Eerste Probabilistic Safety Analysis van kerncentrales in de Verenigde Staten	
Wels	KEMA-40050, Faaldata hydraulische componenten, H.C. Wels, 92-12-07	Faaldata van hydraulische componenten op basis van ervaring handboeken (Green en Bourne) aangepast op basis van RWS (WED) ervaring bij Oosterscheldekering en Krammer-sluizen.	

RWS Faaldatabase Kansdichtheid Lognormale Verdeling

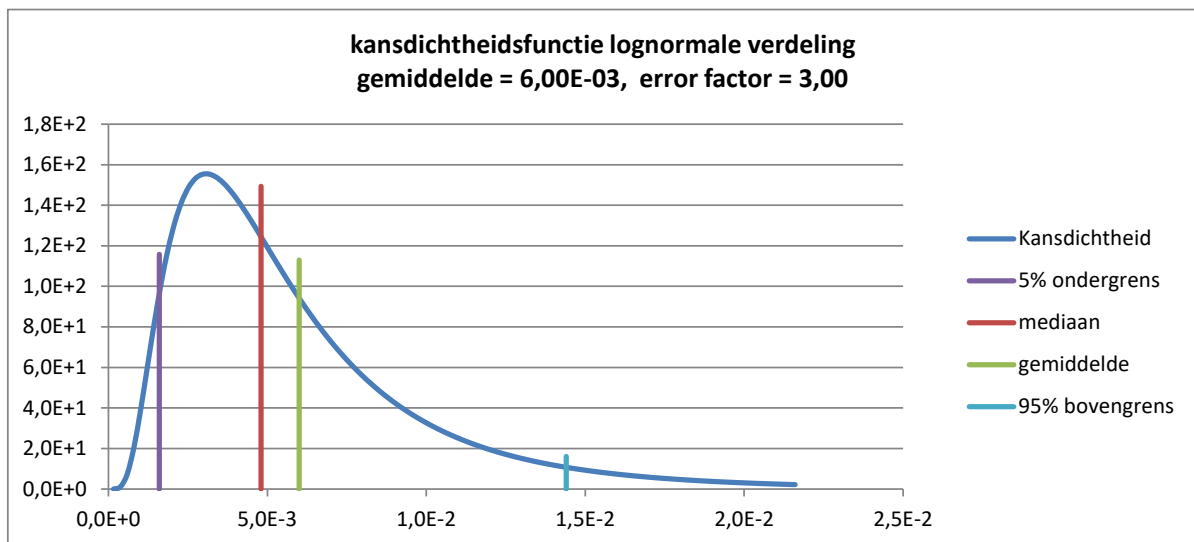
Kansdichtheidsfunctie o.b.v. gemiddelde en error factor

Lognormale verdeling

gemiddelde	6,00E-03
mediaan 0,5	4,80E-03
benedengrens 0,05	1,60E-03
bovengrens 0,95	1,44E-02
error factor	3

Onderliggende normale verdeling

gemiddelde normale verdeling	mu	-5,34E+00
standaardafwijking normale verdeling	sigma	6,68E-01





RWS Faaldatabase Kansdichtheid Lognormale Verdeling

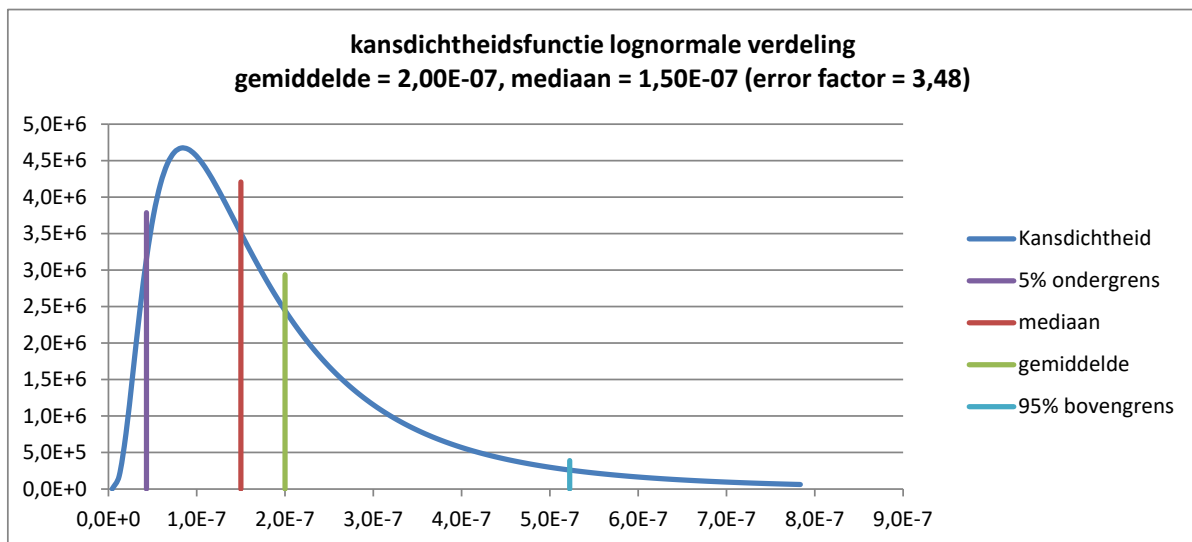
Kansdichtheidsfunctie o.b.v. gemiddelde en mediaan

Lognormale verdeling

gemiddelde	2,00E-07
mediaan 0,5	1,50E-07
benedengrens 0,05	4,31E-08
bovengrens 0,95	5,22E-07
error factor	3,48

Onderliggende normale verdeling

gemiddelde normale verdeling	mu	-1,57E+01
standaardafwijking normale verdeling	sigma	7,59E-01





BIJLAGE 6: EISEN KABELS EN LEIDINGEN



1 Categorieën Kabels en Leidingen

Ten aanzien van de te verleggen kabels en leidingen wordt onderscheid gemaakt tussen:

Categorie	Omschrijving
Cat 1	Kabels en leidingen die reeds zijn verlegd/aangepast voor start van het Werk, of niet mogen worden aangepast.
Cat 2	Kabels en leidingen waarvoor de Opdrachtgever met de kabel- of leidingbeheerder, vóór de datum van opdracht van het Werk, afspraken heeft gemaakt over minimaal de technische oplossing en doorlooptijden, al dan niet vastgelegd in een Projectovereenstemming. Tijdens de Werkzaamheden zullen deze kabels en leidingen moeten worden aangepast of verwijderd door de kabel- of leidingbeheerder.
Cat 3	De kabels en leidingen derden die niet behoren tot categorie 1, 2 of 3+. Hiervoor dient de Opdrachtnemer namens de Opdrachtgever alle afspraken met de kabel- of leidingbeheerder te maken en vast te leggen in een Projectovereenstemming. OPDRACHTNEMER heeft de coördinatieplicht qua tijd, ruimte en naar een economische oplossing passend binnen het projectgebied.
Cat 3+	Leidingen, die door de Opdrachtnemer verlegd, in stand gehouden en/of verwijderd dienen te worden

De kabels en leidingen die geen categorie hebben meegekregen en zich binnen de invloed sfeer van de werkzaamheden van de opdrachtnemer bevinden moeten beschouwd worden als zijnde categorie 3. Deze kabels en leidingen zijn ook niet in bijgeleverde lijst weergegeven.

Specifieke aandachtspunten voor de opdrachtnemer staan in separaat beschreven.

Om voor de opdrachtgever te bepalen welke kabels en leidingen tot welke categorie behoren zijn de volgende tekeningen en data meegeleverd:

1. Tekening en tabel welke kabels en leidingen de opdrachtgever kan verwachten binnen zijn werkgebied (cat1 , cat2, cat 3 en 3+)
2. Tekening van de cat1 verleggingen die door de opdrachtgever zijn uitgevoerd voor start uitvoering
3. Tekening van de te verwijderen buitendienst gestelde kabels en leidingen (cat 3+)
4. Tekening en beschrijving van de door de opdrachtgever te verleggen kabels en leidingen (cat3+)

2 Instandhouden en tijdelijk beschermen

1.	De Opdrachtnemer dient te zorgen voor de ongestoorde instandhouding van alle kabels en leidingen tijdens het verrichten van de Werkzaamheden, behoudens voor zover met kabel- en leidingbeheerders anders is overeengekomen. Hiertoe behoort het in acht nemen van de (veiligheids-)voorschriften van onder andere de kabel- en leidingbeheerders. <i>De Opdrachtnemer dient een controle uit te voeren op de juistheid van de gegevens: KLIC en overzicht verlegde en aanwezige K&L</i>
2.	De Opdrachtnemer dient zijn Werkzaamheden te verrichten conform de CROW-publicatie 500 "Schade voorkomen aan kabels en leidingen, Richtlijn zorgvuldig grondroeren van initiatief- tot gebruiksfase".
3.	Indien tijdelijke bescherming van een kabel of leiding noodzakelijk is in verband met de Werkzaamheden, dient de Opdrachtnemer de noodzakelijke maatregelen te nemen.
4.	De Opdrachtnemer dient van de kabel- of leidingbeheerder instemming met de te nemen maatregelen te verkrijgen.

2.1 Afhandeling schade aan kabels en leidingen

1.	Indien door of vanwege de Opdrachtnemer kabels en/of leidingen worden beschadigd, dient de Opdrachtnemer hiervan onmiddellijk schriftelijk melding te maken bij de betrokken kabel-, c.q. leidingbeheerder(s) en de Opdrachtgever hierover onverwijld schriftelijk in kennis te stellen.
2.	De kosten voor herstel en vertraging als gevolg van de schade komen voor rekening van de Opdrachtnemer.

2.2 Verwijderen kabels en leidingen derden 3+

Algemeen

In delen van het werkgebied liggen kabels en leidingen die in overleg met de netwerkbeheerder verwijderd dienen te worden. De kabels en leidingen staan in een aparte laag in Pim-platvorm weergegeven. Het verwijderen van bovengenoemde kabels en leidingen vallen onder cat 3+. Ten aanzien van het verwijderen van kabels en leidingen gelden onderstaande randvoorwaarden/eisen

1.	De Opdrachtnemer dient 4 weken voor het verwijderen van buitendienst gestelde kabels (verlegd onder cat. 1, 2 of 3) de betreffende beheerders hierover te informeren. Voor de Gasunie leiding is dit 12 weken.
2.	De Opdrachtnemer mag de kabels niet eerder verwijderen dan wanneer de beheerders hebben aangegeven dat de K&L-en daadwerkelijk functioneel zijn. De Opdrachtnemer dient hierover afspraken te maken met de beheerders.
3.	Voor de uit te nemen metalen (aluminium, koperen, etc.) kabels zullen de kabel- en netwerkbeheerders containers ter beschikking stellen op een door de Opdrachtnemer bepaalde locatie. De kabel- en leidingbeheerders zullen de containers afvoeren voor eigen rekening.
4.	Voor de uit te nemen stalen buizen (met eventuele bescherm/isolatielagen) dient de Opdrachtnemer een opslaglocatie in te richten (locatie ter keuze van de Opdrachtnemer), waar hij de deze materialen dient op te slaan. De kabel- en leidingeigenaren zullen deze materialen afvoeren voor eigen rekening.
5.	Rioleringsmaterialen (pers en vrijverval) die in het Werk vrijkomen, dienen door de opdrachtnemer afgevoerd te worden conform geldende richtlijnen.

6.	De volgende kabels en leidingen dienen door de opdrachtnemer verwijderd te worden		

2.3 Handhaven kabels en leidingen categorie I

1.	De Opdrachtnemer dient de ligging van de Kabels en Leidingen Derden Categorie 1 te handhaven.
----	---

2.4 Afstemmen kabels en leidingen categorie II

1.	De Opdrachtnemer dient bij het verrichten van zijn Werkzaamheden de afspraken in acht te nemen die de Opdrachtgever heeft gemaakt met betrekking tot de verlegging, verwijdering of permanente bescherming van de Kabels en Leidingen Derden Categorie 2.
2.	De Opdrachtnemer dient, namens de Opdrachtgever, alle Werkzaamheden welke noodzakelijk zijn voor het goed verlopen van het kabels en leidingen proces van leggen, verleggen, verwijderen of permanent beschermen van Kabels en Leidingen Derden categorie 2, af te stemmen met de kabels- en leidingenbeheerders en overig betrokkenen in deze, waaronder en zo nodig het maken van nadere afspraken.
3.	De Opdrachtnemer dient het verrichten van de Werkzaamheden af te stemmen met degenen die de Kabels en Leidingen Derden Categorie 2 feitelijk verleggen, verwijderen of permanent beschermen.

2.5 Aanpassen kabels en leidingen categorie III

1.	De Opdrachtnemer dient de inventarisatie van de te verwijderen, aan te passen en/of te verleggen kabels en leidingen te verzorgen.
2.	De Opdrachtnemer dient, in samenwerking met de betrokken kabel en leiding beheerders, een verleggingsplan op te stellen en definitief te maken. Bij het opstellen van ontwerp en het verleggingsplan maakt de Opdrachtnemer aantoonbaar een integrale kostenafweging tussen de projectkosten en de kosten voor de verleggingen. De Opdrachtnemer dient de economisch voordelige oplossing te kiezen passend binnen het projectgebied.
3.	De Opdrachtnemer dient op basis van de vastgestelde verleggingsplannen de verzoeken tot aanpassing op te stellen, dan wel de verzoeken tot het nemen van maatregelen op te stellen.
4.	De Opdrachtnemer dient overeenstemming te bereiken met de kabel- c.q. leidingbeheerder en relevante belanghebbenden over de te verwijderen, aan te passen c.q. te verleggen kabels en/of leidingen ten behoeve de realisatie van het Werk.
5.	Zodra de Opdrachtnemer met de betreffende kabel- en leidingbeheerder en relevante belanghebbenden definitieve overeenstemming heeft bereikt over de verwijdering, aanpassing en/of verlegging van kabels of leidingen, dient de Opdrachtnemer de inhoud

	van de overeenstemming schriftelijk aan de Opdrachtgever voor te leggen, in de vorm van een projectovereenstemming.
6.	In deze wordt onder projectovereenstemming een Overeenkomst verstaan tussen de Opdrachtgever en een kabel- of leidingbeheerder over de verlegging, aanpassing of verwijdering van een kabel of leiding van derden.
7.	De Opdrachtnemer dient een wijziging op een projectovereenstemming op dezelfde wijze te behandelen als een nieuwe op te stellen projectovereenstemming.
8.	De Opdrachtgever deelt haar beslissing omtrent de instemming met een projectovereenstemming zo spoedig mogelijk, doch uiterlijk drie weken na de datum van ontvangst van de projectovereenstemming schriftelijk aan de Opdrachtnemer mee. Het niet instemmen met een projectovereenstemming kan echter alleen indien niet voldaan wordt aan de volgende voorwaarden: • Projectovereenstemming is duidelijk en volledig (inclusief bijlagen); • Projectovereenstemming is in overeenstemming met de Regelingen inzake Kabels en Leidingen Derden; • De oplossing voldoet aan de eis van economisch voordelige oplossing; • De vermelde technische oplossing is in overeenstemming met de vigerende NEN-normen; • De vermelde technische oplossing doet geen afbreuk aan de in de in de wet en regelgeving genoemde belangen (bescherming, doelmatig en veilig gebruik, verruiming en wijziging van de aanwezige infrastructuur, objecten en inrichtingselementen van de openbare ruimte).
9.	Indien de projectovereenstemming niet volledig is ingevuld of ondertekend of indien bijbehorende bijlagen ontbreken zal de Opdrachtgever de Opdrachtnemer zo spoedig mogelijk doch uiterlijk binnen drie weken schriftelijk om aanvulling verzoeken. Alsdan vangt de in de eerste volzin genoemde termijn eerst aan op het moment waarop de Opdrachtgever de gevraagde aanvullingen heeft ontvangen.
10.	Indien de Opdrachtnemer ondanks voldoende inspanningen niet tot overeenstemming met kabel- of leidingbeheerders kan komen, dan kan hij assistentie van de Opdrachtgever vragen.
11.	De Opdrachtnemer leeft bij het uitvoeren van de Werkzaamheden de afspraken uit de projectovereenstemming na.
12.	De Opdrachtnemer zal niet aanvangen met de Werkzaamheden, indien in verband met die Werkzaamheden een verlegging, aanpassing en/of verwijdering van kabels of leidingen noodzakelijk is, voordat er een projectovereenstemming is afgesloten voor de verlegging, aanpassing en/of verwijdering van de betreffende kabels en leidingen.
13.	De Opdrachtnemer dient de Werkzaamheden met betrekking tot het leggen of verleggen van kabels en leidingen te coördineren.
14.	De kosten van het verwijderen, verleggen en/of aanpassen van een kabel en/of leiding voortvloeiend uit de projectovereenstemming die door de Opdrachtnemer is voorbereid en is ondertekend door de Opdrachtgever komen voor rekening van de Opdrachtgever.
15.	De overige kosten die gemoeid zijn met de verwijdering, verlegging en/of aanpassing van kabels en/of leidingen, waaronder de kosten in verband met tijdelijke verleggingen, zijn voor rekening van de Opdrachtnemer.

2.6 Aanpassen kabels en leidingen categorie III+

1	De Opdrachtnemer dient de inventarisatie van de te verwijderen, aan te passen en/of te verleggen kabels en leidingen te verzorgen.
---	--

2	De Opdrachtnemer dient, in samenwerking met de betrokken kabel en leiding beheerders, een verleggingsplan op te stellen en definitief te maken. Bij het opstellen van ontwerp en het verleggingsplan maakt de Opdrachtnemer aantoonbaar een integrale kostenafweging tussen de projectkosten en de kosten voor de verleggingen. De Opdrachtnemer dient de economisch voordelige oplossing te kiezen passend binnen het projectgebied.
3	De Opdrachtnemer dient op basis van de vastgestelde verleggingsplannen de verzoeken tot aanpassing op te stellen, dan wel de verzoeken tot het nemen van maatregelen op te stellen.
4	De Opdrachtnemer dient overeenstemming te bereiken met de kabel- c.q. leidingbeheerder en relevante belanghebbenden over de te verwijderen, aan te passen c.q. te verleggen kabels en/of leidingen ten behoeve de realisatie van het Werk.
5	Zodra de Opdrachtnemer met de betreffende kabel- en leidingbeheerder en relevante belanghebbenden definitieve overeenstemming heeft bereikt over de verwijdering, aanpassing en/of verlegging van kabels of leidingen, dient de Opdrachtnemer de inhoud van de overeenstemming schriftelijk aan de Opdrachtgever voor te leggen, in de vorm van een projectovereenstemming.
6	In deze wordt onder projectovereenstemming een Overeenkomst verstaan tussen de Opdrachtgever en een kabel- of leidingbeheerder over de verlegging, aanpassing of verwijdering van een kabel of leiding van derden.
7	De Opdrachtnemer dient een wijziging op een projectovereenstemming op dezelfde wijze te behandelen als een nieuwe op te stellen projectovereenstemming.
8	De Opdrachtgever deelt haar beslissing omtrent de instemming met een projectovereenstemming zo spoedig mogelijk, doch uiterlijk drie weken na de datum van ontvangst van de projectovereenstemming schriftelijk aan de Opdrachtnemer mee. Het niet instemmen met een projectovereenstemming kan echter alleen indien niet voldaan wordt aan de volgende voorwaarden: • Projectovereenstemming is duidelijk en volledig (inclusief bijlagen); • Projectovereenstemming is in overeenstemming met de Regelingen inzake Kabels en Leidingen Derden; • De oplossing voldoet aan de eis van economisch voordelige oplossing; • De vermelde technische oplossing is in overeenstemming met de vigerende NEN-normen; • De vermelde technische oplossing doet geen afbreuk aan de in de in de wet en regelgeving genoemde belangen (bescherming, doelmatig en veilig gebruik, verruiming en wijziging van de aanwezige infrastructuur, objecten en inrichtingselementen van de openbare ruimte).
9	Indien de projectovereenstemming niet volledig is ingevuld of ondertekend of indien bijbehorende bijlagen ontbreken zal de Opdrachtgever de Opdrachtnemer zo spoedig mogelijk doch uiterlijk binnen drie weken schriftelijk om aanvulling verzoeken. Alsdan vangt de in de eerste volzin genoemde termijn eerst aan op het moment waarop de Opdrachtgever de gevraagde aanvullingen heeft ontvangen.
10	Indien de Opdrachtnemer ondanks voldoende inspanningen niet tot overeenstemming met kabel- of leidingbeheerders kan komen, dan kan hij assistentie van de Opdrachtgever vragen.
11	De Opdrachtnemer leeft bij het uitvoeren van de Werkzaamheden de afspraken uit de projectovereenstemming na.
12.	De Opdrachtnemer zal niet aanvangen met de Werkzaamheden, indien in verband met die Werkzaamheden een verlegging, aanpassing en/of verwijdering van kabels of

	leidingen noodzakelijk is, voordat er een projectovereenstemming is afgesloten voor de verlegging, aanpassing en/of verwijdering van de betreffende kabels en leidingen.
13.	De Opdrachtnemer dient de Werkzaamheden met betrekking tot het leggen of verleggen van kabels en leidingen te verrichten en te coördineren.
3.	De kosten die verband houden met de aanpassing of bescherming van kabels en leidingen categorie III+ zijn voor rekening van de Opdrachtnemer.

2.7 Met betrekking tot het traject Steyl

Projectcode	naam	cat	Leidingcode	Eigenaar	Type leiding	Aandachtspunten/werkzaamheden
KL-022	Steyl persriool WBL	3+	68.0004.WBL.PR	WBL	Persriool	Moet worden aangepast door opdrachtnemer. Zie hoofdstuk KL-022 en tekening XXXX
KL-023	Steyl Gasunie	2	68.0008.GU.HD	Gasunie	Persriool	Verlaten Gasunie leiding leiding dient door opdrachtnemer vrij gegraven te worden. Verwijderen leiding gebeurt door de Gasunie. Zie hoofdstuk KL-023 en tekening XXXX
KL-046	Steyl riool gemeente Venlo	3+	68.0007.GVL.VR	Gemeente	Riool	Overstort leiding van de gemeente Steyl dient door de opdrachtnemer te worden aangepast. Zie hoofdstuk KL-046 en tekening XXXX
KL-047	Steyl laagspanning Enexis	1	68.0002.ENX.LS	Enexis	Laagspanning	Dient te worden aangepast afhankelijk van de gekozen oplossing voor de waterkering.
	WBL/Gemeente	3	68.0005.WBL.VR	WBL/ gemeente	Riool	
	Steyl riool gemeente	3	68.0006.GVL.VR	Gemeente	Riool	
	Steyl enexis laagspanning	3	68.0003.ENX.LS	Enexis	Laagspanning	

Specifieke eisen

Hei werkzaamheden

ID	Hei werkzaamheden	Bron/van toepassing zijnde voorschriften
A.1.1	Aanwezige kabels en leidingen mogen met hei werkzaamheden tot op 1 mtr benaderd worden indien. De werkelijke ligging van de kabels en leidingen dient dan wel te worden vastgesteld	
Aanvullende informatie/ eisen/ afwijkende eisen t.o.v. het voorschrift		
Als werkelijke ligging van kabels en leidingen niet recent zijn vastgelegd deze middels proefsleuven bepalen		

Kabels en leidingen

ID	Verleggen riolering WBL	Bron/van toepassing zijnde voorschriften
68.0005.WBL.VR	Vrijverval riool dient ter plaatse van de (nieuwe)waterkering voorzien te worden van een calamiteiten afsluiter.	
Aanvullende informatie/ eisen/ afwijkende eisen t.o.v. het voorschrift		

ID	Verleggen riolering gemeente Venlo	Bron/van toepassing zijnde voorschriften
68.0006.GVL.VR	Vrijverval riool dient ter plaatse van de (nieuwe)waterkering voorzien te worden van een calamiteiten afsluiter.	
Aanvullende informatie/ eisen/ afwijkende eisen t.o.v. het voorschrift		

ID	Verleggen LS-kabel Enexis	Bron/van toepassing zijnde voorschriften
68.0003.ENX.LS	Laagspanningskabel dien door de (nieuwe) waterkering te worden geleid conform eisen Waterschap Limburg	
Aanvullende informatie/ eisen/ afwijkende eisen t.o.v. het voorschrift		

KL-022 Verlegging WBL

ID	Effluent leiding WBL	Bron/van toepassing zijnde voorschriften
KL022-01	Alle werkzaamheden, materialen en noodzakelijke engineering ten behoeve van de het verplaatsen/vernieuwen van de WBL leiding 800 beton(cat3+) zijn voor rekening opdrachtnemer (3+)	Tekening XXXXX Leidingcode 68.0004.WBL.PR

Aanvullende informatie / eisen/afwijkende eisen:



ID	Persriool WBL	Bron/van toepassing zijnde voorschriften
KL022-02	Het persriool van WBL dient over 244 mtr vervangen te worden door een 800 GVK (Hobas) leiding. De locatie van de verlegging is afhankelijk van de gekozen oplossing van de nieuwe waterkering door de opdrachtnemer.	Tekening XXXX

Aanvullende informatie / eisen/afwijkende eisen:

De leiding dient minimaal over deze lengte vernieuwd te worden. Dit mag ook op de zelfde locatie zijn als de huidige leiding.

ID	Persriool WBL	Bron/van toepassing zijnde voorschriften
KL022-03	Het persriool mag maximaal voor XX uur onderbroken worden.	

Aanvullende informatie/ eisen/ afwijkende eisen t.o.v. het voorschrift

Het rioolwater kan maximaal voor xx uur gebufferd worden. Deze tijd heeft de opdrachtnemer om de bestaande leiding over te sluiten naar de nieuw aangelegde leiding. Indien deze tijd niet voldoende is zal de opnemer aanvullende maatregelen nemen

ID	Persriool WBL	Bron/van toepassing zijnde voorschriften
KL022-04	De hei werkzaamheden mogen beperkte invloed hebben op de ligging van de (nieuwe)WBL leiding. De opdrachtnemer dient dit aan te tonen middels een zettingsberekening	

Aanvullende informatie/ eisen/ afwijkende eisen t.o.v. het voorschrift

ID	Persriool WBL	Bron/van toepassing zijnde voorschriften
KL022-05	De opdrachtnemer moet middels een sterkte berekening aantonen dat de gekozen sterkte klasse van de GVK buis de optredende belastingen tijdens de uitvoering kan verwerken	
Aanvullende informatie/ eisen/ afwijkende eisen t.o.v. het voorschrift		

ID	Persriool WBL	Bron/van toepassing zijnde voorschriften
KL022-06	De opdrachtnemer moet middels een sterkte berekening aantonen dat de gekozen sterkte klasse van de GVK buis alle mogelijk optredende belastingen tijdens de beheersfase kan verwerken.	
Aanvullende informatie/ eisen/ afwijkende eisen t.o.v. het voorschrift		

ID	Persriool WBL	Bron/van toepassing zijnde voorschriften
KL022-07	De opdrachtnemer moet, ten aanzien van de nieuwe waterkering, middels een sterkte/erosiekrater berekening aantonen dat de GVK buis voldoet aan de NEN3650/51	Erosiekrater berekening
Aanvullende informatie/ eisen/ afwijkende eisen t.o.v. het voorschrift		
Voor de rioolpers leiding is een erosie kraterberekening gemaakt die als uitgangspunt voor de berekening genomen mag worden		

KL-023 Verwijderen Gasunieleiding

ID	Gasunie leiding	Bron/van toepassing zijnde voorschriften
KL023-01	De opdrachtnemer moet de Gasunie leiding over 95 mtr vrij te graven. Het verwijderen van de Gasunie leiding gebeurt door de Gasunie	
Aanvullende informatie/ eisen/ afwijkende eisen t.o.v. het voorschrift		
		

ID	Gasunie leiding	Bron/van toepassing zijnde voorschriften
KL023-02	Het vrij te graven tracé mag in maximaal 3 delen opgesplitst worden.	
Aanvullende informatie/ eisen/ afwijkende eisen t.o.v. het voorschrift		
In overleg met de Gasunie mag het tracé in 3 delen opgesplitst worden		

ID	Gasunie leiding	Bron/van toepassing zijnde voorschriften
KL023-03	De opdrachtnemer moet alle noodzakelijke toegangsvoorzieningen treffen voor de Gasunie zodat zij de leiding kunnen verwijderen	
Aanvullende informatie/ eisen/ afwijkende eisen t.o.v. het voorschrift		
Materieel van de Gasunie moet de sleuf kunnen bereiken zonder dat hiervoor aanvullende maatregelen noodzakelijk zijn		

ID	Gasunie leiding	Bron/van toepassing zijnde voorschriften
KL023-04	De opdrachtnemer moet 12 weken voor het verwijderen van de leiding de Gasunie informeren	
Aanvullende informatie/ eisen/ afwijkende eisen t.o.v. het voorschrift		

KL-046 Overstort gemeentelijk riool

ID	Verleggen riolering gemeente	Bron/van toepassing zijnde voorschriften
KL-046-01	Voor het overstort van de gemeente Venlo welke de bestaande en nieuwe waterkering kruist, geldt afwijkend van de overige categorie 3+ kabels en leidingen dat Opdrachtnemer wel verantwoordelijk is voor de voorbereiding in afstemming met de gemeente, maar dat hiervoor geen proces VTA/VTM en voorbereiden van de POS hoeft te worden gevolgd.	

Aanvullende informatie/ eisen/ afwijkende eisen t.o.v. het voorschrift



ID	Verleggen riolering gemeente	Bron/van toepassing zijnde voorschriften
KL-046-02	Aannemer dient een detail ontwerp te maken en deze ter goedkeuring aan te bieden aan de gemeente Venlo en het Waterschap Limburg.	
Aanvullende informatie/ eisen/ afwijkende eisen t.o.v. het voorschrift		

ID	Verleggen riolering gemeente	Bron/van toepassing zijnde voorschriften
KL-046-03	Aannemer dient alle benodigde vergunning namens de gemeente Venlo aan te vragen	
Aanvullende informatie/ eisen/ afwijkende eisen t.o.v. het voorschrift		

ID	Verleggen overstortleiding gemeente	Bron/van toepassing zijnde voorschriften
KL-046-04	Nieuwe riolering dienen van gewapend beton te zijn en geschikt zijn voor een verkeersbelasting van 60 ton	
Aanvullende informatie/ eisen/ afwijkende eisen t.o.v. het voorschrift		

ID	Verleggen overstortleiding gemeente	Bron/van toepassing zijnde voorschriften
KL-046-05	Nieuwe riolering dient een inwendige diameter te hebben van 1000 mm	
Aanvullende informatie/ eisen/ afwijkende eisen t.o.v. het voorschrift		

ID	Verleggen overstortleiding gemeente	Bron/van toepassing zijnde voorschriften
KL-046-06	In de nieuwe riolering dienen twee putten te worden aangebracht. Een put dient voorzien te zijn van een terugslagklep (type KRK-R-O DN1000 of vergelijkbaar) en een van een schuifafsluiter (type KSA-RQ DN1000 of vergelijkbaar) conform tekening XXXX	
Aanvullende informatie/ eisen/ afwijkende eisen t.o.v. het voorschrift		
Terugslagklep en schuifafsluiter dienen te voldoen aan de eisen van het Waterschap Limburg en gemeente Beesel		

ID	Verleggen overstortleiding gemeente	Bron/van toepassing zijnde voorschriften
KL-046-07	Functionaliteit van de bestaande overstort dient gehandhaafd te blijven tijdens aanleg nieuwe riool leiding	
Aanvullende informatie/ eisen/ afwijkende eisen t.o.v. het voorschrift		

KL-047 Laag spanningskabel Enexis

ID	LS-kabel Enexis	Bron/van toepassing zijnde voorschriften
KL-047-01	Alle werkzaamheden, materialen en noodzakelijke engineering ten behoeve van de het handhaven van de LS -kabel zijn voor rekening opdrachtnemer (cat 3+)	

Aanvullende informatie / eisen/afwijkende eisen:



ID	OV-kabel Wessemmerweg	Bron/van toepassing zijnde voorschriften
KL-047-02	De LS-kabel dient tijdens de werkzaamheden operationeel te zijn	

Aanvullende informatie / eisen/afwijkende eisen:

OV verlichting !!!

BIJLAGE 7: PROTOCOL WERKEN AAN DE WATERKERING WL



Handreiking 'Werken aan de waterkering'

Veilige dijken in zomer- en winterseizoen

Bezoekadres

Maria Theresialaan 99
6043 CX Roermond

Postadres

Postbus 2207
6040 CC Roermond

IBAN NL10NWAB0636750906
KvK 67682065

088-8890100

info@waterschaplimburg.nl
waterschaplimburg.nl

titel Protocol 'Werken aan de waterkering'
subtitel Veilige dijken in zomer- en winterseizoen
datum 22 oktober 2018
versie 1.0
status Definitief
zaaknr. 2018-Z15251
documentnr. 2018-D141247

vrijgave Dit document is tot stand gekomen onder verantwoordelijkheid van Enno Kuipers
in samenwerking met:

naam

Bert Smeets
Rinus Potter
Ellie Verheijen

functie

Vakspecialist Crisisbeheersing Waterkeringen
Adviseur Waterkeringen
Adviseur Waterkeringen

Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
2	Uitgangspunten	6
2.1	Jaarrond een risicobenadering	6
2.2	Het huidige veiligheidsniveau als referentie	6
2.3	Risico's en beheersmaatregelen in open en gesloten seizoen	7
2.4	De procedure rond het noodplan	8
2.5	Verantwoordelijkheden rond calamiteiten	8
3	Het noodplan	10
3.1	Basisgegevens en contactgegevens	10
3.2	Procedures voor monitoring en calamiteiten	11
3.3	Waterdata	12
3.4	De werkzaamheden	12

1 Inleiding

Werken aan of nabij de waterkering zorgt meestal voor een tijdelijk verminderde sterkte van de waterkering. Het falen van een primaire waterkering bij werkzaamheden vormt een acuut veiligheidsrisico voor de omgeving. De basis van het handelen is daarom dat het bestaande veiligheidsniveau van de achterliggende dijkring nooit in het gedrang komt. Jaarrond is een risicobenadering ons uitgangspunt bij de beoordeling wat wel of niet toelaatbaar is. Zo nodig dienen passende beheersmaatregelen te worden getroffen om de risico's tot aanvaardbare omvang terug te brengen.

Voordat u start met werkzaamheden aan of nabij de waterkering dient u daarom een noodplan op te stellen. Het noodplan is zowel voor uzelf als voor het waterschap hét document waarin de wederzijdse contactgegevens zijn vastgelegd en waarin de risico's bij uitvoering zijn beschreven, met alle bijbehorende beheers- en noodmaatregelen. Het noodplan wordt getoetst door het waterschap. Bij de beoordeling van het noodplan wordt meegewogen in welke periode het werk wordt uitgevoerd: binnen of buiten het hoogwaterseizoen.

Werkzaamheden mogen pas starten na schriftelijke goedkeuring van uw noodplan door het waterschap!

Leeswijzer

In hoofdstuk 2 benoemen wij onze principes en uitgangspunten bij het werken aan of nabij de waterkering. Dit vormt onze leidraad bij het beoordelen van uw noodplan. In hoofdstuk 3 geven we een concrete handreiking voor het opstellen van een noodplan, waarbij we aangeven welke onderdelen minimaal in het noodplan beschreven moeten worden.

Terminologie

Het 'hoogwaterseizoen' loopt van 15 oktober tot en met 15 maart. De periode daarbuiten noemen we het 'open seizoen'.

In dit document spreken we over een 'noodplan'. In oudere documenten van het waterschap wordt soms 'veiligheidsplan' of 'calamiteitenplan' gebruikt. Deze termen zijn in deze context uitwisselbaar.

De meeste werken aan de waterkering betreffen dijkversterkingsprojecten die in opdracht van het waterschap door een aannemer worden uitgevoerd. Daarom spreken wij in dit document over de 'opdrachtnemer' die het werk uitvoert. Mogelijk is op u een andere situatie van toepassing, bijvoorbeeld omdat u een vergunning hebt aangevraagd en het opstellen van een noodplan een voorwaarde in de vergunning is. Daar waar staat 'opdrachtnemer' kunt u in dat geval ook steeds 'vergunninghouder' lezen.

Relatie met beleid en regelgeving

Het beleid en de regelgeving voor het werken aan de waterkering zijn vastgelegd in het Beheerplan Waterkeringen 2017-2022 en de Beleidsregels. Dit document is een uitwerking van de uitgangspunten rond noodplannen en calamiteitenprocedures. Voor een volledig overzicht van geldende regelgeving verwijzen wij u naar www.overheid.nl.

Voor een dijkversterkingsproject in opdracht van het waterschap is geen vergunning van het waterschap benodigd. Het Projectplan Waterwet komt in die gevallen in plaats van de vergunning. Omdat het detailniveau van een projectplan echter onvoldoende is om toe te zien op de uitvoeringsrisico's in relatie tot een hoogwatersituatie dient u wel een noodplan op te stellen.

U bent in alle gevallen zelf verantwoordelijk voor het bewaken van de waterstanden op de Maas en voor het tijdig herstellen van het veiligheidsniveau van de betreffende waterkering.

2 Uitgangspunten

2.1 Jaarrond een risicobenadering

Het optreden van hoogwater op de Maas tijdens werkzaamheden aan de waterkering vormt een veiligheidsrisico voor personen en goederen achter de dijk. Zowel in de zomer als in de winter kan hoogwater voorkomen. Als voorbeeld noemen we hier het hoogwater van 22 juli 1980 met 2200 m³/s. Ondanks dat dergelijke zomerhoogwaters sporadisch voorkomen moeten we ons er wel op voorbereiden. Daarom is, ongeacht het seizoen, een risicobenadering altijd ons uitgangspunt bij de bepaling wat er wel en niet toelaatbaar is.

Jaarrond is daarom een noodplan vereist om te kunnen werken aan de waterkering. Er dienen zo nodig passende beheersmaatregelen te worden getroffen om de veiligheidsrisico's tot aanvaardbare omvang terug te brengen. Het handelingsperspectief voor het eventueel herstellen van de waterkering bij calamiteiten of het toepassen van een vervangende kering moet aantoonbaar geborgd zijn.

In het hoogwaterseizoen (15 oktober - 15 maart) is de kans op hoogwater het grootst. Daarnaast zijn de waterkeringen en de omliggende gronden in deze periode vaak al verzadigd met water waardoor het werkterrein en de dijk slecht bereikbaar zijn en er snel schade wordt gereden. Ook is de grasmatten bij werkzaamheden vaak beschadigd of zelfs verwijderd waardoor bij hoogwater de kans op erosie sterk toeneemt. Tevens beïnvloeden de natte omstandigheden de kwaliteit van het te maken werk (bijv. verdichten van klei) in negatieve zin. Om die reden is het uitgangspunt om werkzaamheden aan de waterkering in principe buiten het hoogwaterseizoen uit te voeren.

Echter door het volledig uitsluiten van werkzaamheden in het hoogwaterseizoen wordt de periode waarin dijkversterkingen kunnen worden uitgevoerd aanzienlijk verkort. Juist in het open seizoen spelen weer andere beperkingen, zoals recreatieve belangen of het broedseizoen van allerlei diersoorten. Daarom is het in geval van zwaarwegende belangen mogelijk om ook in het hoogwaterseizoen te werken aan de waterkering, mits de impact van de werkzaamheden en het bijbehorend handelingsperspectief bij calamiteiten dit toelaten.

2.2 Het huidige veiligheidsniveau als referentie

Het waterschap is verantwoordelijk voor het instandhouden van het veiligheidsniveau van de waterkeringen. Om die reden dient bij werkzaamheden op of aan de waterkering (ongeacht of dit al dan niet in opdracht van het waterschap is) het bestaande veiligheidsniveau van de achterliggende dijkkring altijd aantoonbaar geborgd te zijn.

De uitvoerende partij dient daartoe voorafgaand aan de werkzaamheden middels een noodplan aan te tonen dat het huidige veiligheidsniveau binnen een realistische reactietijd gegarandeerd blijft. Het handelingsperspectief voor het herstellen van het waterkerend vermogen van de waterkering moet hierin aantoonbaar geborgd zijn. Per locatie dient de initiatiefnemer voldoende materieel en bouwstoffen beschikbaar te hebben om de waterkering binnen de reactietijd weer op sterkte te kunnen brengen.

Met een realistische reactietijd bedoelen we in dit verband dat de herstelwerkzaamheden / maatregelen moeten kunnen worden uitgevoerd binnen de waarschuwingstijd voor een hoogwatergolf. Deze waarschuwingstijd verschilt per locatie; in Eijsden is de waarschuwingstijd aanmerkelijk korter dan in Mook. In een aantal gevallen zou dit kunnen betekenen dat vóór de uitvoering van een werk een vervangende waterkering moet worden gemaakt door de initiatiefnemer.

Ook bij onderbreking van de werkzaamheden (zoals kerstvakantie, bouwvak) dient het veiligheidsniveau te zijn gewaarborgd. Voor het open seizoen ligt de nadruk daarbij op het aantoonbaar ook in de vakantieperiode borgen van alle procedures en het beschikbaar hebben van voldoende personeel om zo nodig het noodplan uit te voeren. In het hoogwaterseizoen moet vanwege de grotere kans op hoogwater eerder worden gedacht aan het vóór de onderbreking afronden van werkzaamheden die bijdragen aan veiligheidsniveau, of het realiseren van een tijdelijke kering.

2.3 Risico's en beheersmaatregelen in open en gesloten seizoen

We verwachten dat elke opdrachtnemer, net zoals het waterschap, streeft naar het verkleinen van de risico's voor de waterveiligheid. Jaarrond zal moeten worden beoordeeld welke risico's er zijn en of er beheers- of noodmaatregelen nodig zijn. Het uitgangspunt is dat werkzaamheden aan de waterkering zoveel mogelijk in het open seizoen plaatsvinden. Enkel bij aantoonbaar zwaarwegend maatschappelijk belang kan hiervan **-na goedkeuring van het waterschap!**- worden afgeweken.

Omdat de omstandigheden in elk project anders zijn kunnen wij niet op voorhand generiek aangeven welke maatregelen u dient te treffen; dit zal altijd in samenspraak en op basis van de lokale situatie moeten gebeuren. Ter illustratie een aantal overwegingen:

- Daar waar redelijkerwijs mogelijk, kan eerst de nieuwe kering gemaakt worden voordat de oude wordt afgebroken (bijvoorbeeld bij een tracéwijziging of bij het plaatsen van een nieuwe harde kering voor of achter de bestaande wand).
- Stem de werkzaamheden af op de reactietijd vanaf hoogwaterbericht en op de benodigde inspanning voor het treffen van de noodmaatregelen. Dus niet méér ontgraven dan binnen de reactietijd met noodmaatregelen kan worden opgebouwd tot huidig veiligheidsniveau.
- De keuze tussen preventief of reactief opbouwen van noodmaatregelen zal afhangen van het risico op hoogwater, het resterende veiligheidsniveau bij uitvoering en de tijd en inspanning die nodig is om bij dreigend hoogwater het oude veiligheidsniveau te herstellen.

Indien er een aantoonbaar zwaar belang is dat werken in het hoogwaterseizoen rechtvaardigt, zal voor die periode met extra aandacht gekeken worden naar het risico dat resteert na beheers- en/of noodmaatregelen. Terwijl maatregelen in het open seizoen veelal gericht zullen zijn op het herstel van het veiligheidsniveau, zal dit in het hoogwaterseizoen primair zijn gericht op het behoud van het veiligheidsniveau. Of werkzaamheden in het hoogwaterseizoen kunnen worden toegestaan is afhankelijk van factoren als:

- Zijn er zwaarwegende redenen om de werkzaamheden niet in het open seizoen uit te voeren?
- Wat is het resterende veiligheidsniveau tijdens uitvoering?
- Gaat het om een kleine ingreep of om grootschalige maatregelen (lengte, tijd)?
- Wat is op deze locatie de waarschuwingstijd bij een opkomend hoogwater?

- Hoe wordt de locatie belast (golfaanval, stroomsnelheid, ...)?

Globaal gezien kunnen werkzaamheden die geen invloed hebben op het waterkerend vermogen of waarbij de waterkering sterker wordt plaatsvinden in het hoogwaterseizoen. Denk bijvoorbeeld aan een binnendijkse verbetering van de waterkering of het aanbrengen van een steunberm binnendijks, waarbij zo nodig aanvullende (nood)maatregelen worden getroffen op het gebied van erosiebestendigheid van het binnentalud. Ook een gestuurde boring op voldoende diepte zal in de meeste gevallen geen bezwaren voor de veiligheid opleveren, evenals het afwerken/bekleden van een keermuur die al op sterkte is gebracht. Werkzaamheden aan bijvoorbeeld het buitentalud liggen in het gesloten seizoen minder voor de hand in verband met erosiebestendigheid en de waterdichtheid van de waterkering. Dat geldt ook voor het verleggen van kabels en leidingen in open ontgraving. Het bovengronds kappen van bomen en heesters kan jaar rond worden uitgevoerd omdat dit geen invloed heeft op de veiligheid van de waterkering; het verwijderen van de stronken en wortels dient in principe in het open seizoen te gebeuren.

Omdat er zoveel factoren meespelen en er geen twee situaties gelijk zijn adviseren we om vroegtijdig contact op te nemen met het waterschap om de (on)mogelijkheden te bespreken.

2.4 De procedure rond het noodplan

De procedure rond het noodplan is als volgt:

1. Opdrachtnemer bespreekt de uitvoeringsplannen met de beleidsafdeling waterkeringen van het waterschap voor een gezamenlijke beoordeling van risico's en beheersmaatregelen.
2. Opdrachtnemer stelt een noodplan op waarin risico's en beheersmaatregelen verder worden uitgewerkt. Zie hoofdstuk 3 voor een handreiking. Bij langdurige werkzaamheden adviseren wij separate noodplannen voor hoogwaterseizoen (15 okt – 15 maart) en voor open seizoen.
3. De opdrachtnemer dient het noodplan ter goedkeuring in bij waterschap. Opdrachtnemer houdt in zijn uitvoeringsplanning rekening met een beoordelingstermijn van 4 weken.
4. De opdrachtnemer dient tevens een ingevuld Meldingsformulier Incidentenwacht (zie Hoofdstuk 4) in voor opname in de noodplannen en draaiboeken van het waterschap.
5. Het noodplan wordt getoetst door het team waterkeringen, door de calamiteitenorganisatie en in geval van een vergunning ook door een vergunningverlener van het waterschap.
6. Het waterschap reageert schriftelijk (e-mail). In geval van een dijkversterkingsproject reageert het waterschap binnen 4 weken; in geval van een vergunning binnen 2 weken, tenzij anders overeengekomen.
7. Pas na schriftelijke goedkeuring van het waterschap kan de uitvoering starten.
8. Opdrachtnemer geeft bij start uitvoering bericht aan de Incidentenwacht (Meldpunt Water).

2.5 Verantwoordelijkheden rond calamiteiten

De rollen, taken en verantwoordelijkheden rond calamiteiten zoals hoogwater zijn als volgt:

- De opdrachtnemer draagt zorg voor het opstellen en laten goedkeuren van een noodplan.
- De opdrachtnemer bewaakt de waterstand bij meetpunt St. Pieter Noord en eventueel andere relevante meetpunten zoals beschreven in het noodplan.
- De opdrachtnemer neemt onverwijld contact op met de Incidentenwacht (Meldpunt Water 0800-0341) van het waterschap indien de afvoer- en waterstandsverwachtingen de in het

noodplan benoemde kritieke waarden voor start uitvoering beheersmaatregelen overschrijden.

- De opdrachtnemer neemt onverwijld contact op met de Incidentenwacht van het waterschap indien zich calamiteiten voordoen of de waterkering (inclusief tijdelijke maatregelen) zich tijdens of na de werkzaamheden anders gedraagt dan verwacht.
- De opdrachtnemer draagt zorg voor het tijdig uitvoeren van alle acties uit het noodplan.
- De opdrachtnemer verschaft het waterschap onbeperkt toegang bij calamiteiten voor o.a. inspectie.
- Indien het waterschap dit door onvoorziene omstandigheden noodzakelijk acht, voert de opdrachtnemer op opgave van het waterschap onverwijld aanvullende maatregelen uit.
- Indien het waterschap dit noodzakelijk acht, werkt de opdrachtnemer mee aan (hoogwater)oefeningen.
- De kosten die gemoeid zijn met de acties uit het noodplan, met oefeningen of met aanvullende acties op aangeven van het waterschap zijn voor rekening van opdrachtnemer.

U bent in alle gevallen zelf verantwoordelijk voor het bewaken van de waterstanden op de Maas en voor het tijdig herstellen van het veiligheidsniveau van de betreffende waterkering.

3 Het noodplan

Voor elk project waarbij gewerkt wordt aan de waterkering is in principe een noodplan benodigd. Daarvoor maakt het niet uit of de werkzaamheden plaatsvinden in opdracht van het waterschap (bijvoorbeeld een dijkversterkingsproject) of bijvoorbeeld op basis van een vergunning. Dit hoofdstuk vormt een handreiking bij het maken van het noodplan. We benoemen de onderdelen die ons inziens in een noodplan thuishoren, en beschrijven de redeneerlijnen rond beheers- en noodmaatregelen.

U dient het noodplan tijdig ter goedkeuring in bij het waterschap. Pas nadat het noodplan is goedgekeurd mag de uitvoering starten. Zeker bij complexe werkzaamheden waarbij het veiligheidsniveau van de waterkering ingrijpend of langdurig wordt aangetast of bij de wens tot werken in het hoogwaterseizoen adviseren we u om hierover vroegtijdig in gesprek met het waterschap te gaan. Samen met u bekijken we wat wel/niet kan worden toegestaan en welke preventieve en beheersmaatregelen mogelijk zijn om de risico's te beperken. Door hierover tijdig in contact te treden met het waterschap voorkomt u vertraging door aanvullende acties bij de beoordeling en goedkeuring van het noodplan.

Voor grote projecten over meerdere locaties maakt u wellicht een centraal calamiteitenplan met daarin algemene gegevens en daarnaast een specifiek noodplan per locatie. Of, bij langdurige werkzaamheden, wellicht een uitwerking per seizoen (open seizoen <> hoogwaterseizoen). Deze keuze is aan u. Zorg echter steeds voor heldere verwijzingen naar andere relevante documenten. Dit helpt ons bij het beoordelen van uw plan en bovenal maakt dit het in geval van calamiteiten gemakkelijker om vlot alle benodigde gegevens te verzamelen.

De looptijd van het noodplan omvat in principe de periode tot het moment dat de waterkering weer volledig op sterkte is. In sommige gevallen zal de waterkering nog niet volledig op sterkte zijn bij einde project of einde contractduur, bijvoorbeeld bij de ontwikkeling van de grasmatten bij groene waterkeringen. Bespreek in dat geval met het waterschap hoe u hiermee in het noodplan omgaat. Vanzelfsprekend bent u na einde contractduur niet meer zelf verantwoordelijk voor het uitvoeren van noodmaatregelen, maar mogelijk vragen we u wel om bij oplevering van de kering een noodplan mee te leveren waaruit blijkt welke maatregelen genomen dienen te nemen bij (dreigend) hoogwater.

Indien u werkt op basis van een vergunning, kunnen in de vergunning aanvullende voorschriften worden opgenomen. Hierbij valt te denken aan bijvoorbeeld een gefaseerde uitvoering, maatregelen tegen erosie, etc.

3.1 Basisgegevens en contactgegevens

In het noodplan vermeldt u minimaal de volgende basisgegevens:

- De locatie:
 - Gemeente, plaatsnaam
 - Dijkpaalnummers (en bij puntlocatie: afstand tot dichtstbijzijnde dijkpaal)
 - Duidelijk kaartje waarop de locatie is gemarkeerd
 - Bijbehorende bovenstroomse rivierkilometer
- Contactgegevens (naam, telefoonnummer, e-mailadres):

- Naam bedrijf/aannemer
- Contactpersonen voor noodplan
- Contactpersonen monitoring (24/7 bereikbaarheid!)
- Contactpersonen bij calamiteiten (24/7 bereikbaarheid! Deze persoon vormt de centrale liaison met het waterschap bij calamiteiten)
- Contactpersonen op locatie bij calamiteiten (24/7 bereikbaarheid bij calamiteiten!)
- Incidentenwacht waterschap: Meldpunt water 0800-0341.
- Contactpersonen waterschap (bijv. contractmanager, aanspreekpunt noodplan etc).

3.2 Procedures voor monitoring en calamiteiten

In het noodplan vermeldt u de procedures rond monitoring en calamiteiten. **U bent in alle gevallen zelf verantwoordelijk voor het bewaken van de waterstanden op de Maas en het tijdig herstellen van het veiligheidsniveau van de betreffende waterkering.** Het waterschap vormt geen schakel in de alarmering en het herstellen van het bestaande veiligheidsniveau. Aandachtspunten zijn:

- Rollen, taken en verantwoordelijkheden.
 - Geef een beschrijving van de taken, rollen en verantwoordelijkheden met betrekking tot het noodplan, de uitvoering en in calamiteiten.
 - Benoem de vertegenwoordigers die tijdens hoogwater aanwezig zijn per dijklocatie.
 - De betrokken personen dienen te allen tijde goed op de hoogte te zijn van de actuele stand van de uitvoering van de dijkversterkingswerken.
- Monitoring
 - Wie monitort (naam/namen en rol)?
 - Hoe vaak wordt gekeken in de normale situatie en bij afwijkende waterstanden?
 - Neem zo nodig in het monitoringsproces op dat (en hoe) de neerslagverwachtingen in het brongebied worden gemonitord. Daarmee kan de reactietijd worden vergroot.
 - Waar wordt het resultaat vastgelegd?
- Procedure bij calamiteiten
 - Een overzicht van wie met wie communiceert en wanneer.
 - Welke procedure wordt in gang gezet bij afwijkende waterstands- of afvoerverwachtingen?
 - Vanaf welke waterstand/afvoer en verwachting zullen geen nieuwe activiteiten worden gestart en wordt volledig en zonder onderbreking ingezet op afronding van de lopende werkzaamheden?
 - Vanaf welke waterstand/afvoer en verwachting wordt ingezet op herstel van waterkerend vermogen door middel van opbouw noodmaatregelen?
 - Frequentie van inspecties bij hoogwater minimaal gelijk aan dijkwachtrondes bij waterschap; afhankelijk van de risico's en zwakke punten mogelijk vaker.
- Borging en kwaliteitscontrole
 - Hoe is 24/7 bereikbaarheid geborgd?
 - Hoe is 24/7 personele capaciteit geborgd?
 - Hoe is goede opvolging van de afspraken omtrent monitoring gedurende het project geborgd? Welke kwaliteitssystemen zet de opdrachtnemer hierop in?

3.3 Waterdata

- Voor monitoring worden minimaal de volgende bronnen geraadpleegd:
 - <https://waterinfo.rws.nl/#!/kaart/waterafvoer>
 - <https://waterinfo.rws.nl/#!/kaart/waterhoogte-t-o-v-nap/>
 - Signalering = meetpunt St. Pieter Noord
 - Al naar gelang de afstand tot St. Pieter Noord dienen aanvullend de voorspellingen voor andere meetpunten worden gevolgd omdat de signaleringswaarde St. Pieter af kan wijken van de locatie ter plaatse.
- Maak op basis van de meest recente betrekkinglijnen (op te vragen bij Rijkswaterstaat) voor de betreffende locatie (bovenstroomse rivierkilometer) een tabel met:
 - Overschrijdingsfrequentie
 - Afvoer St. Pieter Noord
 - Afvoer Venlo (*indien project in Noord-Limburg*)
 - Gemiddelde overeenkomende waterstanden
 - Looptijd van de golf

3.4 De werkzaamheden

In het noodplan beschrijft u gefaseerd de werkzaamheden aan de waterkering, wat dit betekent voor het waterkerend vermogen, en wat het handelingsperspectief is bij hoogwater:

- Fasering en het veiligheidsniveau:
 - Maak de fasering van de werkzaamheden inzichtelijk door van elke fase in de uitvoering een dwarsprofiel van het dijkprofiel in zijn omgeving te maken. Tezamen vormen deze profielen een soort stripverhaal van de werkzaamheden. Begin met de bestaande situatie en eindig met de nieuwe situatie volledig op sterkte.
 - Geef per fase aan hoe lang deze duurt en over hoeveel strekkende meters deze ingreep tegelijkertijd wordt uitgevoerd (dus hoeveel meter kering open ligt).
 - Maak een risicoanalyse door per bouwphase aan te geven wat het resterende veiligheidsniveau (waterkerende vermogen) is. Relateer dit aan de actuele betrekkinglijn ter plaatse van de betreffende rivierkilometer: benoem per bouwphase de afvoer, waterstand en overschrijdingskans die bij dit veiligheidsniveau horen.
- Maatregelen:
 - Geef een beschrijving incl. principe-tekening van de preventieve maatregelen die u treft om de ontstane verhoogde risico's zoveel als mogelijk te beheersen.
 - Geef voor elke bouwphase aan met welke reactieve maatregelen het oude veiligheidsniveau wordt hersteld indien zich een hoogwatersituatie aandient. Omschrijf de maatregelen (incl. principe-tekening) zodanig dat deze navolgbaar zijn in tijd en ruimte.
 - De effectiviteit van de betreffende maatregelen dient zo nodig -bijvoorbeeld bij een noodkering met een kerende hoogte hoger dan 1 bigbag- te worden aangetoond middels berekeningen (piping, macrostabiliteit, ...).
 - Hoeveel tijd is nodig voor opbouw van de noodmaatregelen, en bij welke afvoer moet daarmee dan uiterlijk gestart worden om de dijk tijdig gesloten te hebben?
 - Welke materialen zijn nodig en in welke hoeveelheid?
 - Welk materieel is nodig voor uitvoering?
 - Hoeveel menskracht is nodig voor uitvoering, en binnen welk tijdsbestek?

- Maak op overzichtstekeningen de opslag van materieel en materiaal inzichtelijk, inclusief aanvoerroutes en toegang tot de dijklocaties.
 - Hoe is de beschikbaarheid van materieel, materiaal en personeel geborgd (denk ook aan vakantieperiodes en behoefte op andere locaties)?
- Infrastructuur:
 - Geef een beschrijving met kaartbeeld van de infrastructuur die kan worden gebruikt bij het uitvoeren van noodmaatregelen. Hou daarbij nadrukkelijk rekening met de effecten van hoogwater op de infrastructuur op en rond de waterkering, zoals: wegen door uiterwaarden die niet meer bereikbaar zijn bij hoogwater; dijken en (werk)wegen niet begaanbaar met zwaar materieel in natte omstandigheden; openbare wegen die door gemeente/veiligheidsregio zijn aangewezen als evacuateroutes zijn niet toegankelijk voor ander transport, etc.
- Uitvoerbaarheid
 - Alle benodigde materialen en materieel dienen gedurende de uitvoeringsperiode daadwerkelijk aanwezig te zijn. Alternatief: maak inzichtelijk dat deze zo nodig op korte termijn kunnen worden aangevoerd. Hou rekening met beschikbaarheid in relatie tot de totale projectomvang.
 - Alle benodigde personeel dient bij hoogwater op elk moment daadwerkelijk ingezet te kunnen worden. Maak een realistisch plan in relatie tot de totale projectomvang.
 - Zorg dat de voorgestelde maatregelen kunnen worden uitgevoerd in slechte omstandigheden. Zo is het verdichten van klei problematisch in natte omstandigheden en is bereikbaarheid voor materieel op een vers en nat werk bij hoogwater een punt van zorg.
- Overige risico's:
 - Tijdens uitvoering kunnen zich, naast hoogwater, ook andere ongewenste situaties of calamiteiten aandienen (bijv. beschadigen van hoge-drukleidingen onder of nabij de kering). Geef ook voor deze calamiteiten, net zoals bij hoogwater, een beschrijving van de calamiteit, het risico en het handelingsperspectief.
- Planning van het project:
 - Geef aan in welke periode de werkzaamheden uitgevoerd zullen worden en wees daarbij zo specifiek mogelijk: stappen in de realisatie gekoppeld aan uitvoeringstijd (hoe lang ligt het open) en aan weken op de kalender.
 - Benoem de omvang van het werk (streckende meters dijk) dat maximaal open ligt.
 - Vormt de uitvoerbaarheid of de beschikbaarheid een punt van zorg, hou daar dan rekening mee in de planning van de werkzaamheden: neem bijvoorbeeld een kleiner stuk waterkering tegelijk onder handen, zodat het risico beheersbaar blijft.
 - Ook bij onderbreking van de werkzaamheden (bouwwak, kerstvakantie, ...) dient het veiligheidsniveau te zijn gewaarborgd. In het open seizoen door aantoonbare beschikbaarheid van materieel en personeel tijdens de onderbreking, in het hoogwaterseizoen door het fysiek realiseren van het referentieniveau (hetzij door afronding gestarte werkzaamheden, hetzij door tijdelijke maatregelen).
- Betreft het een noodplan voor meerdere locaties? Herhaal de bovenstaande stappen dan voor elke locatie. Zorg dat het totaal aan benodigde tijd, capaciteit, materieel, materialen en inzet over de diverse locaties tezamen nog steeds realistisch is. Maak een (calamiteiten)planning voor het gehele project!

U bent in alle gevallen zelf verantwoordelijk voor het bewaken van de waterstanden op de Maas en het tijdig herstellen van het veiligheidsniveau van de betreffende waterkering. Maak in het noodplan aannemelijk dat u de bovenstaande maatregelen kunt uitvoeren binnen de gestelde tijd.

BIJLAGE 8: GEOTECHNISCH ONDERZOEK

Het beschikbare geotechnisch onderzoek is weergegeven in de onderstaande tabel. De benodigde geotechnische parameters dienen door de opdrachtnemer afgeleid te worden.

Tabel 6: Beschikbaar geotechnisch onderzoek

Jaar	Beschikbaar
2019	14 sonderingen met dissipatietest
	3 sonderingen zonder dissipatietest
	10 handboringen
	3 handboringen met bemonstering van de klei
	4 mechanische boringen
2017	17 diepe boringen
2013	1 sondering
	3 boringen
	2 boringen met laboratoriumonderzoek
2006	3 sonderingen

In de onderstaande figuur is een overzicht weergegeven van de locaties van de boringen. Het geotechnisch onderzoek is meegeleverd in het bestand Geotechnisch_grondonderzoek.zip.



Figuur 7: Overzicht geotechnisch onderzoek



BIJLAGE 9: INTERPRETATIERAPPORT GEOTECHNISCH ONDERZOEK



CB.34.004 Interpretatie verdiepend geotechnisch onderzoek Nieuw-Bergen, Steyl, Belfeld, Beesel, Buggenum, Roermond en Heel

Hoogwaterbeschermingsprogramma Noordelijke Maasvallei

Datum: 02-02-2021

Kenmerk (SP): 737

Versienummer: 1.0-1

Status: 100%

In opdracht van



**waterschap
limburg**

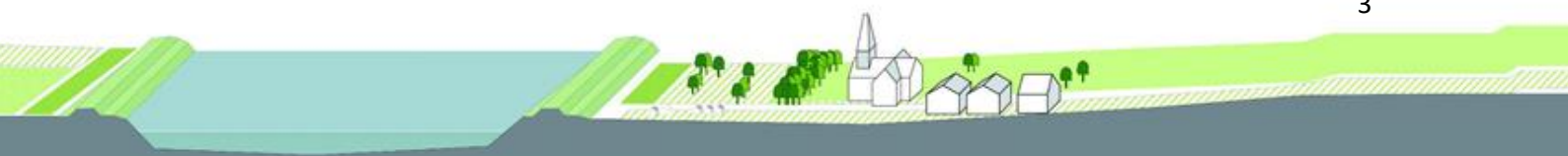
INHOUDSOPGAVE

1.	Inleiding	4
1.1	Algemeen	4
2	Uitgangspunten	12
2.1	Referenties	12
2.2	Scope interpretatie	14
3	Geotechnisch onderzoek	15
3.1	Beschikbaar geotechnisch onderzoek	15
3.2	Locaties Veldonderzoek	20
3.3	Uitgevoerde laboratoriumproeven	21
4	Materiaalmodel	22
5	Interpretatie grondlagen	24
5.1	Toekenning grondlagen	24
5.1.1	Nieuw-Bergen	24
5.1.2	Steyl	26
5.1.3	Belfeld	28
5.1.4	Beesel	29
5.1.5	Buggenum	30
5.1.6	Roermond Willem Alexanderhaven	32
5.1.7	Heel	33
5.2	Beoordeling ongedraineerd of gedraineerd grondgedrag	35
6	Bepaling sterkte- en stijfheidsparameters	39
6.1	Classificatie	40
6.2	Normaal geconsolideerde ongedraineerde schuifsterkte ratio (S)	43
6.3	Pre overburden pressure (POP)	44
6.4	Sterkte toename exponent m	46
6.5	Hoek van inwendige wrijving (ϕ'_{eind})	47
6.5.1	Cohesieve lagen	47
6.5.2	Grindhoudend zand	48
6.6	Zettingsparameters	48
6.7	Sterkte- en stijfheidsparameters Roermond Willem Alexanderhaven	50
6.8	Erosiebestendigheid	51
7	Bepaling piping parameters	55
7.1	Geologische indeling van de zandlagen	55



7.2	De d_{70} van het watervoerende lagen	59
7.2.1	Nieuw-Bergen, Belfeld, Beesel en Heel	59
7.2.2	Steyl, Buggenum en Roermond WAX.....	61
7.3	De k-waarde van het watervoerend pakket	62
8	Conclusie	64
bijlage 1	Geotechnisch lengteprofiel Nieuw-Bergen	69
bijlage 2	Geotechnisch lengteprofiel Steyl	71
bijlage 3	Geotechnisch lengteprofiel Belfeld	73
bijlage 4	Geotechnisch lengteprofiel Beesel	75
bijlage 5	Geotechnisch lengteprofiel Buggenum	77
bijlage 6	Geotechnisch lengteprofiel Roermond WAX	79
bijlage 7	Geotechnisch lengteprofiel Heel	81
bijlage 8	Bepaling S-ratio klei siltig - selectiekeuze + statistiek	83
bijlage 9	Bepaling POP selectiekeuze + statistiek	86
bijlage 10	bepaling exponent m klei-siltig en klei - beegden – selectiekeuze + statistiek	91
bijlage 11	Bepaling phi klei dijk en klei-zandig - selectiekeuze + statistiek	94
bijlage 12	Bepaling zettingsparameter	97
bijlage 13	Bepaling kleikwaliteit	101
bijlage 14	Zandgrofheid en doorlatendheid	103
bijlage 15	Bepaling phi van grindhoudend zand	110

Bijlagenrapporten: laboratoriumonderzoek Inpijn-Blokpoel 2018 en 2019, project 02P011230



1. Inleiding

1.1 Algemeen

In opdracht van Waterschap Limburg is door Ingenieursbureau Maasvallei verdiepend geotechnisch onderzoek uitgevoerd als basis voor het Definitief Ontwerp.

Om te komen tot een definitief ontwerp van de dijktrajecten in de Noordelijke Maasvallei is inzicht benodigd in de bodemopbouw en grondeigenschappen. In dit rapport zijn de uitgevoerde grondonderzoeken weergegeven en zijn de geotechnische parameters bepaald voor de trajecten:

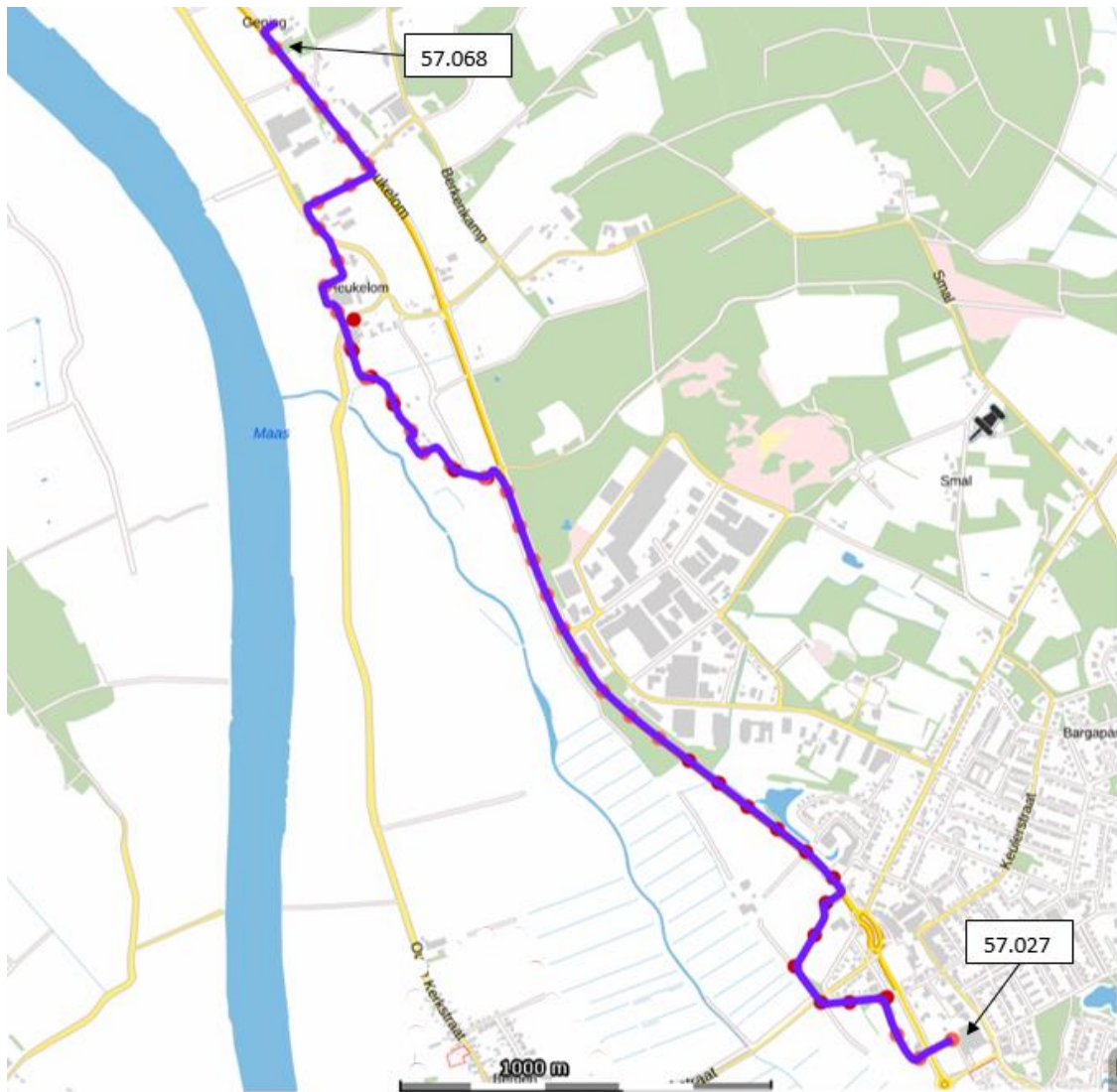
- Dijktraject 57-1, Nieuw-Bergen;
- Dijktraject 68-1, Steyl;
- Dijktraject 71-1, Belfeld;
- Dijktraject 73-1, Beesel;
- Dijktraject 75-1, Buggenum;
- Dijktraject 76-2, Roermond Willem Alexanderhaven (WAX);
- Dijktraject 78-1, Heel.

Voor de trajecten Nieuw-Bergen, Belfeld, Beesel en Heel zijn in CB.25.003-1.0-1-Rp [ref. 18] de bodemopbouw en geotechnische parameters al reeds bepaald. De voorliggende rapportage is een actualisatie van de eerdere rapportage en de parameters in voorliggende rapportage prevaleren derhalve.

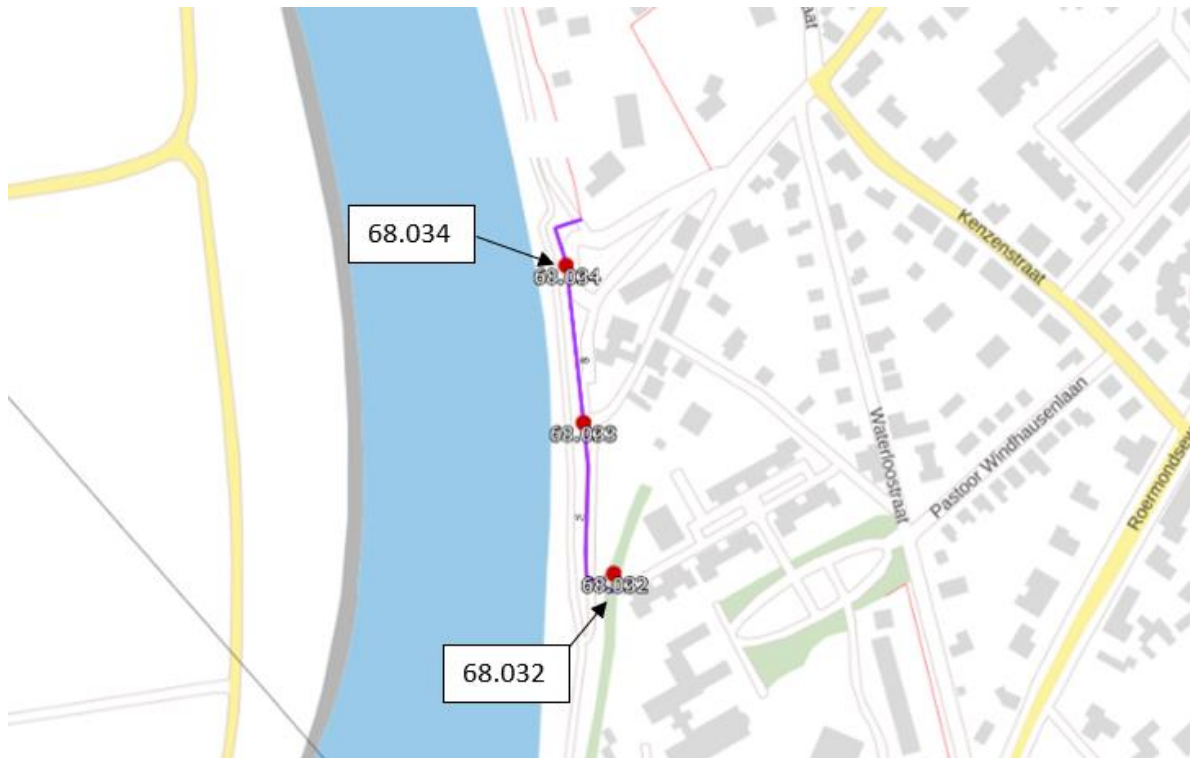
Het veldwerk en laboratoriumonderzoek is uitgevoerd door Inpijn-Blokpoel. De aansturing en begeleiding, alsmede de interpretatie van de bodemopbouw en bepaling van geotechnische parameters is uitgevoerd door Ingenieursbureau Maasvallei (IBM).

De indicatieve locatie van de trajecten en dijkpaalnummers zijn gegeven in figuur 1 tot en met figuur 7.

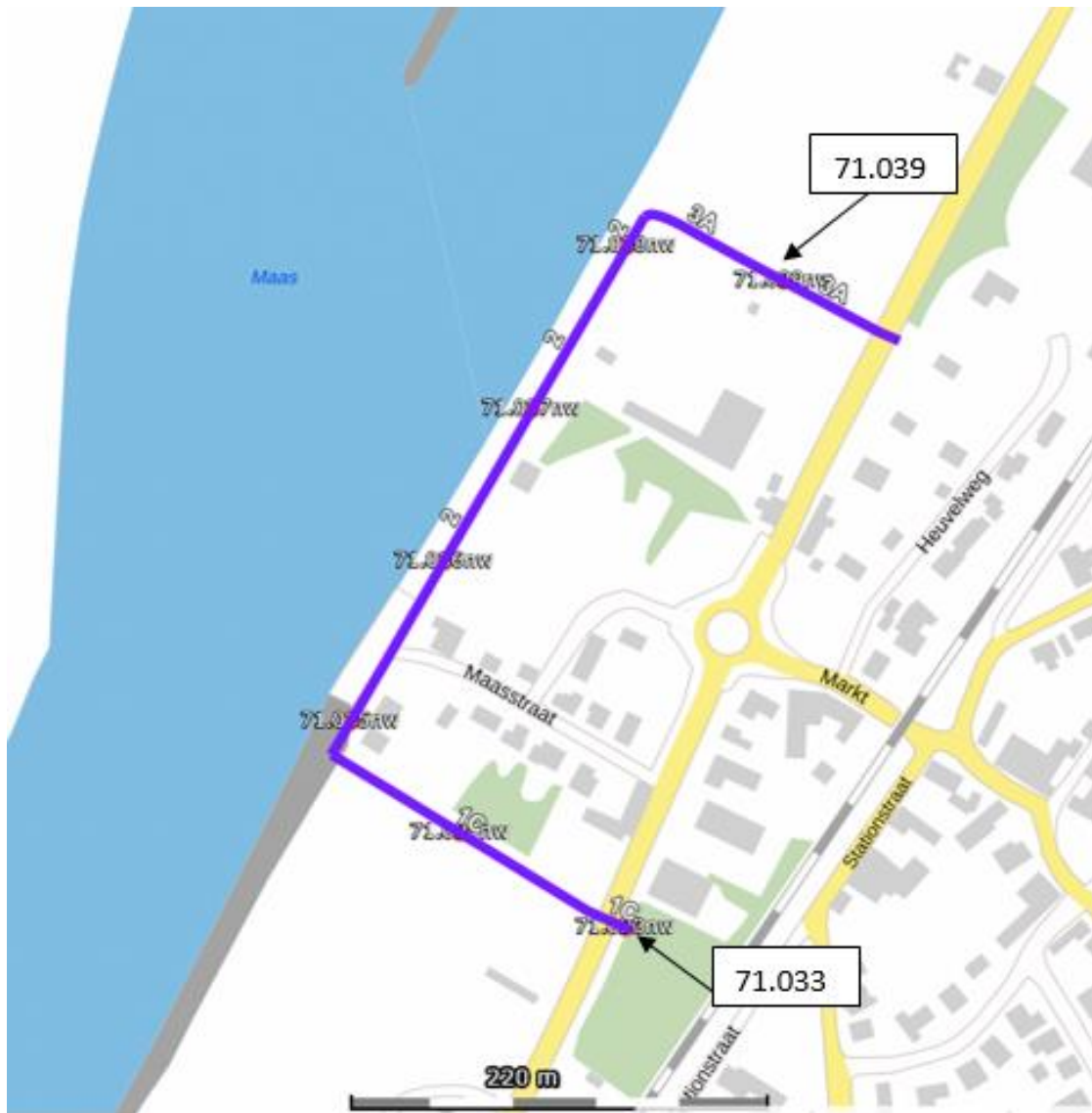




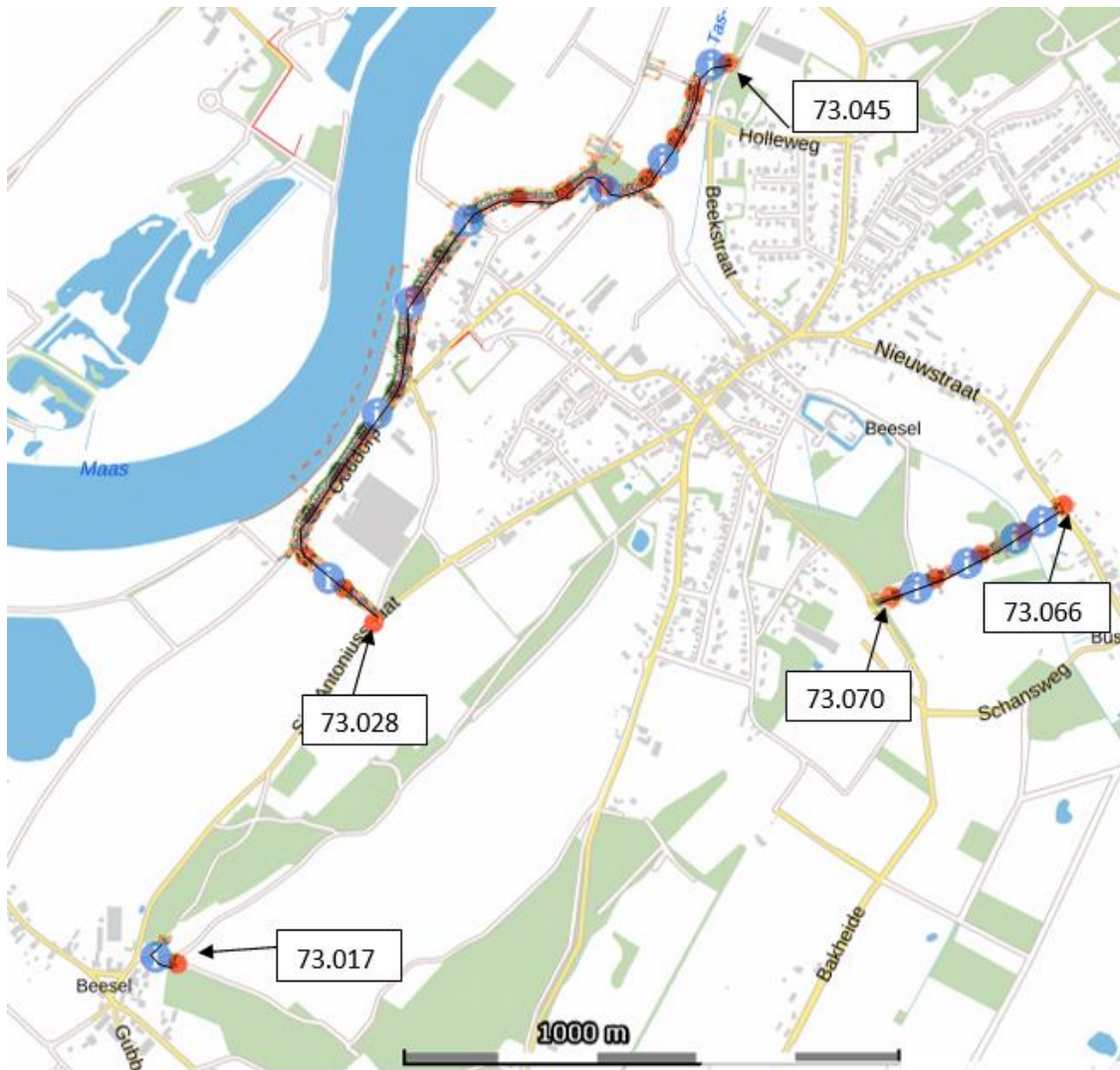
Figuur 1: Indicatieve locatie beschouwd traject Nieuw-Bergen (bron pim.info, dijkpaalnummers zijn nog niet formeel vastgesteld)



Figuur 2: Indicatieve locatie beschouwd traject Steyl (bron pim.info, dijkpaalnummers zijn nog niet formeel vastgesteld)



Figuur 3: Indicatieve locatie beschouwd traject Belfeld (bron pim.info, dijkpaalnummers zijn nog niet formeel vastgesteld)

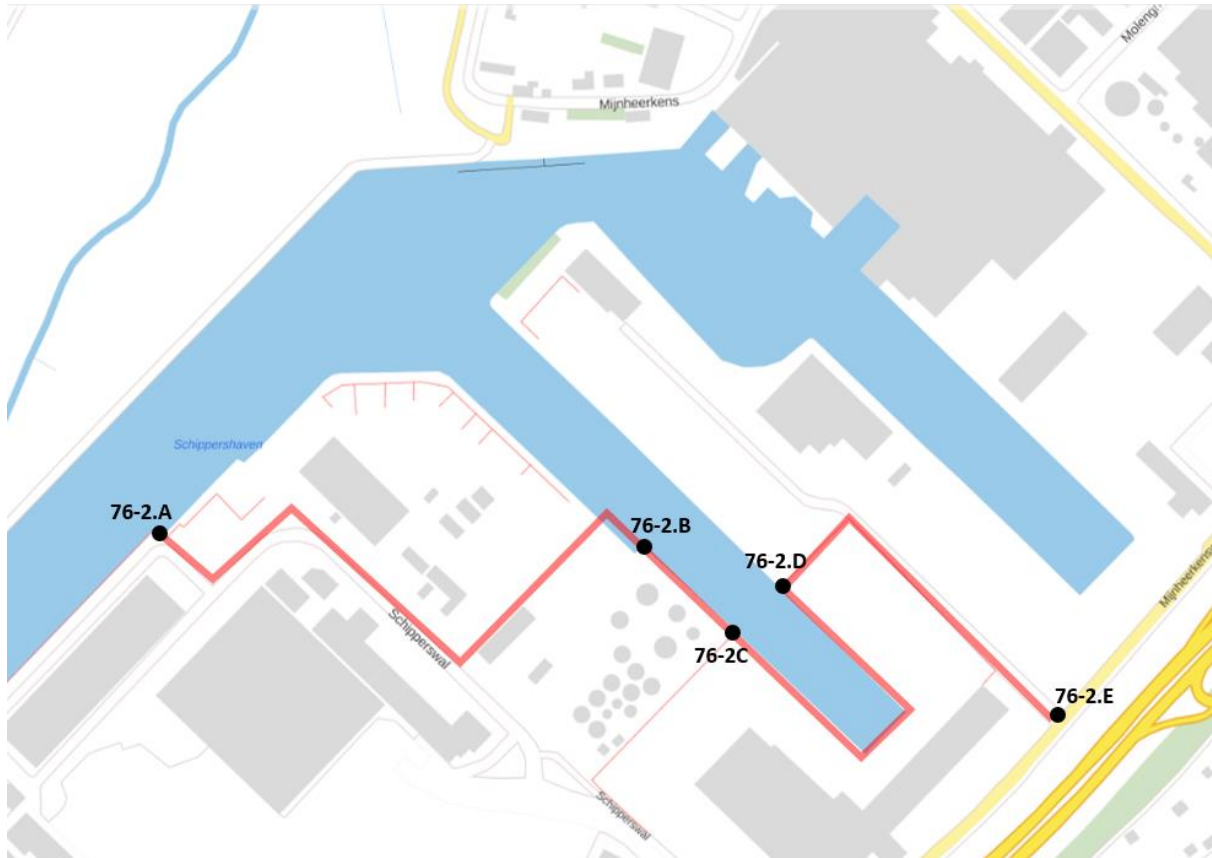


Figuur 4: Indicatieve locatie beschouwde deeltrajecten Beesel (bron pim.info, dijkpaalnummers zijn nog niet formeel vastgesteld)



Figuur 5: Indicatieve locatie beschouwd traject Buggenum (bron pim.info, dijkpaalnummers zijn enkel opgesteld ten behoeve van dit document)





Figuur 6: Indicatieve locatie beschouwd traject Roermond WAX (bron pim.info, dijkpaalnummers zijn enkel opgesteld ten behoeve van dit document)





Figuur 7: Indicatieve locatie beschouwd traject Heel (bron pim.info, dijkpaalnummers zijn nog niet formeel vastgesteld)

2 Uitgangspunten

2.1 Referenties

Voor de uitwerking zijn de volgende documenten en normen aangehouden.

Tabel 1: Referenties van tekeningen en documenten

Ref.	Titel
[ref. 1]	Inpijn - Blokpoel, grondonderzoek met kenmerk 02P002480-RG-01, "Dijken langs de Maas, Resultaten geotechnisch onderzoek", d.d. 25 oktober 2012.
[ref. 2]	Inpijn - Blokpoel, grondonderzoek met kenmerk 02P008617, "Geotechnisch en Geohydrologisch meetnet 12 ringdijken Noordelijke Maasvallei", d.d. 2018.
[ref. 3]	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk 02P008617-10-RG-57-def2, "Geotechnisch onderzoek dijkkring 57 Waterschap Limburg te Limburg, Resultaten geotechnisch onderzoek", d.d. 4 september 2017.
[ref. 4]	Inpijn - Blokpoel, grondonderzoek met kenmerk 02P011230, "Geotechnisch onderzoek Noordelijke Maasvallei dijkkring 57 te Nieuw Bergen", d.d. 2018.
[ref. 5]	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk 02P008617-10-RG-57-def2, "Geotechnisch onderzoek dijkkring 71 Waterschap Limburg te Limburg, Resultaten geotechnisch onderzoek", d.d. 5 september 2017.
[ref. 6]	Inpijn - Blokpoel, grondonderzoek met kenmerk 02P010333-02, "Controleboringen waterschap Limburg te Belfeld, Beesel en Heel", d.d. 2018.
[ref. 7]	Inpijn - Blokpoel, grondonderzoek met kenmerk 02P011230-06, "Geotechnisch onderzoek Noordelijke Maasvallei dijkkring 71 te Belfeld", d.d. 2018.
[ref. 8]	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk 02P005360-RG-01, "POV piping grind- en leemlagen, Resultaten geotechnisch onderzoek", d.d. 28 januari 2015.
[ref. 9]	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk 02P008617-10-RG-73-def2, "Geotechnisch onderzoek dijkkring 73, Waterschap Limburg te Limburg, Resultaten geotechnisch onderzoek", d.d. 5 september 2017.
[ref. 10]	Inpijn - Blokpoel, grondonderzoek met kenmerk 02P011230-08, "Geotechnisch onderzoek Noordelijke Maasvallei dijkkring 73 te Beesel", d.d. 2018.
[ref. 11]	Conex, rapport met kenmerk CXA 097.05, "Resultaten grondmechanisch onderzoek retentiebekken te Heel eo - Lateraalkanaal West -", 22 juli 2005.
[ref. 12]	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk VH-5123-1, "Onderzoek nabij de dijken van Heel Thorn & Wessem Dijkkring 78, Resultaten geotechnisch onderzoek", 11 mei 2009.
[ref. 13]	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk 02P002919-RG-01, "Geotechnisch onderzoek nabij Heel, Blerick, Venlo, Gennep en Ottersum, Resultaten geotechnisch onderzoek", d.d. 22 maart 2013.
[ref. 14]	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk 02P008617-12-RG-78-def2, "Geotechnisch onderzoek dijkkring 78, Waterschap Limburg te Limburg, resultaten geotechnisch onderzoek", d.d. 5 september 2017.
[ref. 15]	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk 02P008617-14-RG-NVA-def2, "Geotechnisch onderzoek NVA (nadere veiligheidsanalyse), Waterschap Limburg te Limburg, resultaten geotechnisch onderzoek", d.d. 5 september 2017.
[ref. 16]	Inpijn - Blokpoel, grondonderzoek met kenmerk 02P011230-10, "Geotechnisch onderzoek Noordelijke Maasvallei dijkkring 78 te Heel", d.d. 2018.



[ref. 17]	Ingenieursbureau Maasvallei (IBM), nota met kenmerk IO.97.001, "Nota van uitgangspunten planfase Nieuw Bergen, Belfeld, Beesel en Heel", d.d. 7 september 2018.
[ref. 18]	Ingenieursbureau Maasvallei (IBM), rapport met kenmerk CB.25.003-1.0-1-Rp, "Interpretatie verdiepend geotechnisch onderzoek Nieuw-Bergen Belfeld Beesel en Heel", d.d. 19 augustus 2020.
[ref. 19]	Ingenieursbureau Maasvallei (IBM), rapport 8845, 7 juli 2019, versie 1.0 "Piping parameters voor VO+ ontwerp, HWBP Noordelijke Maasvallei"
[ref. 20]	Fugro, 1994 (verkregen uit Dinoloket).
[ref. 21]	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk 02P001997-01, "Geotechnisch onderzoek piping prioritaire dijkversterking van 5 locaties vanaf Mook tot Thorn", d.d. 2 oktober 2012.
[ref. 22]	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk 02P002480-RG-01, "Dijken langs de Maas, Resultaten geotechnisch onderzoek", d.d. 25 oktober 2012.
[ref. 23]	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk 02P005360-adv-04, "POV piping grind- en leemlagen, Analyse pompproef deellocatie 1 (Well) en 3 (Buggenum)", 22 januari 2016.
[ref. 24]	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk 02P008617, "Geotechnisch en Geohydrologisch meetnet 12 ringdijken Noordelijke Maasvallei, d.d. 2017
[ref. 25]	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk 02P008617-11-RG-75-def2, "Geotechnisch onderzoek Dijkkring 75 Waterschap Limburg te Limburg, Resultaten geotechnisch onderzoek", d.d. 5 september 2017.
[ref. 26]	Ingenieursbureau Maasvallei (IBM), grondonderzoek met kenmerk 105780_BN_13, "HWBP Noordelijke Maasvallei", d.d. 2018.
[ref. 27]	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk 02P011230-09-RG-02, "Geotechnisch onderzoek Noordelijke Maasvallei dijkkring 75 op en nabij spoorbanen te Buggenum, Resultaten geotechnisch onderzoek", d.d. 1 juli 2020.
[ref. 28]	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk 02P011230-09-RG-01, "Geotechnisch onderzoek Noordelijke Maasvallei dijkkring 75 te Buggenum, Resultaten geotechnisch onderzoek", d.d. 25 juni 2020.
[ref. 29]	Fugro, 1994 (verkregen uit Dinoloket).
[ref. 30]	GeoDelft, rapport met kenmerk CO-408600, "Project Zandmaas, Grond- en laboratoriumonderzoek", d.d. mei 2003.
[ref. 31]	Fugro, grondonderzoek met kenmerk 7206-0129, "Grondonderzoek maaskaden", d.d. 2006.
[ref. 32]	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk 02P003361-RG-01, "Aanvullend grondonderzoek ws Peel en Maasvallei te Limburg, resultaten geotechnisch onderzoek", 27 mei 2013.
[ref. 33]	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk 02P011230-03-RG-01, "Geotechnisch onderzoek Noordelijke Maasvallei dijkkring 68 te Steyl, Resultaten geotechnisch onderzoek", d.d. 3 juli 2020.
[ref. 34]	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk VH-1561-B, "Kadeconstructie Willem Alexanderhaven te Roermond, Resultaten geotechnisch onderzoek", d.d. 11 september 2007.
[ref. 35]	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk VH-1561-C-1, "Damwandconstructie Lisbannahaven te Roermond, Resultaten geotechnisch onderzoek", d.d. 27 augustus 2009.



[ref. 36]	Royal Haskoning, grondonderzoek onder projectcode 9W1275.01, "BO Schipperswal Roermond", d.d. 2010.
[ref. 37]	Royal Haskoning, grondonderzoek onder projectcode 4K0369.X1, "Verkennd bodem- en asbestonderzoek Scheepvaartweg-Schipperswal te Roermond", d.d. 2011.
[ref. 38]	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk 02P000399-01-adv-01, "Nieuwbouw kunstmestopslag, kantoren en betonmixer aan de Lisbonnahaven te Roermond, Resultaten geotechnisch onderzoek, funderingsadvies", d.d. 2 september 2011.
[ref. 39]	Geonius, rapport met kenmerk GA-110166, "Voorlopig Funderingsadvies t.b.v. nieuwbouw CSP gebouw. Aan de Schipperswal te Roermond", 26 augustus 2011.
[ref. 40]	Fugro, rapport met kenmerk 1213-0117-003, "Geotechnisch veldwerk betreffende geotechnisch onderzoek kadeverbetering Alexanderhaven", d.d. 17 maart 2014.
[ref. 41]	Fugro, rapport met kenmerk 1213-0117-006, "Aanvullend geotechnisch onderzoek Alexanderhaven", d.d. 8 mei 2015.
[ref. 42]	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk 02P011230-12-RG-02, "Geotechnisch onderzoek Noordelijke Maasvallei aan de Alexanderhaven te Roermond", 3 april 2020.
[ref. 43]	Fugro, rapport met kenmerk 1320-172739, "Dijkkring 76 Roermond Willem Alexanderhaven, Rapportage geotechnisch onderzoek Alexanderhaven", d.d. 22 oktober 2020.

Tabel 2: Referenties normen en richtlijnen

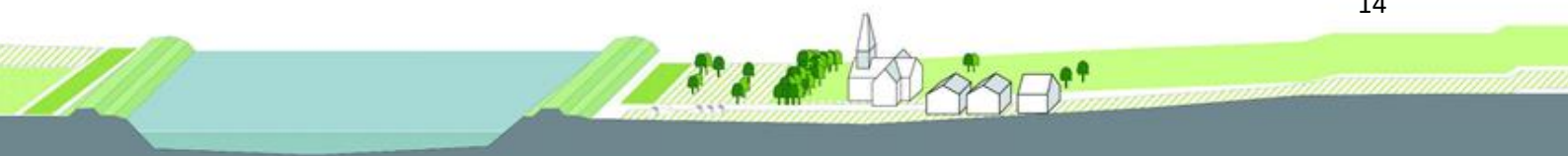
Ref.	Norm	Titel
[ref. 44]	WBI2017	Handreiking voor het bepalen van schuifsterkte parameters
[ref. 45]	NEN 9997-1+C2:2017	Geotechnisch ontwerp van constructies - deel1: Algemene regels
[ref. 46]	OI2014V4	Handreiking ontwerpen met overstromingskansen
[ref. 47]	WBI2017	Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium 2017

2.2 Scope interpretatie

De afgelopen jaren zijn in meerdere fasen grondonderzoeken uitgevoerd in de Maasvallei.

In de eerste verkenningsfase (2017) zijn voornamelijk boringen en sonderingen uitgevoerd. Daarna zijn in 2018 en 2019 aanvullende sonderingen en boringen uitgevoerd in zeven dijktrajecten, namelijk Nieuw-Bergen, Steyl, Belfeld, Beesel, Buggenum, Roermond WAX en Heel, die verspreid liggen in de Noordelijke Maasvallei. Vervolgens is uitgebreid labonderzoek uitgevoerd.

Gekozen is om voor de trajecten één parameterset op te stellen, die generiek toepasbaar is. De parameters zijn bepaald op basis van resultaten afkomstig uit de zeven dijktrajecten, die geologisch gezien vergelijkbaar zijn. Vanwege de vergelijkbare geologie is de parameterset in de hele Noordelijke Maasvallei toepasbaar.



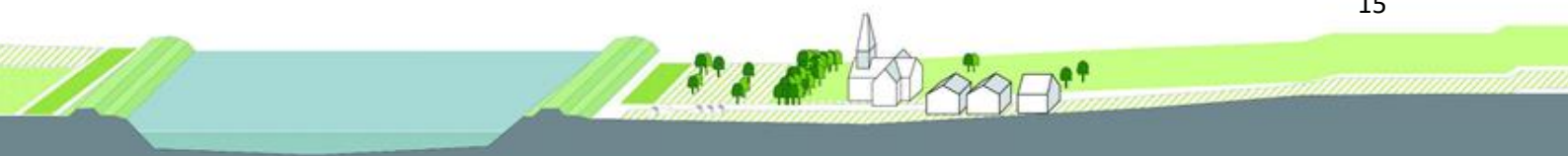
3 Geotechnisch onderzoek

3.1 Beschikbaar geotechnisch onderzoek

Vanaf 2005 tot aan 2019 zijn meerdere onderzoeken uitgevoerd voor dijktrajecten Nieuw-Bergen (57-1), Steyl (68-1), Belfeld (71-1), Beesel (73-1), Buggenum (75-1), Roermond WAX (76-2) en Heel (78-1). In tabel 3 tot en met tabel 9 is schematisch weergegeven welk grondonderzoek is uitgevoerd.

Tabel 3: Overzicht uitgevoerd grondonderzoek dijktraject Nieuw-Bergen (57-1)

NR	Titel onderzoek + ref	Beschikbare gegevens (S = sonderingen, B = boringen en L = laboratoriumresultaten)
1	Inpijn - Blokpoel, grondonderzoek met kenmerk 02P002480-RG-01, "Dijken langs de Maas, Resultaten geotechnisch onderzoek", d.d. 25 oktober 2012.	S + B + L
2	Inpijn - Blokpoel, grondonderzoek met kenmerk 02P008617, "Geotechnisch en Geohydrologisch meetnet 12 ringdijken Noordelijke Maasvallei", d.d. 2018.	B
3	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk 02P008617-10-RG-57-def2, "Geotechnisch onderzoek dijkkring 57 Waterschap Limburg te Limburg, Resultaten geotechnisch onderzoek", d.d. 4 september 2017.	S + B + L
4	Inpijn - Blokpoel, grondonderzoek met kenmerk 02P011230, "Geotechnisch onderzoek Noordelijke Maasvallei dijkkring 57 te Nieuw Bergen", d.d. 2018.	S + B + L



Tabel 4: Overzicht uitgevoerd grondonderzoek dijktraject Steyl (68-1)

NR	Titel onderzoek + ref	Beschikbare gegevens (S = sonderingen, B = boringen en L = laboratoriumresultaten)
1	Fugro, 1994 (verkregen uit Dinoloket).	S
2	GeoDelft, rapport met kenmerk CO-408600, "Project Zandmaas, Grond- en laboratoriumonderzoek", d.d. mei 2003.	S + B + L
3	Fugro, grondonderzoek met kenmerk 7206-0129, "Grondonderzoek maaskaden", d.d. 2006.	S
4	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk 02P002919-RG-01, "Geotechnisch onderzoek nabij Heel, Blerick, Venlo, Gennep en Ottersum, Resultaten geotechnisch onderzoek", d.d. 22 maart 2013.	B
5	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk 02P003361-RG-01, "Aanvullend grondonderzoek ws Peel en Maasvallei te Limburg, resultaten geotechnisch onderzoek", 27 mei 2013.	S + B
6	Inpijn - Blokpoel, grondonderzoek met kenmerk 02P008617, "Geotechnisch en Geohydrologisch meetnet 12 ringdijken Noordelijke Maasvallei", d.d. 2018.	B
7	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk 02P011230-03-RG-01, "Geotechnisch onderzoek Noordelijke Maasvallei dijkkring 68 te Steyl, Resultaten geotechnisch onderzoek", d.d. 3 juli 2020.	S + B + L

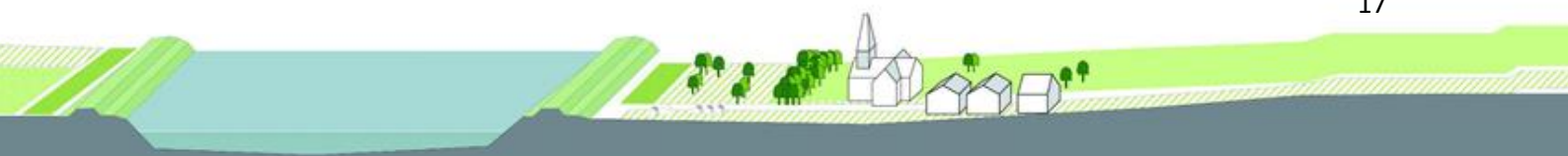
Tabel 5: Overzicht uitgevoerd grondonderzoek dijktraject Belfeld (71-1)

NR	Titel onderzoek + ref	Beschikbare gegevens (S = sonderingen, B = boringen en L = laboratoriumresultaten)
1	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk 02P002480-RG-01, "Dijken langs de Maas, Resultaten geotechnisch onderzoek", d.d. 25 oktober 2012.	S + B + L
2	Inpijn - Blokpoel, grondonderzoek met kenmerk 02P008617, "Geotechnisch en Geohydrologisch meetnet 12 ringdijken Noordelijke Maasvallei", d.d. 2018.	B
3	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk 02P008617-10-RG-57-def2, "Geotechnisch onderzoek dijkkring 71 Waterschap Limburg te Limburg, Resultaten geotechnisch onderzoek", d.d. 5 september 2017.	S + B + L
4	Inpijn - Blokpoel, grondonderzoek met kenmerk 02P010333-02, "Controleboringen waterschap Limburg te Belfeld, Beesel en Heel", d.d. 2018.	B
5	Inpijn - Blokpoel, grondonderzoek met kenmerk 02P011230-06, "Geotechnisch onderzoek Noordelijke Maasvallei dijkkring 71 te Belfeld", d.d. 2018.	S + B + L



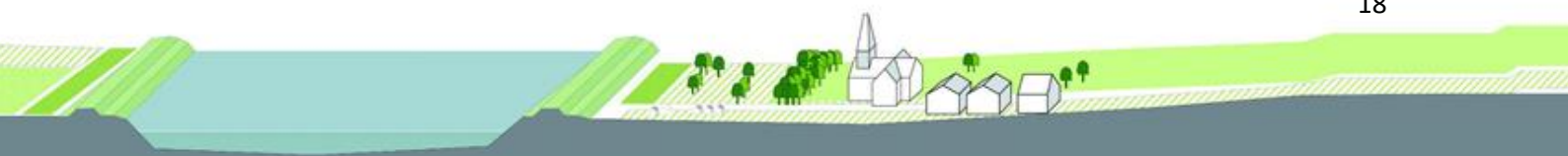
Tabel 6: Overzicht uitgevoerd grondonderzoek dijktraject Beesel (73-1)

NR	Titel onderzoek + ref	Beschikbare gegevens (S = sonderingen, B = boringen en L = laboratoriumresultaten)
1	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk 02P002480-RG-01, "Dijken langs de Maas, Resultaten geotechnisch onderzoek", d.d. 25 oktober 2012.	S + B + L
2	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk 02P005360-RG-01, "POV piping grind- en leemlagen, Resultaten geotechnisch onderzoek", d.d. 28 januari 2015.	S + B
3	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk 02P008617-10-RG-73-def2, "Geotechnisch onderzoek dijkkring 73, Waterschap Limburg te Limburg, Resultaten geotechnisch onderzoek", d.d. 5 september 2017.	S + B + L
4	Inpijn - Blokpoel, grondonderzoek met kenmerk 02P011230-08, "Geotechnisch onderzoek Noordelijke Maasvallei dijkkring 73 te Beesel", d.d. 2018.	S + B + L
5	Inpijn - Blokpoel, grondonderzoek met kenmerk 02P010333-02, "Controleboringen waterschap Limburg te Belfeld, Beesel en Heel", d.d. 2018.	B



Tabel 7: Overzicht uitgevoerd grondonderzoek dijktraject Buggenum (75-1)

NR	Titel onderzoek + ref	Beschikbare gegevens (S = sonderingen, B = boringen en L = laboratoriumresultaten)
1	Fugro, 1994 (verkregen uit Dinoloket)	S
2	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk 02P001997-01, "Geotechnisch onderzoek piping prioritaire dijkversterking van 5 locaties vanaf Mook tot Thorn", d.d. 2 oktober 2012	S + B + (L ¹)
3	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk 02P002480-RG-01, "Dijken langs de Maas, Resultaten geotechnisch onderzoek", d.d. 25 oktober 2012	S + B + L
4	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk 02P005360-RG-01&02, "POV piping grind- en leemlagen, resultaten (aanvullend) geotechnisch onderzoek", d.d. 28 januari 2015 en 4 juli 2016	B
5	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk 02P005360-adv-04, "POV piping grind- en leemlagen, Analyse pompproef deellocatie 1 (Well) en 3 (Buggenum)", 22 januari 2016	B
6	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk 02P008617, "Geotechnisch en Geohydrologisch meetnet 12 ringdijken Noordelijke Maasvallei, d.d. 2017	B
7	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk 02P008617-11-RG-75-def2, "Geotechnisch onderzoek Dijkkring 75 Waterschap Limburg te Limburg, Resultaten geotechnisch onderzoek", d.d. 5 september 2017	B
8	Witteveen+Bos, grondonderzoek met kenmerk 105780_BN_13, "HWBP Noordelijke Maasvallei", d.d. 2018	B
9a	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk 02P011230-09-RG-02, "Geotechnisch onderzoek Noordelijke Maasvallei dijkkring 75 op en nabij spoorbanen te Buggenum, Resultaten geotechnisch onderzoek", d.d. 1 juli 2020	S + B
9b	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk 02P011230-09-RG-01, "Geotechnisch onderzoek Noordelijke Maasvallei dijkkring 75 te Buggenum, Resultaten geotechnisch onderzoek", d.d. 25 juni 2020	S + B + L

¹ betreft mengmonsters en daarom niet meegenomen in de labanalyse.

Tabel 8: Overzicht uitgevoerd grondonderzoek dijktraject Roermond WAX (76-2)

NR	Titel onderzoek + ref	Beschikbare gegevens (S = sonderingen, B = boringen en L = laboratoriumresultaten)
1	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk VH-1561-B, "Kadeconstructie Willem Alexanderhaven te Roermond, Resultaten geotechnisch onderzoek", d.d. 11 september 2007.	S + B
2	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk VH-1561-C-1, "Damwandconstructie Lisbannahaven te Roermond, Resultaten geotechnisch onderzoek", d.d. 27 augustus 2009.	S
3	Royal Haskoning, grondonderzoek onder projectcode 9W1275.01, "BO Schipperswal Roermond", d.d. 2010.	B
4	Royal Haskoning, grondonderzoek onder projectcode 4K0369.X1, "Verkennd bodem- en asbestonderzoek Scheepvaartweg-Schipperswal te Roermond", d.d. 2011.	B
5	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk 02P000399-01-adv-01, "Nieuwbouw kunstmestopslag, kantoren en betonmixer aan de Lisbannahaven te Roermond, Resultaten geotechnisch onderzoek, funderingsadvies", d.d. 2 september 2011.	S + B
6	Geonius, rapport met kenmerk GA-110166, "Voorlopig Funderingsadvies t.b.v. nieuwbouw CSP gebouw. Aan de Schipperswal te Roermond", 26 augustus 2011.	S + B
7	Fugro, rapport met kenmerk 1213-0117-006, "Aanvullend geotechnisch onderzoek Alexanderhaven", d.d. 8 mei 2015.	S + B + L
8	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk 02P011230-12-RG-02, "Geotechnisch onderzoek Noordelijke Maasvallei aan de Alexanderhaven te Roermond", 3 april 2020.	S + B + L
9	Fugro, rapport met kenmerk 1320-172739, "Dijkkring 76 Roermond Willem Alexanderhaven, Rapportage geotechnisch onderzoek Alexanderhaven", d.d. 22 oktober 2020.	S + B



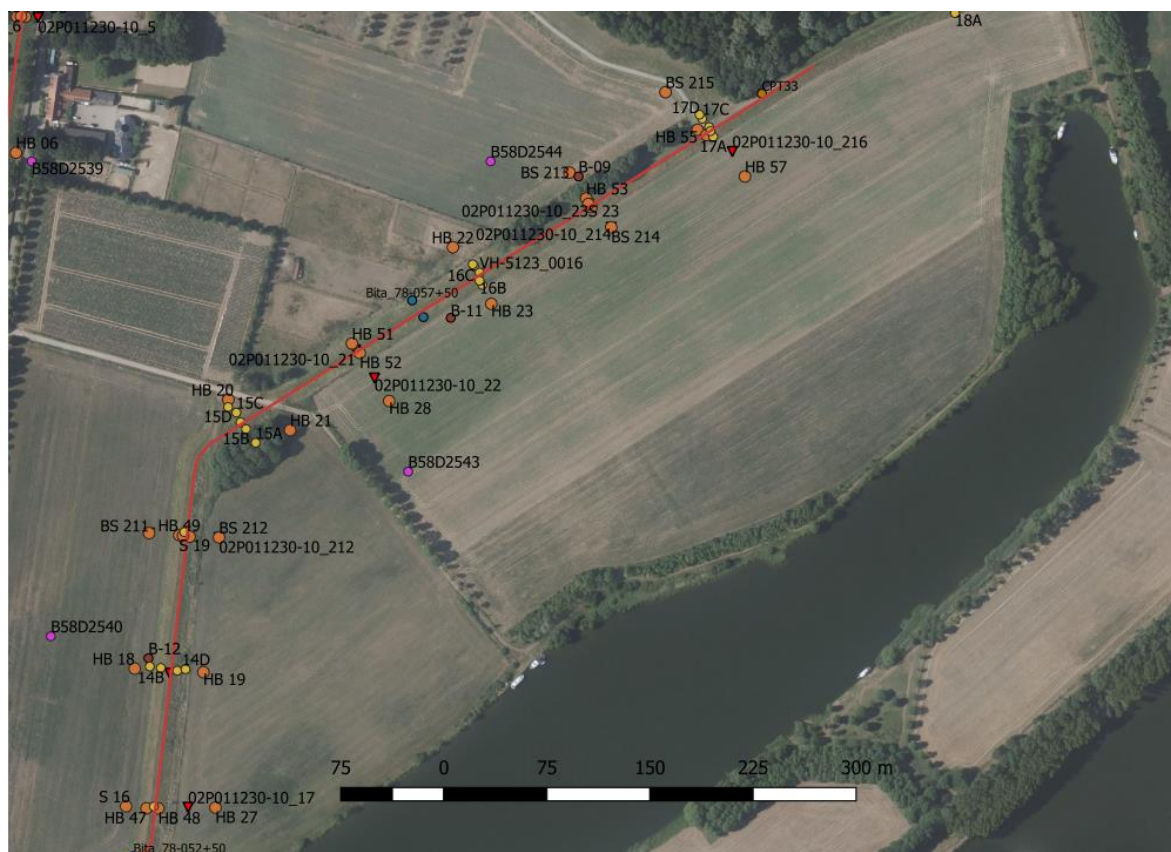
Tabel 9: Overzicht uitgevoerd grondonderzoek dijktraject Heel (78-1)

NR	Titel onderzoek + ref	Beschikbare gegevens (S = sonderingen, B = boringen en L = laboratoriumresultaten)
1	Conex, rapport met kenmerk CXA 097.05, "Resultaten grondmechanisch onderzoek retentiebekken te Heel eo - Lateraalkanaal West -", 22 juli 2005.	S
2	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk VH-5123-1, "Onderzoek nabij de dijken van Heel Thorn & Wessem Dijkkring 78, Resultaten geotechnisch onderzoek", 11 mei 2009.	S + B + L
3	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk 02P002919-RG-01, "Geotechnisch onderzoek nabij Heel, Blerick, Venlo, Gennep en Ottersum, Resultaten geotechnisch onderzoek", d.d. 22 maart 2013.	B + L
4	Inpijn - Blokpoel, grondonderzoek met kenmerk 02P008617, "Geotechnisch en Geohydrologisch meetnet 12 ringdijken Noordelijke Maasvallei", d.d. 2018.	B
5	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk 02P008617-12-RG-78-def2, "Geotechnisch onderzoek dijkkring 78, Waterschap Limburg te Limburg, resultaten geotechnisch onderzoek", d.d. 5 september 2017.	B + L
6	Inpijn - Blokpoel, rapport met kenmerk 02P008617-14-RG-NVA-def2, "Geotechnisch onderzoek NVA (nadere veiligheidsanalyse), Waterschap Limburg te Limburg, resultaten geotechnisch onderzoek", d.d. 5 september 2017.	S + B
7	Inpijn - Blokpoel, grondonderzoek met kenmerk 02P010333-02, "Controleboringen waterschap Limburg te Belfeld, Beesel en Heel", d.d. 2018.	B
8	Inpijn - Blokpoel, grondonderzoek met kenmerk 02P011230-10, "Geotechnisch onderzoek Noordelijke Maasvallei dijkkring 78 te Heel", d.d. 2018.	S + B + L

3.2 Locaties Veldonderzoek

Op de trajecten is het bestaande grondonderzoek voor 2018 gecombineerd met nieuw onderzoek, zodanig dat om de circa 100 m grondonderzoek in raaien uitgevoerd is. Een voorbeeld van de locaties van verschillende grondonderzoeken is weergegeven in figuur 8.





Figuur 8: Uitsnede van uitgevoerd grondonderzoeken in raaien in Heel (71-) (QGis)

3.3 Uitgevoerde laboratoriumproeven

Op de trajecten zijn tijdens de boringen monsters gestoken bestaande uit zandig en cohesief materiaal. Tijdens het grondonderzoek is geen veen (als hoofdbestandsdeel) aangetroffen. De laboratoriumproeven, welke zijn uitgevoerd binnen het grondonderzoek van 2018 en 2019, zijn weergegeven in tabel 10.

In onderzoeken voor 2018 zijn wel laboratoriumproeven uitgevoerd, maar deze beperken zich tot classificatieproeven en korrelverdelingen (geen samendrukkings-, DSS- of triaxiaalproeven).

Tabel 10: Uitgevoerde proeven in 2018 en 2020

Soort proef
Bepaling volumieke gewichten
Bepaling watergehalte
Bepaling specifieke massa
Bepaling gloeiverlies
Bepaling Atterbergse grenzen
Korrelverdelingen
Samendrukkingsproeven (8 traps)
Triaxiaalproeven (CAU en CD)

4 Materiaalmodel

In overeenstemming met de nieuwe normen en richtlijnen voor de beoordeling van taludstabiliteit van dijken (OI2014 en WBI2017), wordt het Critical State Soil Mechanics model (CSSM) toegepast waarbij voor grondsoorten met een lage doorlatendheid, zoals klei en veen, wordt uitgegaan van ongedraineerd grondgedrag. Voor goed doorlatende grondsoorten zoals zand en grind wordt uitgegaan van gedraineerd grondgedrag. Voor zandige en siltige klei moet op basis van de laboratoriumproeven worden bepaald of er sprake is van gedraineerd of ongedraineerd grondgedrag.

Om stabiliteitsberekeningen uit te kunnen voeren zijn sterkteparameters benodigd welke kunnen worden bepaald met behulp van triaxiaal- en DSS-proeven. Triaxiaalproeven worden voornamelijk uitgevoerd op kleimonsters en DSS-proeven worden voornamelijk uitgevoerd op weinig materiaal. Aangezien tijdens de boringen en sonderingen in Limburg geen weinig materiaal is aangetroffen, zijn enkel triaxiaalproeven uitgevoerd.

De ongedraineerde schuifsterkte wordt als volgt berekend:

$$S_u = \sigma'_{vi} * S * OCR^m \quad ([\text{Ref. 17}], 2.2)$$

Hierin is:

S_u	=	Ongedraineerde schuifsterkte	[kPa]
σ'_{vi}	=	Verticale effectieve spanning	[kPa]
S	=	Normaal geconsolideerde ongedraineerde schuifsterkte ratio	[-]
OCR	=	Overconsolidatie ratio	[-]
m	=	Sterkte toename exponent	[-]

Voor materiaal dat gedraineerd reageert dient in het CSSM model gerekend te worden met de hoek van inwendige wrijving (φ) bij eindrek in plaats van de ongedraineerde schuifsterkteratio. De hoek van inwendige wrijving is bepaald conform de volgende formule:

$$\varphi'_{eind} = \arcsin\left(\frac{t_{eind}}{s'_{eind}}\right)$$

Hierin is:

φ'_{eind}	=	Hoek van inwendige wrijving	[°]
s'_{eind}	=	Eindwaarde van het gemiddelde van de hoofdspanningen	[kPa]
t_{eind}	=	Eindwaarde van de halve deviatorspanning	[kPa]

Een parameterset is opgesteld waarin de verschillende componenten van de schuifsterkte door middel van proeven zijn bepaald.

De verticale effectieve spanning wordt bepaald door bepaling van het volumiek gewicht en kennis van de grondwaterstand. De OCR en m zijn bepaald door middel van een samendrukkingsproef en de S -ratio en hoek van inwendige wrijving zijn bepaald door middel van triaxiaalproeven. Bij triaxiaalproeven wordt veronderstelt dat de critical state bereikt is bij een volumerek van 25%.



Roermond Willem Alexanderhaven

Voor het traject Roermond Willem Alexanderhaven is een damwand voorzien. Voor dit traject zijn daarom aanvullend op de critical state (en SHANSEP) parameters de Mohr-Coulomb sterkte- en stijfheidsparementers afgeleid uit NEN9997 en CUR166. De waarden zijn afgeleid op basis van de beschrijving van de lagen en de bijbehorende classificatieparameters (volumiek gewicht).



5 Interpretatie grondlagen

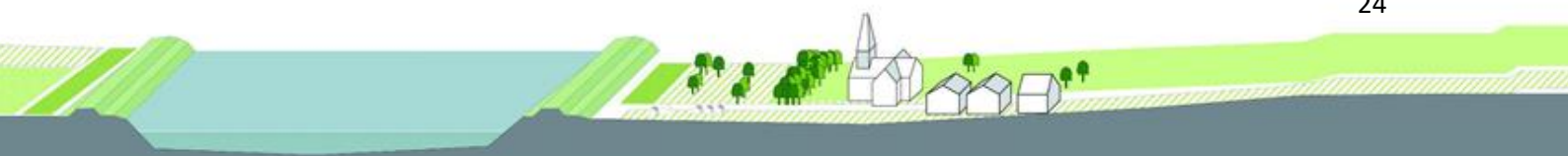
5.1 Toekenning grondlagen

De laagopbouw is als eerste bepaald op basis van het veldonderzoek. Hierin is onderscheid gemaakt in de gemeten conus- en wrijvingsweerstand en de boorstaten. Vervolgens zijn de labproeven toegekend aan de grondlagen, waarna gekeken is in hoeverre de labproeven samenhangende clusters vormen door te beoordelen of ze op basis van de resultaten van classificatieproeven zoals volumiek gewicht, gloeiverlies en Atterbergse grenzen tot dezelfde grondlaag mogen worden gerekend. Indien nodig, is de laagopbouw bijgewerkt totdat deze overeenkomt met de proevenverzameling.

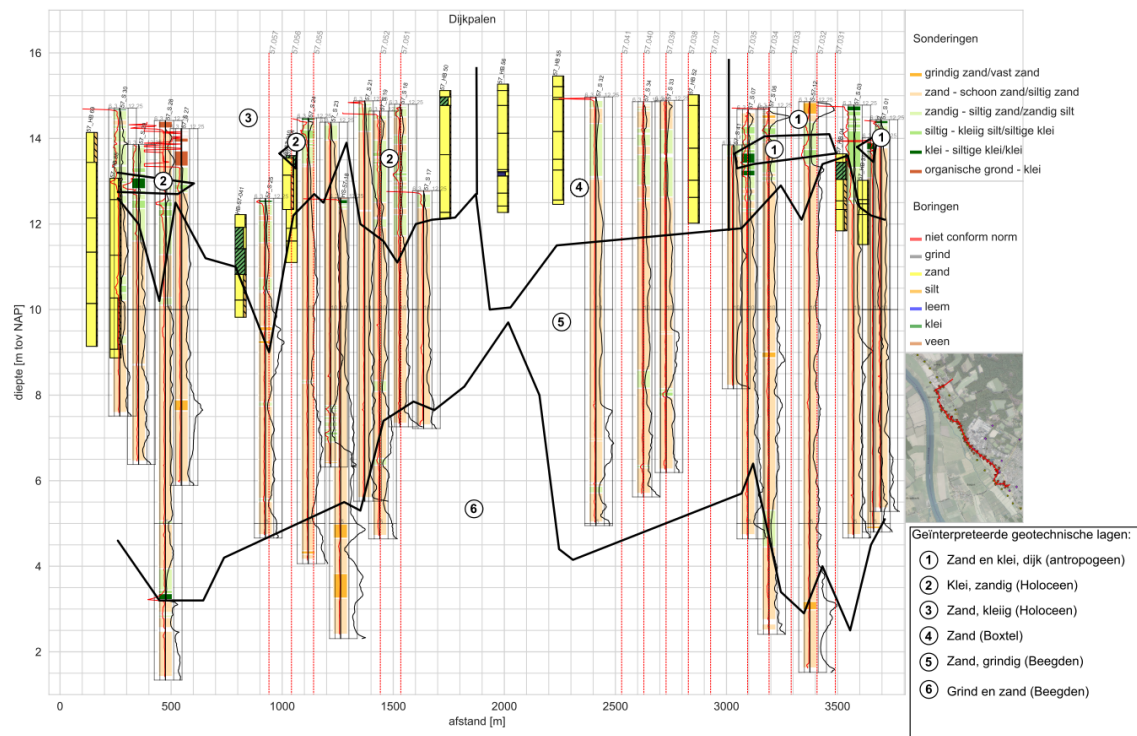
De laagopbouw voor Nieuw-Bergen, Steyl, Belfeld, Beesel, Buggenum, Roermond WAX en Heel is bijgevoegd in bijlage 1 tot en met bijlage 7.

5.1.1 Nieuw-Bergen

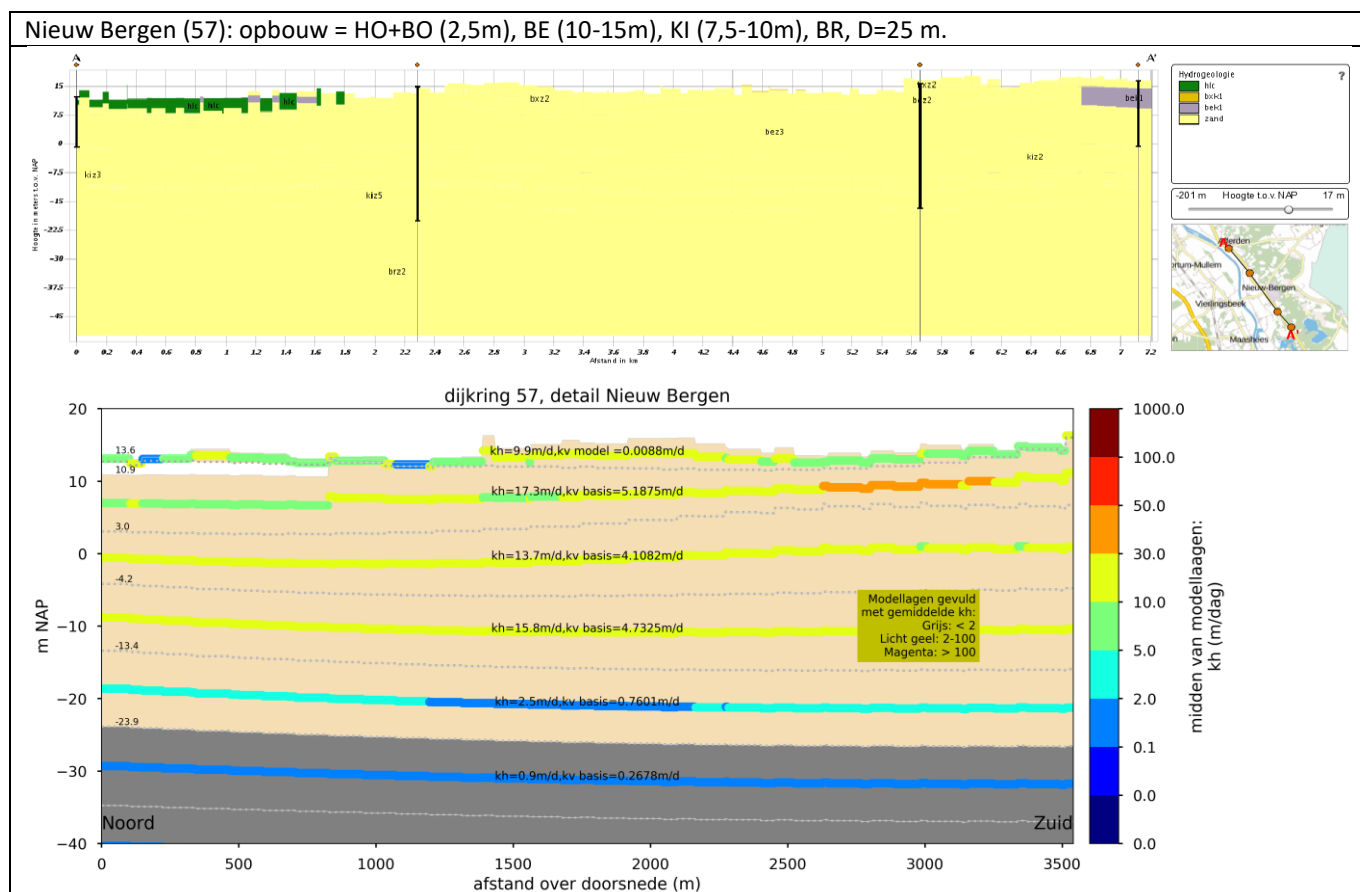
De laagopbouw is weergegeven in figuur 9 en bijlage 1, en de geologische lagen conform REGIS II zijn weergegeven in figuur 10. Het maaiveld varieert tussen NAP +12 en NAP +14 m. Noordelijk ligt een Holocene zandlaag met kleilenzen direct onder maaiveld tot NAP +11 a +12 m en meer zuidelijk is Bortel zand aanwezig. Onder zowel het Holocene zandpakket als het Bortel zandpakket ligt Beegden zand tot de verkende diepte van NAP +0 m. In het uitgevoerde grondonderzoek op de kruin van de dijk is zowel zand als klei aangetroffen in het dijksmateriaal. De rechterzijde in de figuur is de zuidzijde van het traject en de linkerkant is logischerwijs de noordzijde.



HWBP Noordelijke Maasvallei



Figuur 9: Indicatieve grondopbouw ter plaatse van de dijktraject Nieuw Bergen.



Figuur 10: Verticale doorsnede REGIS II v 2.2 te Nieuw Bergen (rechts is zuid, links is noord)

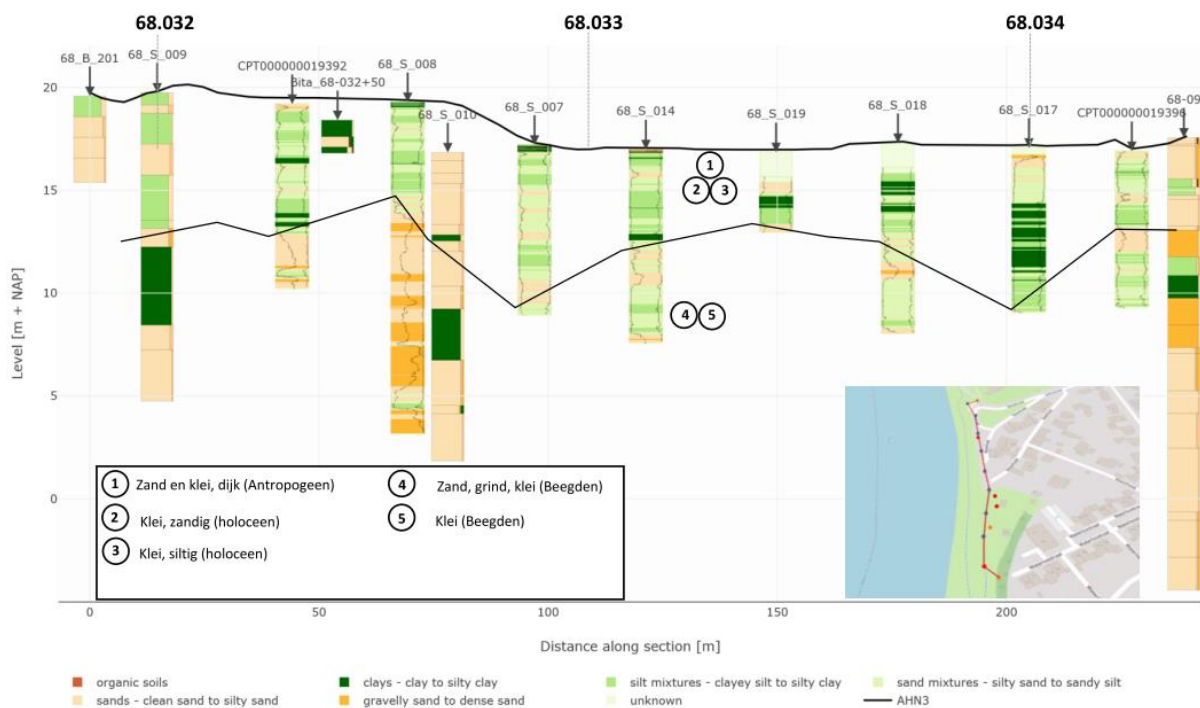
5.1.2 Steyl

De laagopbouw is weergegeven in figuur 11 en in bijlage 2, en de geologische lagen conform REGIS II zijn weergegeven in figuur 12. Maaiveld is gelegen rond NAP +20 a +17 m.

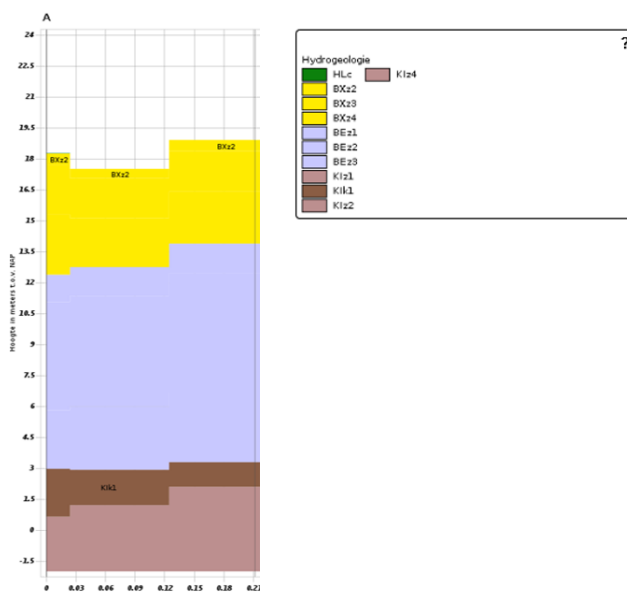
Vanaf maaiveld (kruin) tot NAP +10 a +13 m bestaat de ondergrond uit een antropogene aanvulling met daaronder afwisselend siltige kleilagen, zandige kleilagen en zandlagen. De siltige kleilagen zijn te herkennen aan de sterke teruggang in de conusweerstand waarbij in het sondeerbeeld weinig zand te zien is (weinig spikes). Op basis van ahn.nl is te zien dat het beschouwde dijktraject waarschijnlijk heeft uitgemaakt van een zijarm van de Maas. Hierdoor is het ook goed mogelijk dat Holocene siltige klei is afgezet. Echter wordt op basis van de labresultaten geconcludeerd dat de monsters in een antropogene aanvulling zijn gestoken (lager volumiek gewicht dan holocene siltige klei).

Vanaf de onderkant van de antropogene aanvulling (op NAP +10 a +13 m) tot de verkende diepte rond NAP +5 m is de formatie van Beegden aanwezig bestaande uit sterk afwisselende lagen zand, grind en klei.

HWBP Noordelijke Maasvallei



Figuur 11: Indicatieve grondopbouw ter plaatse van het dijktraject Steyl



Figuur 12: Verticale doorsnede REGIS II v 2.2 te Steyl

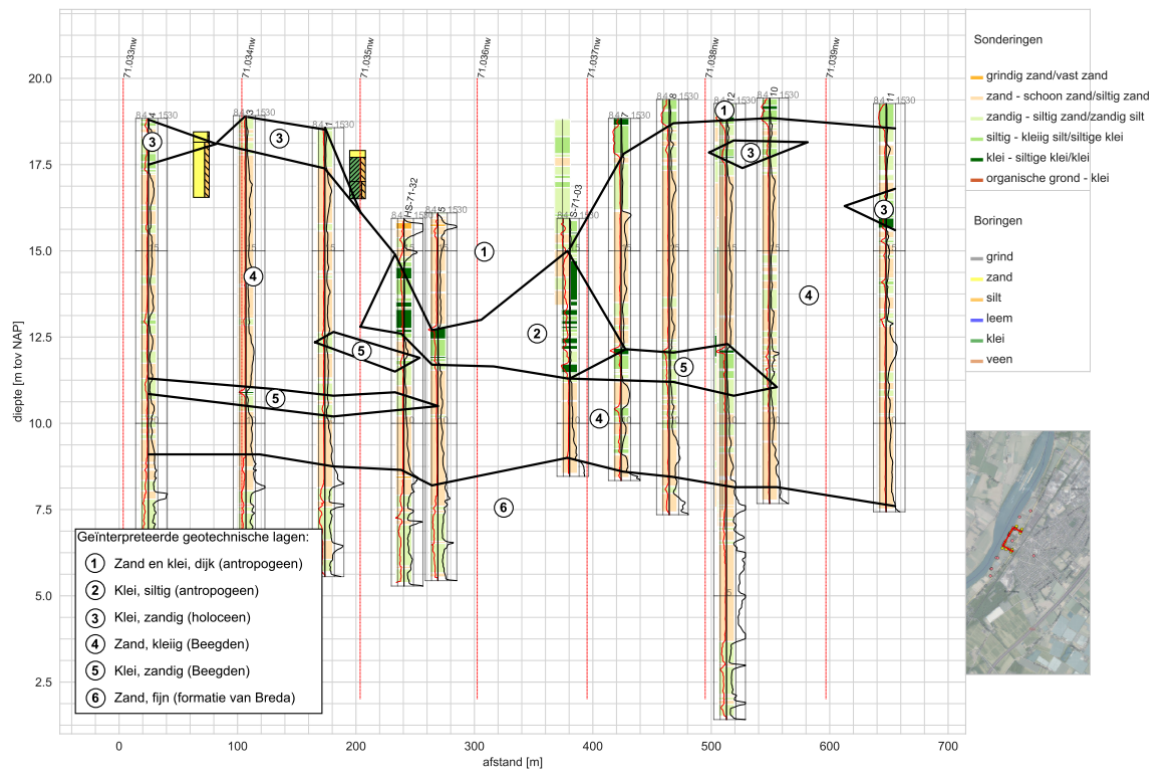
5.1.3 Belfeld

De laagopbouw is weergegeven in figuur 13 en in bijlage 3, en de geologische lagen conform REGIS II zijn weergegeven in figuur 14. Het maaiveld is gelegen rond NAP +18 à +19 m. Aan de kant van de Maas verloopt het maaiveld sterk tot een lager gelegen pad op NAP +15,5 m.

Tot circa NAP +9 m bevinden zich hoofdzakelijk zandlagen waarin ook kleilagen dicht bij het maaiveld aanwezig zijn. De zandlagen behoren tot de formatie van Beegden en de kleilagen dicht bij het maaiveld tot de Holocene afzettingen.

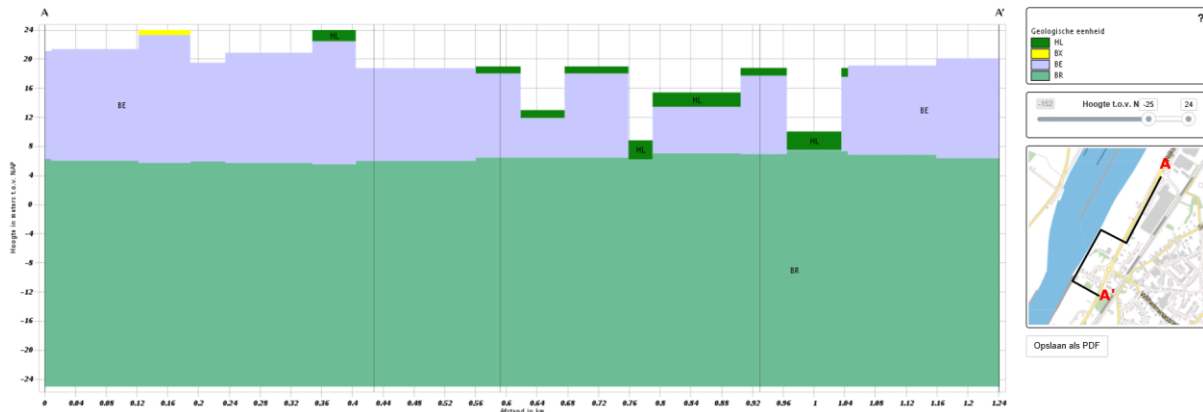
Daaronder bevindt zich tot de verkende diepte van circa NAP +6 m glauconiethoudend zand, behorend tot de formatie van Breda.

Een afwijkend resultaat is sondering S-71-03 en is afkomstig uit eerdere onderzoeken. Deze sondering bevat relatief meer klei en met een meer siltige bijmenging dan de naburige sonderingen. Op circa 10 m is een nieuwe sondering (#6) ter plaatse van de kruin gemaakt. In deze sondering is de dikkere slappere kleilaag niet gevonden. De kleilaag wordt als antropogene siltige klei gekenmerkt, omdat het geen gebiedseigen grond lijkt te zijn.



Figuur 13: Indicatieve grondopbouw ter plaatse van de kruin van traject Belfeld.





Figuur 14: Verticale doorsnede REGIS II v 2.2 te Belfeld

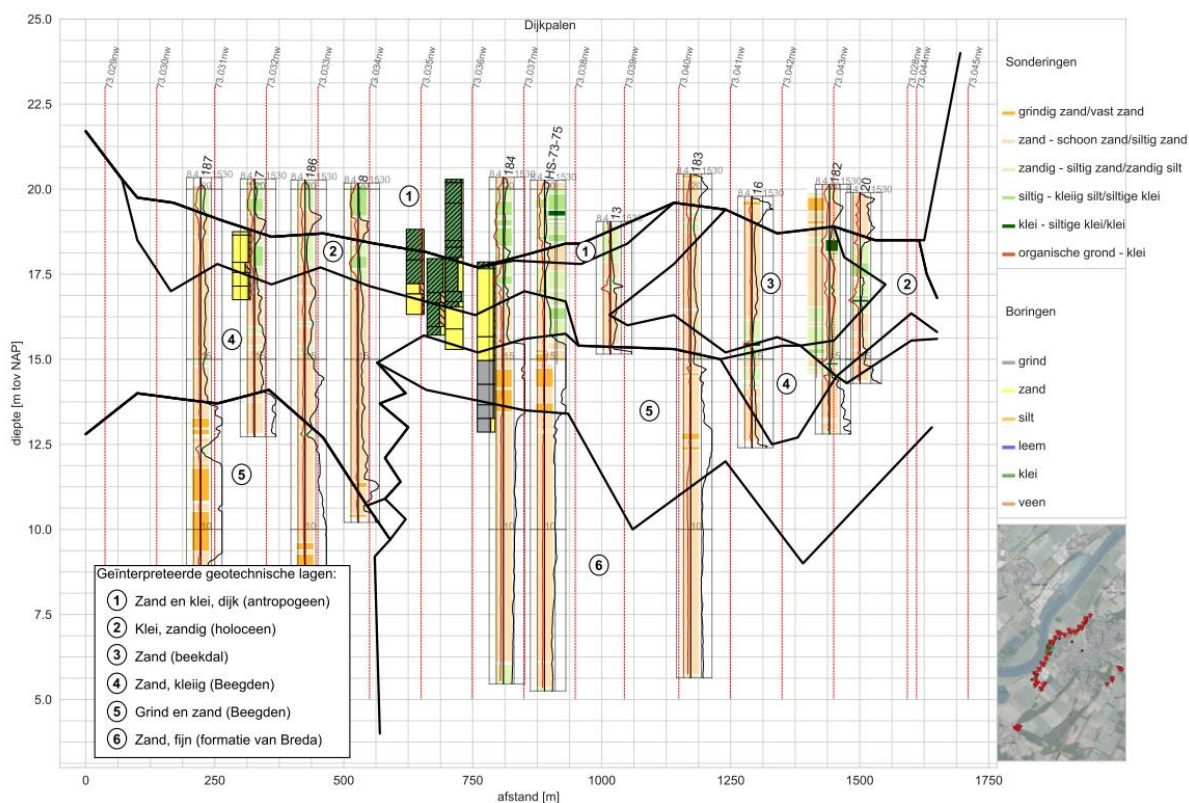
5.1.4 Beesel

De laagopbouw van Beesel is weergegeven in figuur 15 en bijlage 4, en de geologische lagen conform REGIS II zijn weergegeven in figuur 16. Het maaiveld is gelegen rond NAP +18 à +19 m. Daaronder bevindt zich tot NAP +16 à +17 m een Holocene kleilaag. Onder deze laag bevinden zich tot circa NAP +13 à +15 m zandige kleilagen en kleiige zandlagen (Beegden klei) met daaronder een zandige grindlaag met een hoge conusweerstand (Beegden zand).

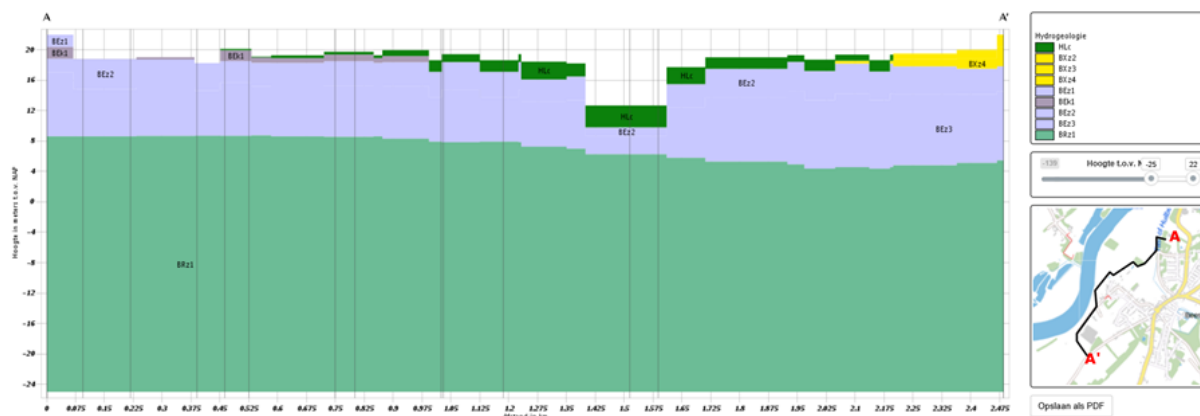
Vanaf dijkpaal 73.035 (en oplopend) kent de grindlaag een beperkte dikte van enkele meters waaronder een fijne zandlaag aanwezig is (formatie van Breda). De verkende diepte is tot circa NAP +6 m.

Vanaf dijkpaal 73.039 (en oplopend) is er sprake van beekdalafzettingen.

Afwijkend is het grondonderzoek rond 73.034 aangezien daar de grindlaag dieper is gelegen op circa NAP +11 m.



Figuur 15: Indicatieve grondopbouw ter plaatse van de kruin van traject Beesel.



Figuur 16: Verticale doorsnede REGIS II v 2.2 te Beesel.

5.1.5 Buggenum

De laagopbouw van Buggenum is weergegeven in figuur 17 en bijlage 5, en de geologische lagen conform REGIS II zijn weergegeven in figuur 18. Het maaiveld varieert van NAP +17 tot NAP +23 m.

Voor beschrijving van de grondopbouw dient het gebied opgeknipt te worden in een viertal secties.

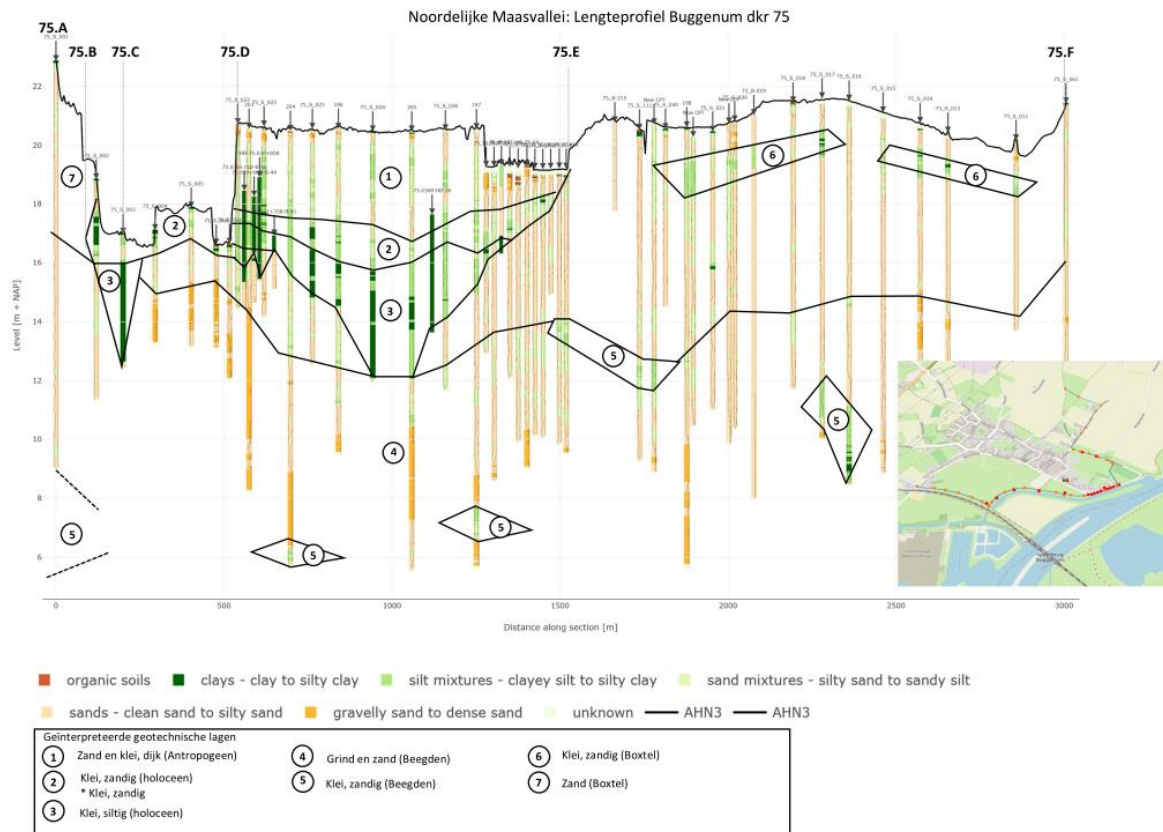
Nabij de Berikstraat (dijkpaal 75.A) bestaat de ondergrond uit Bostel zand.

Tussen dijkpalen 75.B en 75.D (parallel aan spoordijk) bestaat de bovenste paar meter uit Holocene kleilagen. Uitzondering is dijkpaal 75.C waar de kleilaag tot NAP +13 m loopt (oude geul, gevuld met

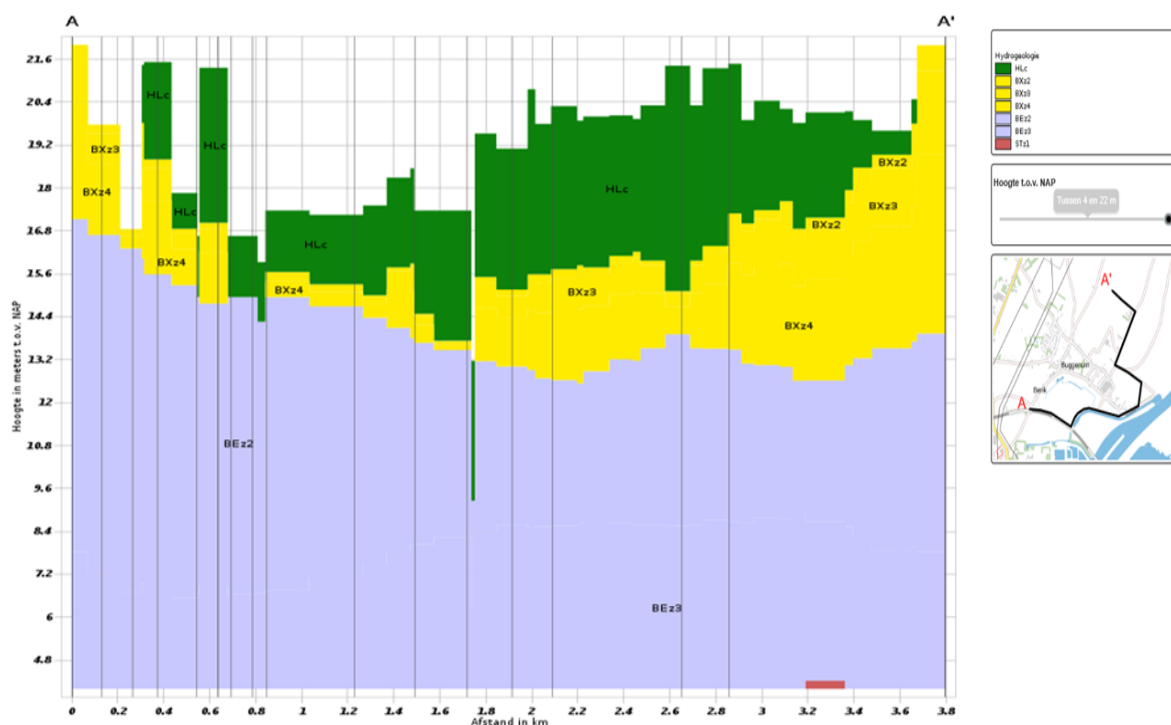
Holocene klei). Onder de kleilagen bevindt zich Beegden zand. Ter plaatse van de spoordijk is het maaiveld hoger gelegen en deze grond bestaat uit afwisselt zand, grind en kleilagen.

Tussen dijkpalen 75.D en 75.E zijn kleilagen aangetroffen tot maximaal NAP +12 m. De dieper gelegen kleilagen betreffen dezelfde klei als in de opgevulde geul bij dijkpaal 75.C. Daaronder bevindt zich het Beegden zand.

Tussen 75.E en 75.F bestaat de ondergrond voornamelijk uit Boxtel zand met ondiep gelegen leemlagen (Boxtel klei). Het Beegden zand is gelegen op NAP +10 á +16 m.



Figuur 17: Indicatieve grondopbouw ter plaatse van de kruin van traject Buggenum.



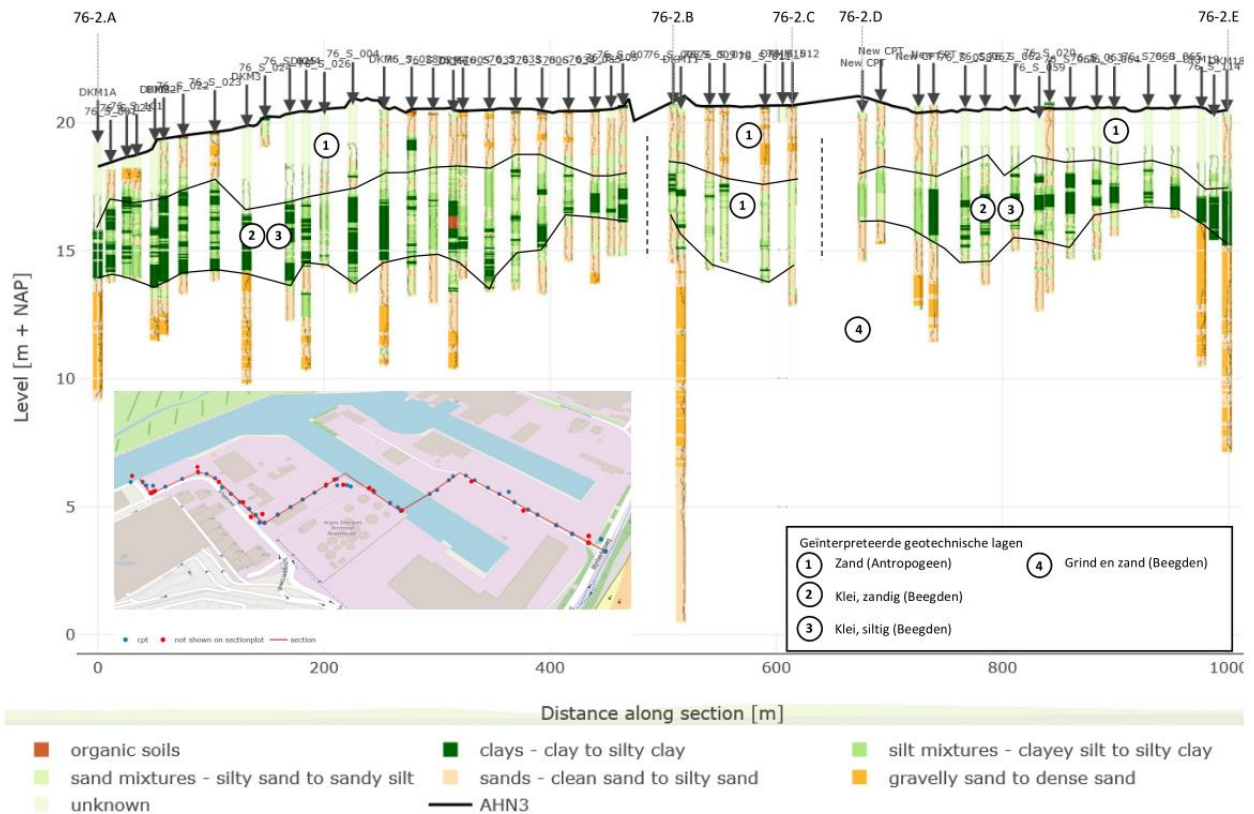
Figuur 18: Verticale doorsnede REGIS II v 2.2 te Buggenum.

5.1.6 Roermond Willem Alexanderhaven

De laagopbouw van Roermond WAX is weergegeven in figuur 19 en bijlage 6, en de geologische lagen conform REGIS II zijn weergegeven in figuur 20. Het maaiveld varieert van NAP +18 tot NAP +21 m.

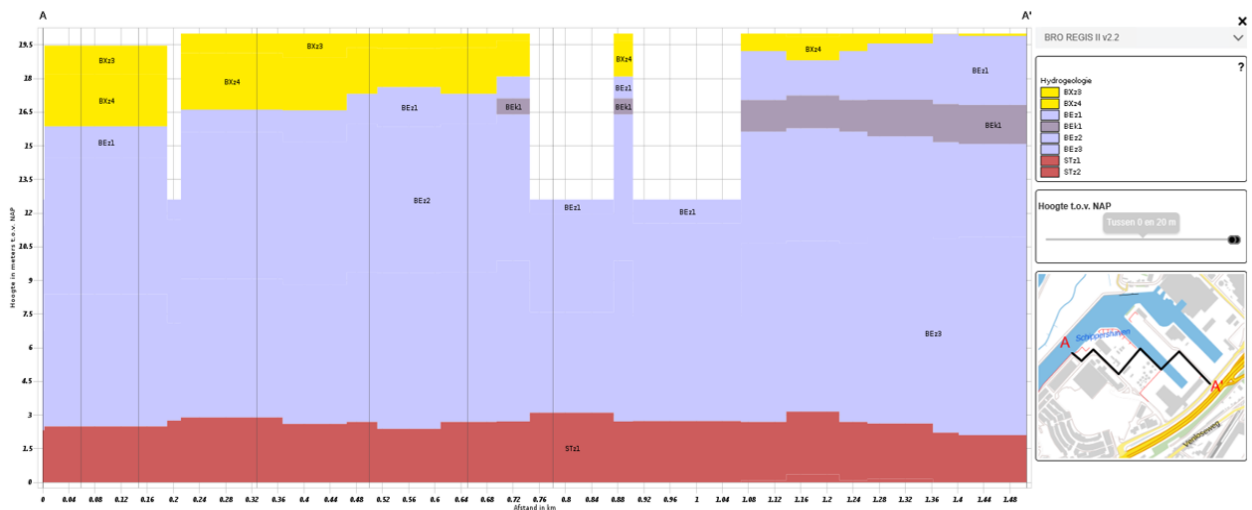
De bovenste paar meter bestaat uit opgebracht zand. Daaronder bevinden zich tussen NAP +18 en +14 m zandige en siltige kleilagen. Uitzondering is de ondergrond tussen dijpalen 76-2.B en 76-2.C waar de kleilaag afwezig is. Tussen deze dijpalen is losgepakt antropogeen zand aanwezig (net achter de kademuur). Beneden de kleilaag en het losgepakte zand en tot de verkende diepte van NAP +5 m bestaat de ondergrond uit Beegden zand en grind.

HWBP Noordelijke Maasvallei



Figuur 19: Indicatieve grondopbouw ter plaatse van het traject Roermond WAX

Verticale Doorsnede BRO REGIS II v2.2



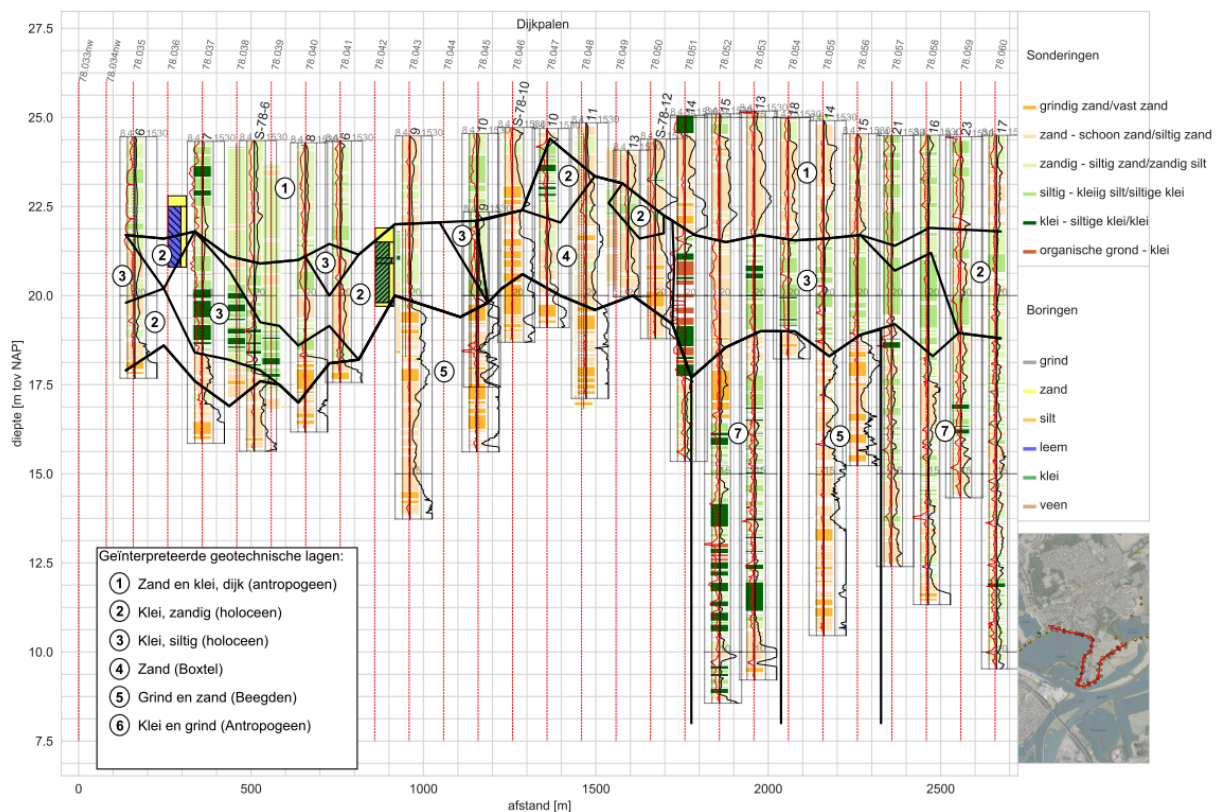
Figuur 20: Verticale doorsnede REGIS II v 2.2 te Roermond WAX

5.1.7 Heel

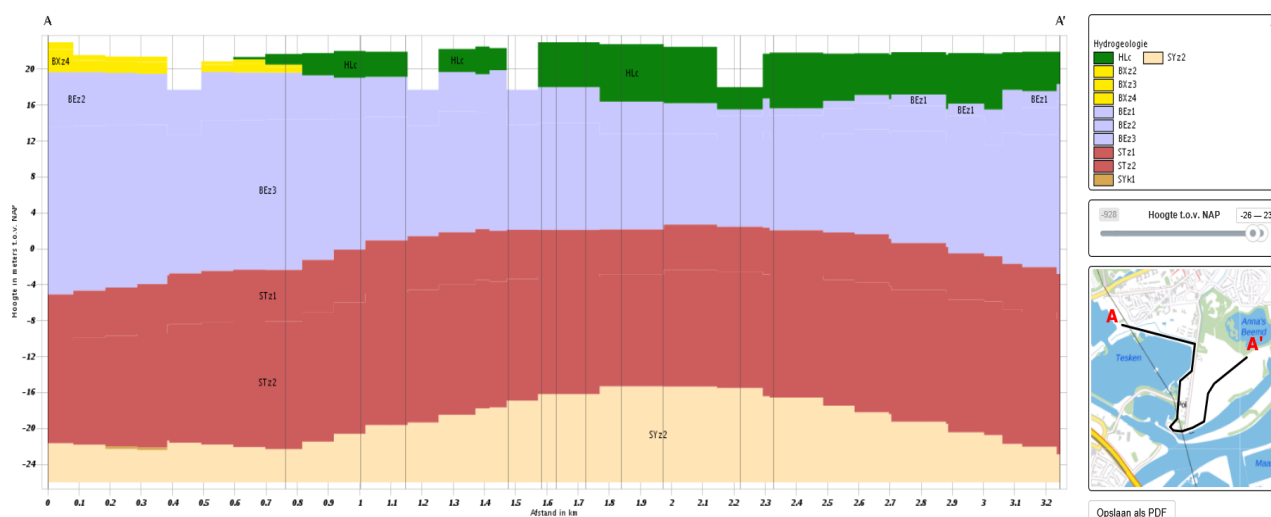
De laagopbouw van Heel is weergegeven in figuur 21 en bijlage 7, en de geologische lagen conform REGIS II zijn weergegeven in figuur 22. Het maaiveld is gelegen tussen NAP +22 m en NAP +23 m. In Heel bestaat de toplaag voornamelijk uit antropogene siltige klei en lokaal een toplaag bestaande uit

Boxtel zand. De siltige kleilagen zijn aangetroffen tot circa NAP +18 m met daaronder grind- en zandlagen (formatie van Beegden). Door de aanwezigheid van zeer harde grind- en zandlagen is het grondonderzoek uitgevoerd tot een beperkte diepte van circa NAP +16 m. Vanaf dijkpaal 78.051 is het grondonderzoek dieper uitgevoerd.

Afwijkende resultaten zijn aangetroffen nabij dijkpalen 78.051 tot en met 78.053 en vanaf 78.057 tot en met het einde van het beschouwde traject, namelijk 78.060. Deze locaties wijken af omdat daar de harde grind- en zandlagen afwezig zijn. Daar bevindt zich een zeer sterk afwisselend pakket aan dunne klei- en grindlagen, dit zijn antropogene grondlagen die zijn ontstaan door het opvullen van het oude grindgat.



Figuur 21: Indicatieve grondopbouw ter plaatse van traject Heel.



Figuur 22: Verticale doorsnede REGIS II v 2.2 te Heel

5.2 Beoordeling ongedraineerd of gedraineerd grondgedrag

Het grondgedrag in de Noordelijke Maasvallei is geanalyseerd door goed te kijken naar resultaten van de laboratoriumanalyses, bijvoorbeeld (de combinatie van) gedrag in triaxiaalproeven, plasticiteitsindex en volumegewicht. In veel gevallen wordt dilatant grondgedrag geconstateerd dat zich het best laat beschrijven met een gedraineerde grondparameter. En in sommige gevallen sluit het grondgedrag aan bij de SHANSEP theorie, oftewel ongedraineerd gedrag. Deze analyse wordt verder besproken in hoofdstuk 6.

Op basis van sonderingen met waterspanningsmeting kan ook inzicht in eventueel te verwachten ongedraineerd gedrag worden verkregen. De parameter hiervoor is de wateroverspanningsindex (B_q). Deze index neemt toe naarmate tijdens het sonderen meer wateroverspanning wordt gemeten met de conus (u_1 of u_2 , maakt niet uit) en heeft een directe relatie met de doorlatendheid van de grond. Hoe slechter doorlatend hoe hoger de wateroverspanningsindex. Een algemeen geaccepteerde vuistregel is dat bij $B_q > 0,1$ er een verwachting is van ongedraineerd gedrag. Dit is in een aantal sonderingen nagegaan binnen Heel, Beesel, Belfeld, Buggenum, Roermond en Nieuw-Bergen.

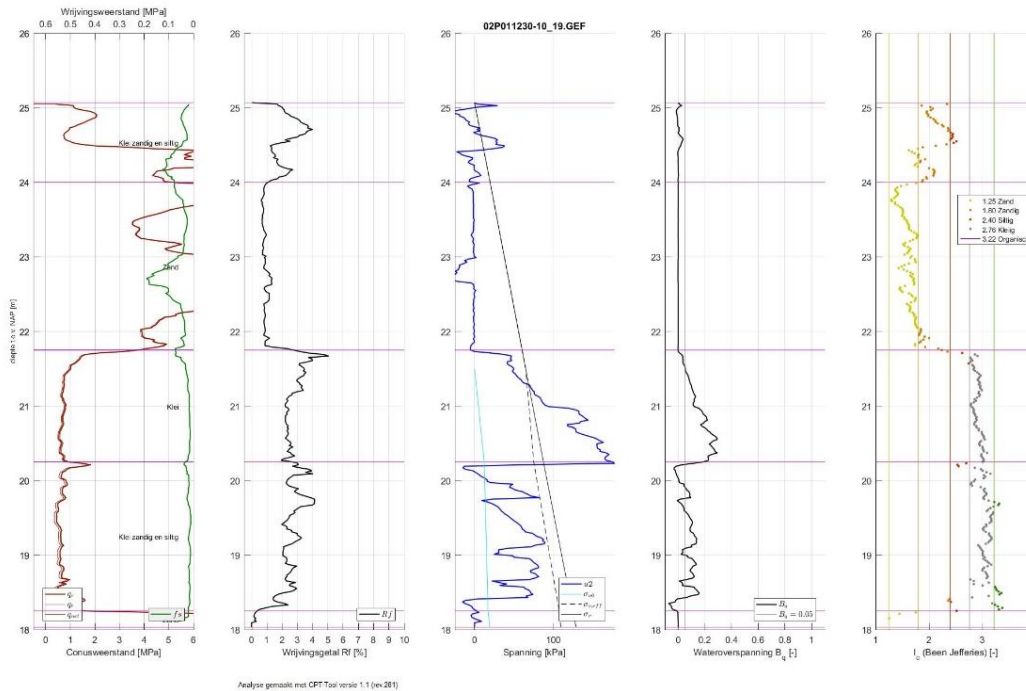
In Heel sondering 78_S 19 en Heel sondering 78_S 14 is sprake van mogelijk ongedraineerd gedrag ($B_q > 0,1$) onder de grondwaterstand, maar niet op dezelfde diepte. In die beide sonderingen is ook klei aanwezig die waarschijnlijk gedraineerd reageert. In veel van de andere sonderingen is er eigenlijk geen verwachting op ongedraineerd gedrag, terwijl lokaal wel klei aanwezig is zoals in Heel sondering 78_S 03. De geïnterpreteerde sondeergrafieken in figuur 23 tot en met figuur 25 illustreren dit.

In Beesel is soms wel sprake van een B_q die hoger is dan 0,1. Maar dat is in de dijk en wijst op een afwijking in meetresultaat door sonderen in zeer stijve en enigszins vochtige klei.

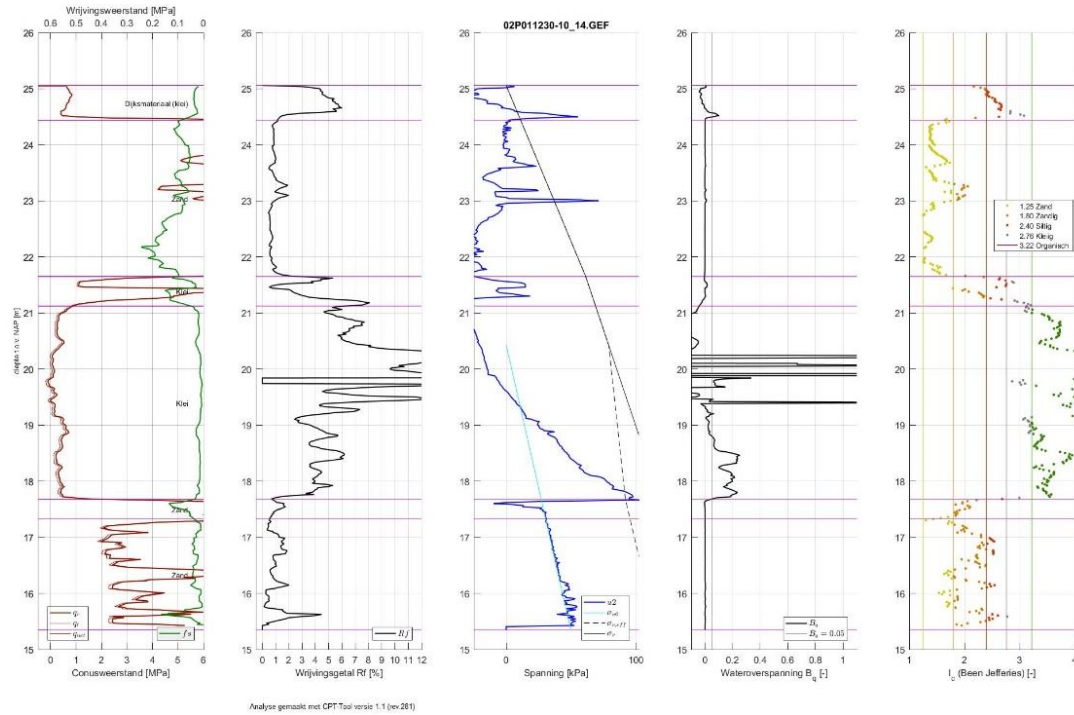
Gelet op de wateroverspanningsindex (B_q) reageert de Holocene siltige klei bij Buggenum tussen NAP +14,5 en 12,75 m overduidelijk ongedraineerd. Zie ook figuur 26.

Van de siltige Beegden klei bij Roermond reageert de bovenste helft gedraineerd en de onderste helft ongedraineerd. Zie ook figuur 27.

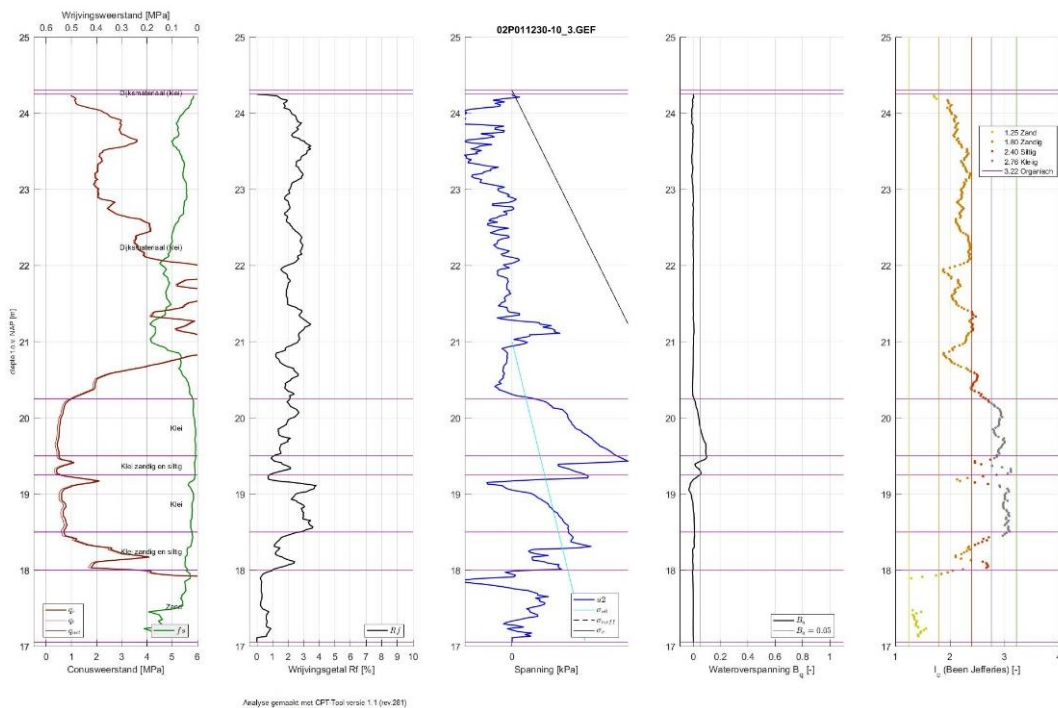
Aangezien er geen correlatie is tussen diepte en wateroverspanningsindex, is gezocht naar een andere indicatorparameter voor wel/niet ongedraineerd grondgedrag. Deze is gevonden in het stoofdroog volumegewicht. Wanneer het stoofdroog volumegewicht lager is dan 15 kN/m^3 wordt contractant grondgedrag waargenomen in triaxiaalproeven. Deze soort klei wordt in meerdere normtrajecten aangetroffen.



Figuur 23: Heel sondering 78_S 19, ongedraineerd gedrag tussen NAP +20,3 m en NAP +21 m

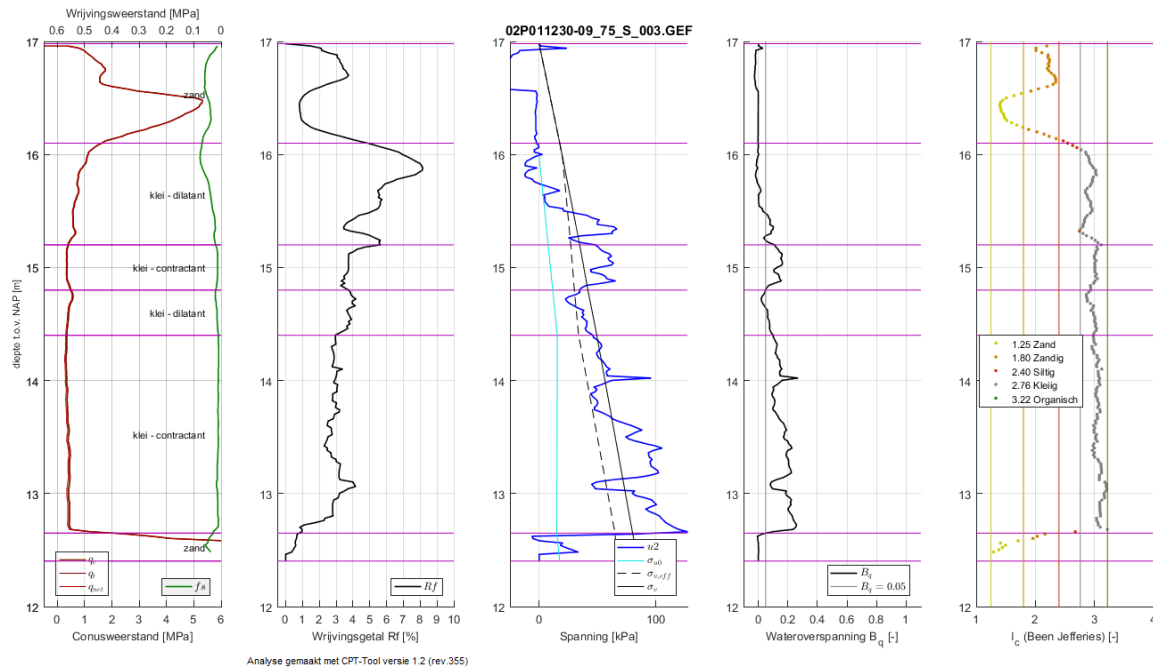


Figuur 24: Heel sondering 78_S 14, ongedraineerd gedrag tussen NAP +17,8 m en NAP +18,6 m, de grond lijkt geroerd (puin of grindhoudend) tussen NAP +19,5 m en NAP +21 m.

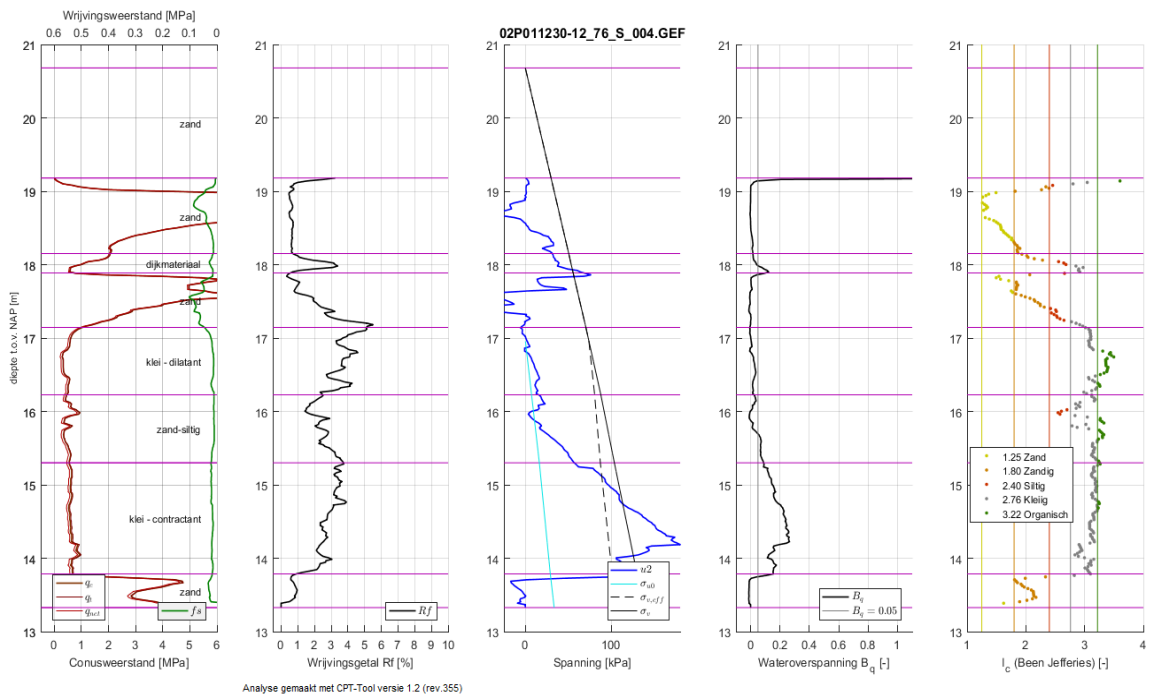


Figuur 25: Heel sondering 78_S 03, nauwelijks waterspanning tussen NAP +18,5 m en NAP +20,3 m terwijl wel klei aanwezig is.





Figuur 26: Buggenum sondering 75_S 003, ongedraineerd gedrag tussen NAP +14,5 m en NAP +12,75 m.



Figuur 27: Roermond sondering 76_S 004, bovenste helft van Beegden kleilaag reageert gedraineerd en de onderste helft ongedraineerd.

6 Bepaling sterkte- en stijfheidsparameters

In het laboratoriumonderzoek zijn voornamelijk kleimonsters beproefd, daarom zijn enkel de kleisoorten benoemd. Op basis van het veldonderzoek en de beschouwde tracés zijn de volgende grondsoorten beschouwd:

- Klei, dijks (blauwe punten in de grafieken);
- Klei, siltig - Antropogeen (rode punten in de grafieken);
- Klei siltig - Holocene (groene punten in de grafieken);
- Klei, zandig (roze punten in de grafieken);
- Klei, siltig - Beegden (zwarte punten in de grafieken);
- Klei, zandig - Beegden (paarse punten in de grafieken).

NB. De andere lagen die benoemd zijn in het uitgangspuntenrapport ([ref. 17]) zijn niet nader onderzocht.

De karakteristieke waarden van de sterkteparameters kunnen bepaald worden aan de hand van een proevenverzameling. Door middel van een statistische bewerking volgt daaruit een karakteristieke waarde die correspondeert met een 5% ondergrens. In de statistische benadering wordt ervan uitgegaan, dat de parameters normaal verdeeld zijn. De volgende formule is toegepast:

$$X_{gem;kar} = \mu_x - t_{n-1} \cdot \sigma_x \cdot \sqrt{(1 - \alpha) + \frac{1}{N}} \quad [\text{Ref. 20}]$$

Waarin:

$X_{gem;kar}$	=	Karakteristieke waarde van het gemiddelde van een steekproef	[x]
μ_x	=	Gemiddelde waarde van de steekproef	[x]
σ_x	=	Standaardafwijking ten opzichte van het gemiddelde	[x]
t_{n-1}	=	Student t-factor, die hoort bij de 5% karakteristieke ondergrenswaarde en het aantal 'vrijheidsgraden' (n-1)	[-]
α	=	Verhouding tussen de lokale en regionale variatie ($\alpha = 0.75$)	[-]
N	=	Aantal waarnemingen	

Voor bepaling van de stijfheidsparameters zijn de gemiddelde waarden bepaald uit de proevenverzameling.

Voor het traject Roermond Willem Alexanderhaven is een damwand voorzien. Voor dit traject zijn daarom aanvullend op de critical state (en SHANSEP) parameters de Mohr-Coulomb sterkte- en stijfheidsparameters afgeleid uit NEN9997 en CUR166. De waarden zijn afgeleid op basis van de beschrijving van de lagen en de bijbehorende classificatieparameters (volumiek gewicht). Dit is verder beschreven in paragraaf 6.7.



6.1 Classificatie

Op basis van de eerdere genoemde grondlagen zijn de resultaten van de classificatieproeven beschouwd en zijn de laboratoriumresultaten geclusterd. Onderscheid wordt gemaakt tussen zandige klei en siltige klei op basis van het stoofdroog volumegewicht van 15 kN/m^3 . Boven de 15 kN/m^3 is sprake van zandige klei en onder 15 kN/m^3 is sprake van siltige klei. De andere classificatieproeven en triaxiaalproeven bevestigen dit onderscheid.

Uit de resultaten kan geconcludeerd worden dat klei_{dijks} en klei_{zandig} in de ondergrond gelijkenissen vertonen. Het is goed mogelijk dat de dijken uit de toplaag, bestaande uit zandige klei, zijn opgebouwd.

In tabel 11 is per grondsoort het verzadigd gewicht, watergehalte, plasticiteitsindex, gloeiverlies en specifieke dichtheid gegeven. Geconcludeerd wordt dat, behalve het volumiek gewicht, geen verder onderscheid in de grondlagen gemaakt kan worden op basis van fysische parameters. De geologie is derhalve bepaald en benut om de laagindeling te verfijnen.

In figuur 28 tot en met figuur 32 zijn de grafieken gegeven met de resultaten van de classificatieproeven per laag.

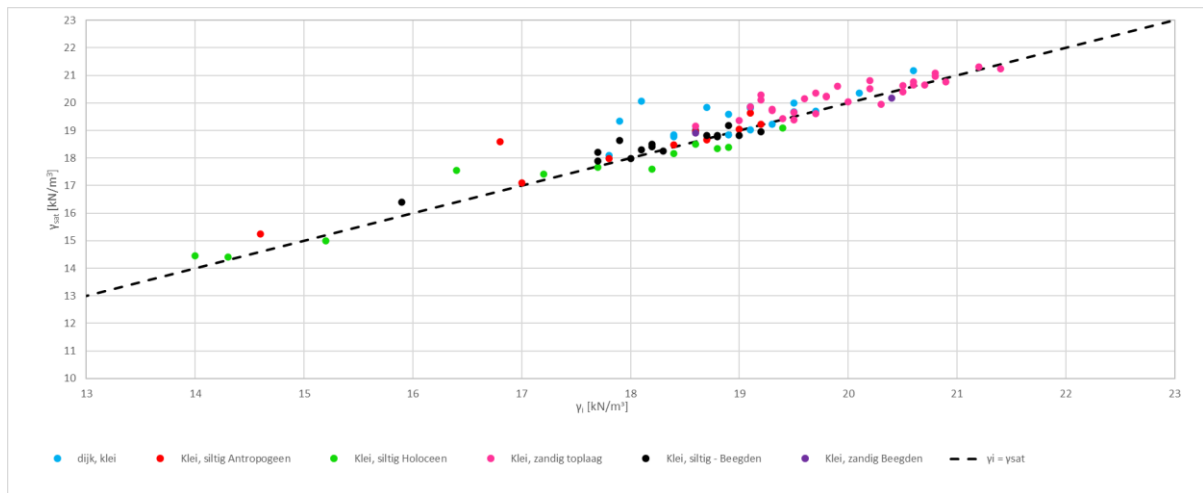
Tabel 11: Geotechnische parameters op basis van classificatieproeven (gemiddelde waarden)

Grondsoort [-]	$\gamma_i / \gamma_{\text{sat}}$ [kN/m ³]	γ_{dr} [kN/m ³]	w [%]	PI [%]	LOI [%]	γ_s [kg/m ³]
Klei, dijks	18,8 / 19,5	15,7	20		2	2476
Klei, siltig - Antropogeen	17,9 / 18,3	13,6	33		3	2528
Klei siltig - Holoceen	17,2 / 17,2	12,9	37		2	-
Klei, zandig	17,9 / 20,3	16,6	19		1	2616
Klei, siltig - Beegden	18,4 / 18,4	14,1	31		3	-
Klei, zandig - Beegden	19,6 / 19,6	15,8	25		2	-

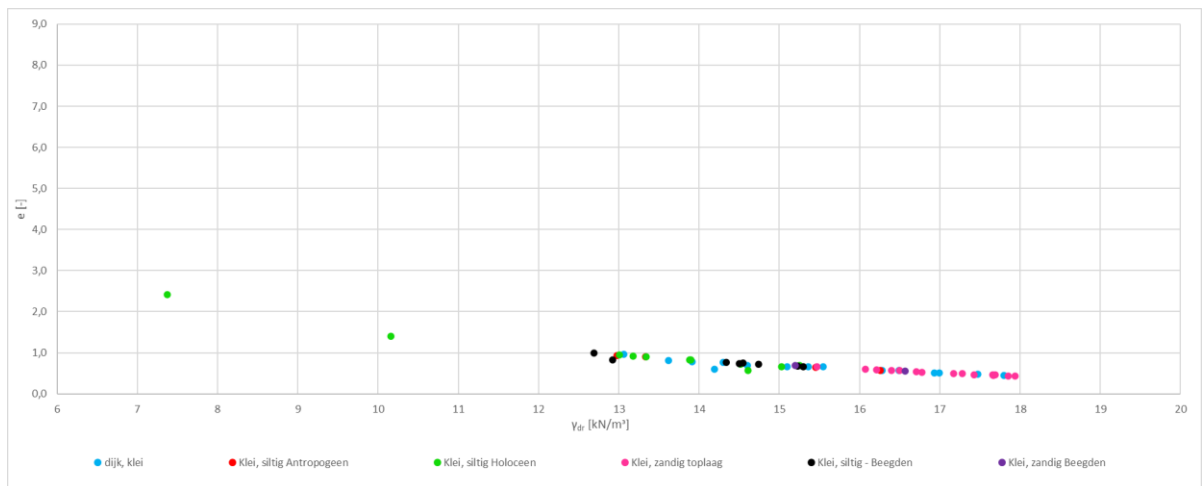
$\gamma_i / \gamma_{\text{sat}}$ volumiek gewicht in situ/verzadigd [kN/m³];
 γ_{dr} volumiek gewicht droog [kN/m³];
 w watergehalte [%];
 PI plasticiteitsindex [-];
 LOI gloeiverlies [%];
 γ_s specifieke dichtheid [kg/m³].



HWBP Noordelijke Maasvallei

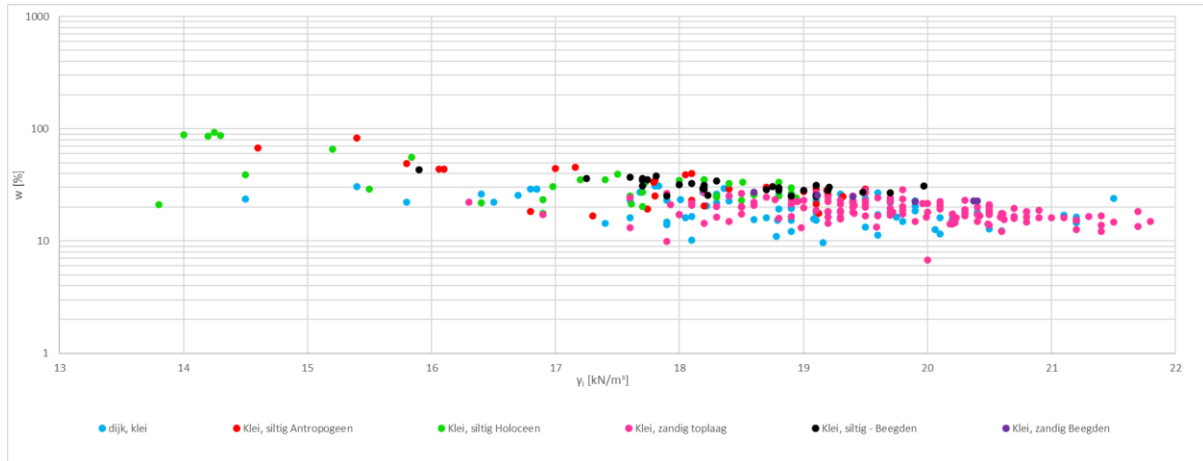


Figuur 28: Verzadigd volumiek gewicht in verhouding tot in situ volumiek gewicht



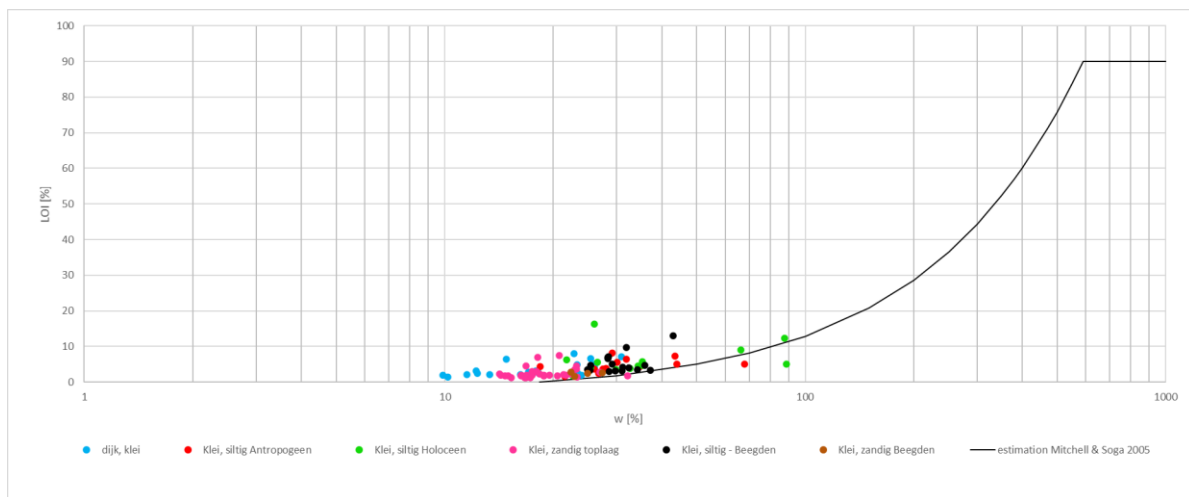
Figuur 29: Droog volumiek gewicht in relatie tot het poriëngetal





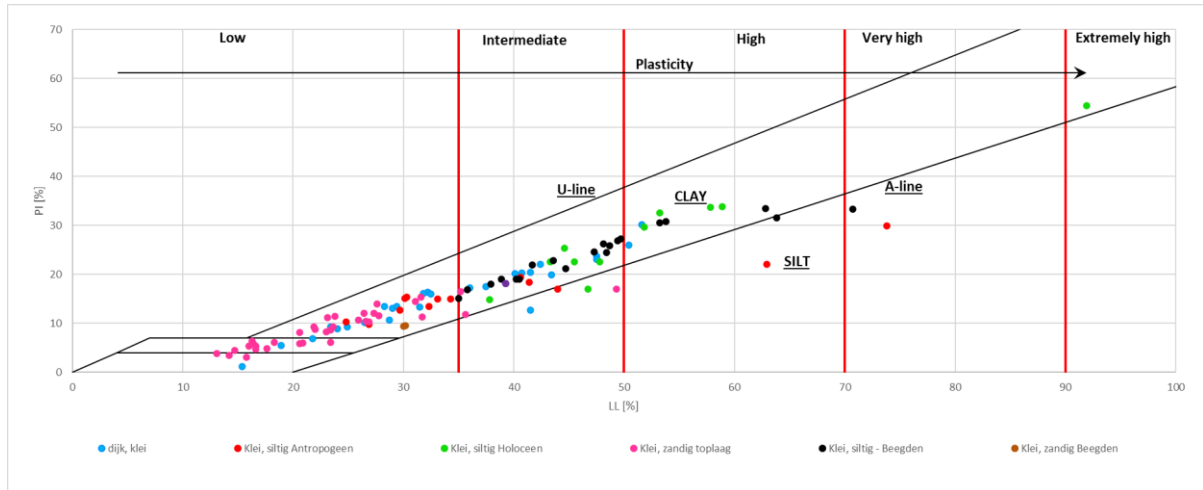
Figuur 30: Resultaten watergehalte in relatie tot het in situ volumiek gewicht

Uit figuur 30 de figuur komt naar voren dat de Beegden klei (die zich boven in bandbreedte bevindt) tijdens bemonstering gemiddeld natter was dan de andere kleien. Dit effect berust op toeval en heeft te maken met seizoensinvloeden.



Figuur 31: Resultaten gloeiverlies in relatie tot het watergehalte





Figuur 32: Resultaten plasticiteit van de kleisoorten

6.2 Normaal geconsolideerde ongedraineerde schuifsterkte ratio (S)

Voor de kleilagen is door middel van triaxiaalproeven de normaal geconsolideerde ongedraineerde schuifsterkte ratio bepaald, oftewel S-ratio.

De triaxiaalproeven zijn 1-traps geconsolideerd anisotroop ongedraineerd uitgevoerd, oftewel CAU. Op basis van de grensspanning uit de samendrukkingsproeven is per monster de consolidatiespanning bepaald.

Voor het inzetten van de monsters in de triaxiaalproeven is de grensspanning uit de samendrukkingsproeven gebruikt om de K_0 waarden te bepalen. Voor de normaal geconsolideerde proeven ($OCR = 1$) is een K_0 -waarde vastgesteld van 0,45 [-]. De consolidatiespanning is ingesteld als 3 keer de grensspanning, om zeker te zijn dat de proeven normaal geconsolideerd zijn.

De S-ratio is bepaald bij een axiale rek van 25% (grote rekken), wat overeenkomt met Critical State. De formule uit hoofdstuk 4 is herschreven voor het bepalen van de S-ratio:

$$S = S_u / (\sigma'_{vc} \cdot OCR^m)$$

Voor normaal geconsolideerde proeven geldt dat de formule herschreven kan worden tot:

$$S = S_u / \sigma'_{vc}$$

Hierin is:

S	=	Normaal geconsolideerde ongedraineerde schuifsterkte ratio	[-]
S_u	=	Ongedraineerde schuifsterkte	[kPa]
σ'_{vc}	=	Consolidatie spanning	[kPa]

De consolidatiespanning bij triaxiaalproeven is bepaald conform de volgende formule:

$$\sigma'_{vc} = s'_{c,eind} + t_{c,eind}$$

Hierin is:

σ'_{vc}	=	Consolidatiespanning	[kPa]
$s'_{c,eind}$	=	Eindwaarde van het gemiddeld van de hoofdspansingen	[kPa]

$t_{c,eind}$ = Eindwaarde van de halve deviatorspanning [kPa]

Uit de parameterbepaling kan geconcludeerd worden dat tijdens het bepalen van de S-ratio voor klei_{zandig} en klei_{dijks} bij meerdere proeven een S-ratio is verkregen die groter is dan 0,5. Verklaring is de zandige bijmenging en het dilatante gedrag van het materiaal. Dit leidt tot wateronderspanningen en daarmee een irreëel hoge S-ratio. De benadering volgens het SHANSEP-model is voor deze lagen niet van toepassing.

De voor siltige kleilaag bepaalde S-ratio waarden zijn in tabel 12 weergegeven.

De proefresultaten plus statistiek zijn bijgevoegd in bijlage 8. Het resultaat van de parameterbepaling is weergegeven in tabel 12.

Tabel 12: Berekende S-ratio's

Grondlaag [-]	Aantal proeven ¹ [-]	S _{gemiddeld} [-]	S _{karacteristiek} [-]
Klei, siltig - Antropogeen	3	0,30	0,24
Klei, siltig - Holocene	4	0,30	0,22
Klei, siltig - Beegden	3	0,31	0,25

¹ bruikbare proeven, zie bijlage.

6.3 Pre overburden pressure (POP)

Ten behoeve van het bepalen van de ongedraineerde schuifsterkte van de klei siltige laag is de karakteristieke POP-waarde bepaald. Ten behoeve van bepaling van de zettingsparameters is de gemiddelde POP-waarde bepaald voor alle kleiige lagen

Op basis van de diepte van het monster, de berekende volumieke gewichten per laag uit de vorige paragraaf en de grondwaterstand is de in situ korrelspanning bepaald. Uit de samendrukkingsproeven is de grensspanning afgeleid.

Voor elk monster is op basis de korrelspanning en de grensspanning de POP-waarde bepaald, zoals weergegeven in onderstaande formule:

$$POP = \sigma'_{vy} - \sigma'_{vi}$$

Waarin:

POP = Pre-overburden pressure [kPa]
 σ'_{vy} = Effectieve grensspanning [kPa]
 σ'_{vi} = Effectieve verticale in situ spanning [kPa]

Voor bepaling van de POP-waarde is onderscheid gemaakt in boringen die naast en onder de dijk zijn uitgevoerd. In de individuele resultaten is uitgegaan van een minimale POP-waarde van 5 kPa. Uit de analyse blijkt dat de karakteristieke waarde naast de dijk lager is dan onder de kruin.

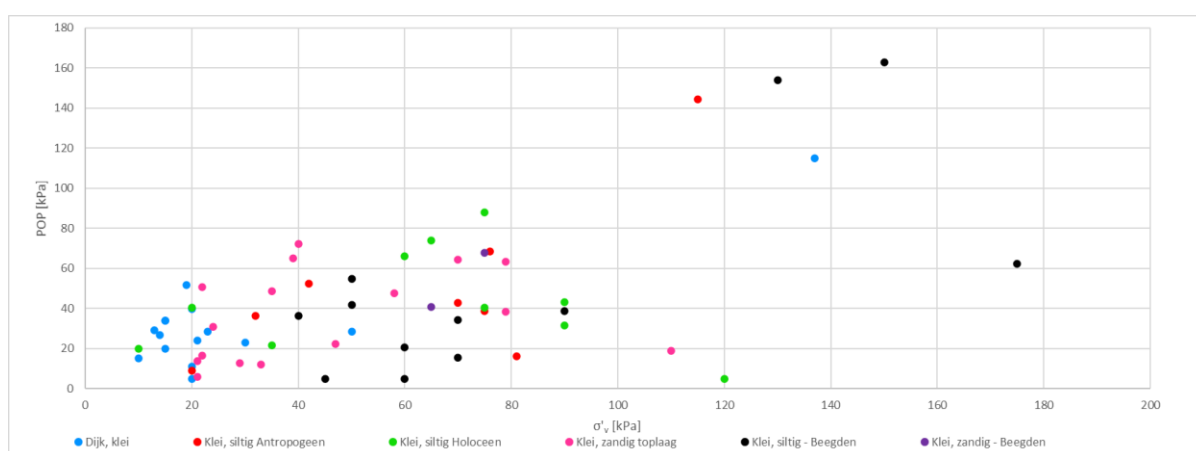
In figuur 33 is de POP weergegeven ten opzichte van de effectieve verticale spanning. De proefresultaten plus statistiek zijn bijgevoegd in bijlage 9. Gekozen is om de resultaten met een effectieve verticale in situ spanning >100 kPa niet in de statistiek mee te nemen. Hiervoor is gekozen



omdat de bijbehorende de POP-waarden veel spreiding kennen en daardoor een sterke en onrealistische invloed hebben op de gemiddelde en karakteristieke POP-waarde.

Vanwege de beperkte aantallen en de (bijna altijd aanwezige en zo ook nu geconstateerde) grote spreiding, is het niet mogelijk om van alle individuele lagen een plausibele karakteristieke waarde te bepalen. Er is daarom gezocht naar een manier om toch een voor berekeningen bruikbare karakteristieke waarde af te leiden. Aangezien de gemiddelde waardes onder de dijk en naast de dijk per laag vergelijkbaar zijn, binnen zekere grenzen, de monsters onder de dijk geclusterd en naast de dijk ook. Hieruit volgt zowel onder de dijk als naast de dijk een bruikbare waarde, die in lijn ligt met de verwachting uit de schematiseringshandleiding macrostabiliteit **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden..**

Het resultaat van de parameter bepaling is weergegeven in tabel 13.



Figuur 33: Resultaten POP-waarden in verhouding tot de bepaalde effectieve verticale spanning (proeven onder kruin en naast de dijk samen gevoegd per grondlaag)

Tabel 13: Resultaten POP-waarden

Grondlaag [-]	onder de dijk			naast de dijk		
	N [-]	POP gemiddeld [-]	POP karakteristiek [-]	N [-]	POP gemiddeld [-]	POP karakteristiek [-]
Klei, dijks	15	33	n.v.t.1	0	n.v.t.2	n.v.t.2
Klei, zandig	9		n.v.t.1	7	24	n.v.t.1
Klei, zandig - Beegden	0		n.v.t.1	2		n.v.t.1
Klei, siltig - Antropogeen	4		18	3		12
Klei siltig - Holoceen	6			3		
Klei, siltig - Beegden	0			9		

N = aantal proeven;

n.v.t. 1 POP- karakteristiek enkel bepaald voor ongedraineerde lagen. POP-gemiddeld alleen voor zetting relevant.

n.v.t. 2 Klei, dijks bevindt zich niet naast de dijk

6.4 Sterkte toename exponent m

De sterkte toename exponent (m) bepaalt de mate waarin de ongedraineerde schuifsterkte van de grond gevoelig is voor veranderingen in de effectieve spanning als gevolg van veranderingen in de waterspanning.

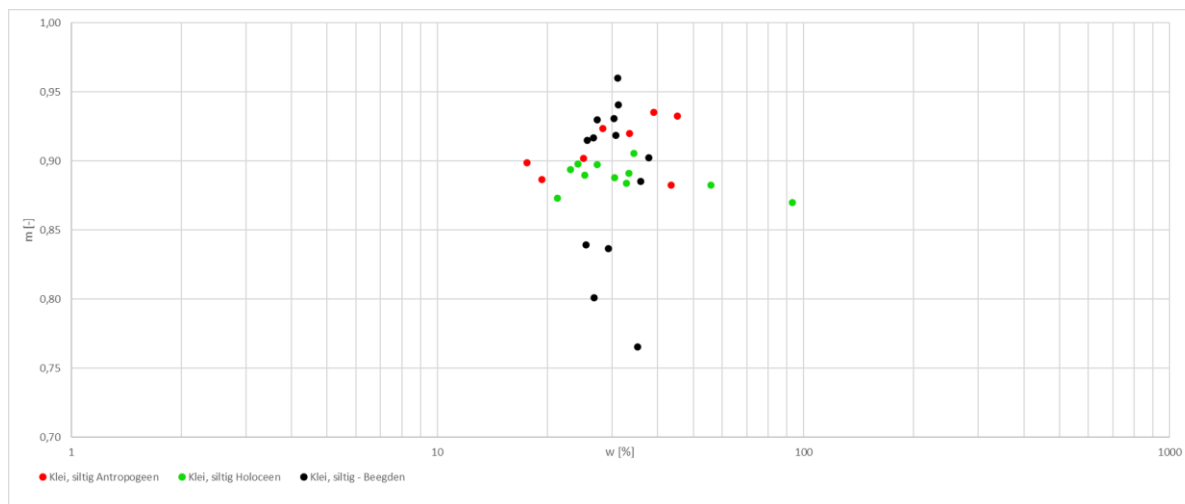
Ten behoeve van het bepalen van de ongedraineerde schuifsterkte van de klei_{siltig} is de waarde van m bepaald uit de isotachen parameters A en B, welke zijn bepaald door middel van samendrukkingsproeven. Een waarde van 0,8 (dimensieloos) wordt als gangbare ondergrenswaarde beschouwd binnen het WBI. In deze parameterbepaling is de volgende formule toegepast voor het bepalen van de sterkte toename exponent m :

$$m = \frac{b - a}{b}$$

Hierin is:

m	=	Sterkte toename exponent	[-]
a	=	Isotache parameter a, (ontlast/herbelast)	[-]
b	=	Isotache parameter b (maagdelijke belasting)	[-]

In figuur 34 is exponent m weergegeven ten opzichte van het watergehalte. De proefresultaten plus statistiek zijn bijgevoegd in bijlage 10. Het resultaat van de parameter bepaling is weergegeven in tabel 14.



Figuur 34: Sterkte exponent m in verhouding tot watergehalte

Tabel 14: Berekende sterkte exponent m

Grondlaag [-]	m gemiddeld [-]	m karakteristiek [-]
Klei, siltig - Antropogeen	0,91	0,89
Klei, siltig - Holocéen	0,89	0,88
Klei, siltig - Beegden	0,89	0,83

6.5 Hoek van inwendige wrijving (φ'_{eind})

6.5.1 Cohesieve lagen

Aangezien klei_{dijks} en klei_{zandig} dilatant reageren, dient gerekend te worden met de hoek van inwendige wrijving bij eindrek (φ'_{eind}) in plaats van de ongedraineerde schuifsterkteratio. Voor klei_{zandig} is de hoek van inwendige wrijving bepaald op basis van de resultaten van de triaxiaalproeven.

De hoek van inwendige wrijving is bepaald conform de volgende formule:

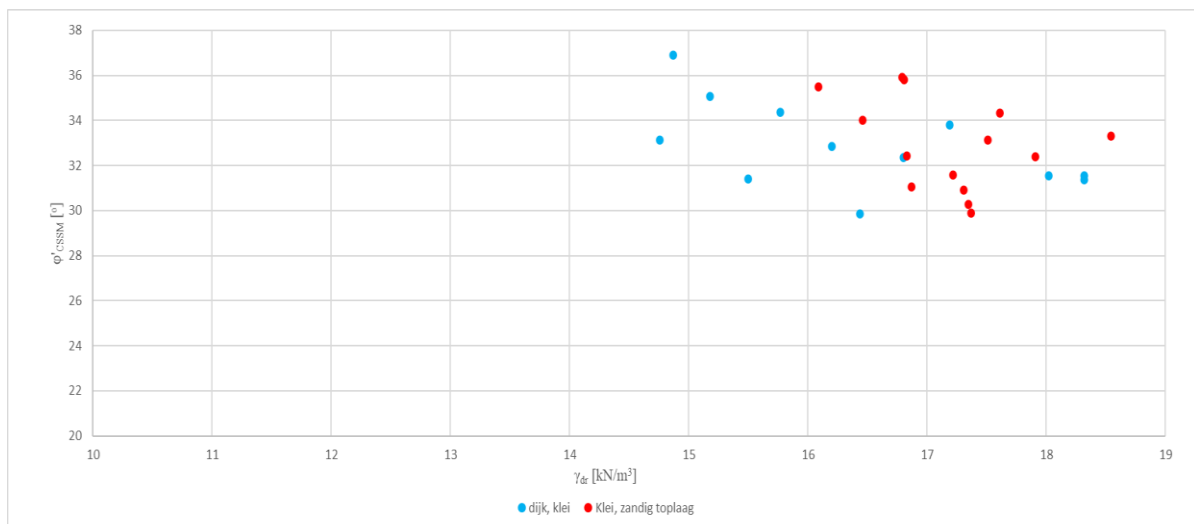
$$\varphi'_{\text{eind}} = \arcsin\left(\frac{t_{\text{eind}}}{s'_{\text{eind}}}\right)$$

Hierin is:

φ'_{eind}	=	Hoek van inwendige wrijving	[°]
s'_{eind}	=	Eindwaarde van het gemiddeld van de hoofdspansingen	[kPa]
t_{eind}	=	Eindwaarde van de halve deviatorspanning	[kPa]

In figuur 35 is het droge volumieke gewicht weergegeven in verhouding tot de bepaalde hoek van inwendige wrijving. De proefresultaten plus statistiek zijn bijgevoegd in bijlage 11. In tabel 15 is de hoek van inwendige wrijving weergegeven.

De interne wrijvingshoek voor zowel klei_{zandig} en klei_{dijks} zijn gelijk aan elkaar. Dit resultaat is gelijk aan de eerdere conclusie die getrokken was bij de classificatieproeven, namelijk dat de grondlagen veel gelijkenissen vertonen. Indien gekozen wordt om de resultaten samengevoegd worden volgt daaruit een statistische hogere waarde voor de interne wrijvingshoek (31,1°). Op basis van engineering judgement is gekozen om uit te gaan van de karakteristieke waarde van de afzonderlijke grondsoorten.



Figuur 35: Droog volumiek gewicht in verband met hoek van inwendige wrijving



Tabel 15: Bepaalde interne wrijvingshoek

Grondlaag [-]	aantal proeven [-]	ϕ' gemiddeld [°]	ϕ' karakteristiek [°]
Klei, dijks	12	32,8	31,0
Klei, zandig - toplaag	16	32,9	30,8
Klei, zandig - Beegden	1	35,4	-
Totaal, klei		32,9	30,8*

*statistisch kan deze waarde hoger worden gekozen. Zie ook begeleidende tekst in de paragraaf.

ϕ' = hoek van inwendige wrijving, critical state waarde

6.5.2 Grindhoudend zand

In bijlage 15 is de sterkteparameter ϕ van het grindhoudende zand (formatie van Beegden) bij eindrek (ϕ'_{cs}) en bij kleine rekken (ϕ' en c') bepaald. De reden waarom dit onderzoek op grindhoudend zand wordt uitgevoerd is dat 1) de schematiseringshandleiding macrostabiliteit **Fout!** **Verwijzingsbron niet gevonden.** geen defaultwaarde geeft voor grindhoudend zand en 2) de verwachting is dat aanscherping van dijkontwerpen mogelijk is.

Een duidelijke piek is te zien bij 5% rek en dit komt overeen met de verwachting vooraf dat een dergelijke piek bestaat bij enkele procenten rek. Belangrijker is dat de karakteristieke ϕ -waarde in critical state met $\phi'_{csm} = 31,8^\circ$ duidelijk lager is dan verwacht op basis van de schematiseringshandleiding macrostabiliteit. De verklaring lijkt de bolle korrelvorm te zijn, maar om dit met zekerheid te kunnen stellen zijn ook triaxiaalproeven nodig op zand met een andere vorm dan nu beproefd.

Tabel 16: Bepaalde interne wrijvingshoek

Grondlaag [-]	ϕ' gemiddeld [°]	ϕ' karakteristiek [°]
Grindhoudend zand	33,4	31,8

6.6 Zettingsparameters

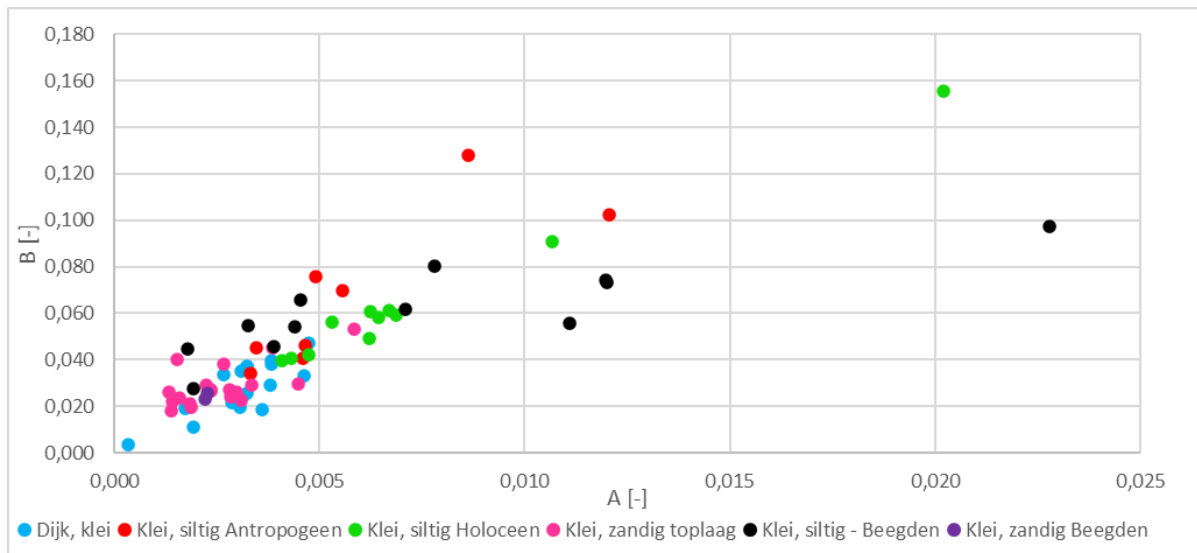
Voor de bepaling van de zettingsparameters wordt verwezen naar bijlage 12. In tabel 17 zijn de zettingsparameters gegeven.



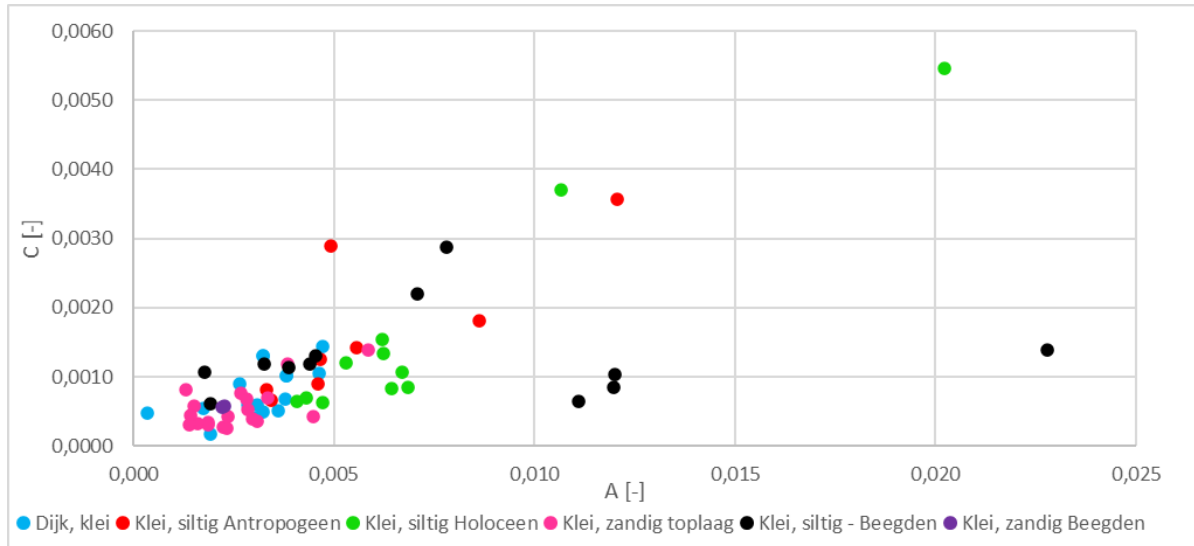
Tabel 17: Bepaalde zettingsparameters

Grondlaag [-]	A [-]	B [-]	C [-]	c_v [m/s]
Dijksmateriaal. klei	0,0031	0,028	0,0008	5,3E-07
Antropogeen - siltig	0,0059	0,068	0,0017	6,1E-07
Holoceen - siltig	0,0074	0,065	0,0016	1,8E-07
Holoceen - zandig	0,0026	0,029	0,0006	5,7E-07
Beegden - siltig	0,0077	0,061	0,0013	2,1E-07
Beegden - zandig ¹	0,0022	0,024	0,0006	8,7E-07

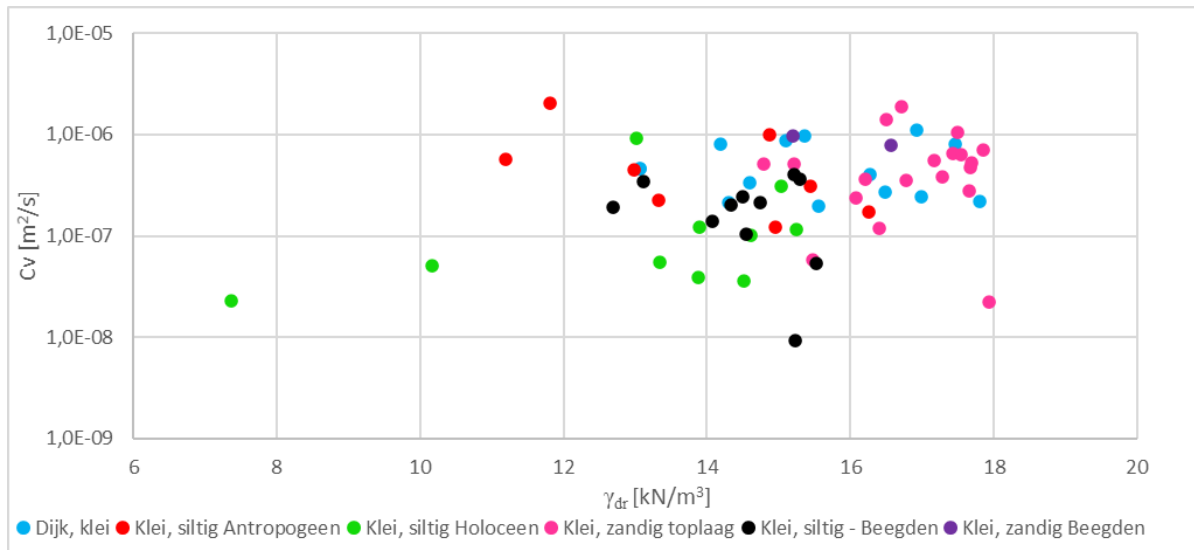
A, B, C = isotachen zettingsparameters
 c_v = consolidatiecoëfficiënt
¹ gebaseerd op 2 proeven



Figuur 36: Resultaten zettingsparameter A in relatie tot zettingsparameter B



Figuur 37: Resultaten zettingsparameter A in relatie tot zettingsparameter C



Figuur 38: Resultaten stoofdroog volumegewicht in relatie tot de consolidatiecoëfficiënt

6.7 Sterkte- en stijfheidsparameters Roermond Willem Alexanderhaven

Voor het traject Roermond Willem Alexanderhaven is een damwand voorzien. Voor dit traject zijn daarom aanvullend op de critical state (en SHANSEP) parameters de Mohr-Coulomb sterkte- en stijfheidsparameters afgeleid uit NEN9997 en CUR166. De waarden zijn afgeleid op basis van de beschrijving van de lagen en de bijbehorende classificatieparameters (o.a. volumiek gewicht). De parameters zijn weergegeven in tabel 18.

Tabel 18: Bepaalde sterkte- en stijfheidsparameters Roermond Willem Alexanderhaven

Grondlaag [-]	γ_i / γ_{sat} [kN/m³]	ϕ' [°]	c' [kPa]	δ [°]	k1/k2/k3 [MN/m³]
Zand - Antropogeen	17 / 19	30,0	0	20,0	12/6/3
Klei, siltig - Beegden	18,4 / 18,4	22,5	5	11,25	4/2/0,8
Klei, zandig - Beegden	19,6 / 19,6	27,5	0	13,7	4/2/0,8
Grind en zand - Beegden	18,5 / 20,5 ¹	32,5	0	21,67	40/20/10

¹ op basis van bijlage 15 en tabel 24

γ_i / γ_{sat} : volumiek gewicht in situ/verzadigd [kN/m³];
 c' : effectieve cohesie;
 ϕ' : effectieve wrijvingshoek;
 δ : wandwrijvingshoek tussen damwand en grond;
 $k_1 / k_2 / k_3$: horizontale beddingsconstante bij spanningverhoging (secans-waarde).

6.8 Erosiebestendigheid

Voor de trajecten Steyl, Beesel, Buggenum en Heel is onderzoek gedaan naar de kwaliteit van de kleibekleding van de bestaande dijk. De monsters die beproefd zijn, zijn aan de buitenzijde (riverskant) van de dijk gelegen.

De locaties van de monsternamen zijn weergegeven in figuur 39 tot en met figuur 42. De bepaling van de kwaliteit is overgenomen uit de grondonderzoeksrapporten en bijgevoegd en samengevat in bijlage 13.

De kleibekleding in Steyl vallen in verschillende klassen. Het aantal proeven is beperkt. Bepalend voor bepaling van de kleikwaliteit zijn de gemeten Atterbergse grenzen en die hangen samen met de aanwezige zandfractie en de plasticiteit van het materiaal.

Uit het onderzoek volgt dat de kleibekleding in Beesel in klasse 2 en klasse 3 ingedeeld kan worden. Het aantal proeven is beperkt.

De kleibekleding van de dijk in Buggenum vallen allen in klasse 3, maar het aantal proeven is beperkt.

De kleibekleding van de dijk in Heel vallen allen in klasse 3. Een uitzondering is 1 monster (klasse 2) welke is gelegen in een dijk die wordt verwijderd (zie en figuur 41).





Figuur 39: overzicht locaties monsters kleikwaliteit Steyl



Figuur 40: overzicht locaties monsters kleikwaliteit Beesel



Figuur 41: overzicht locaties monsters kleikwaliteit Buggenum



Figuur 42: overzicht locaties monsters kleikwaliteit Heel

7 Bepaling piping parameters

Onder piping parameters vallen de volgende gegevens:

1. De d_{70} van de pipinggevoelige laag (zandgrofheid).
2. De k-waarde van het watervoerend pakket (doorlatendheid).

7.1 Geologische indeling van de zandlagen

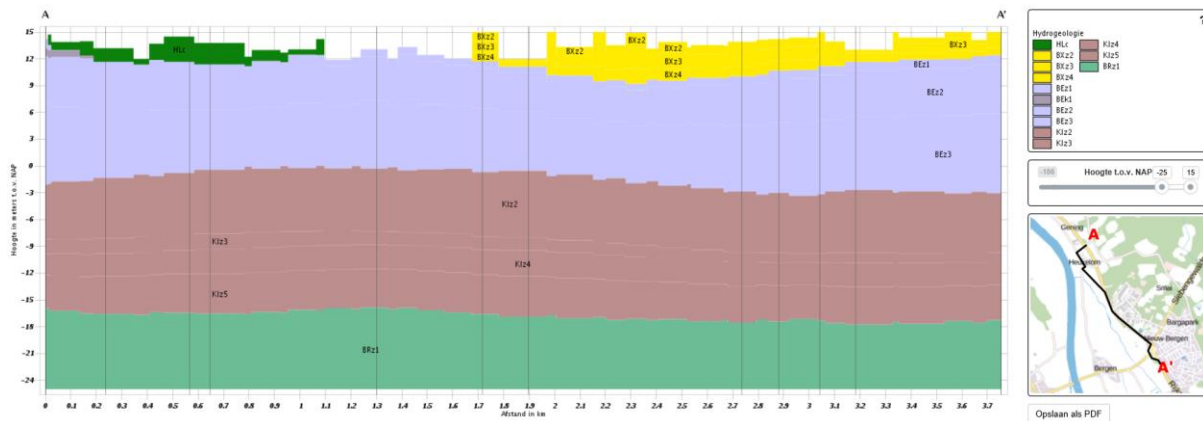
Bij het analyseren van de zeefcurves zijn alle monsters met een silt percentage groter dan 25% buiten beschouwing gelaten. Deze monsters zijn namelijk niet representatief voor de zandige laag maar eerder voor kleiige tussenlagen. De gemiddelde d_{70} van de zandfractie is per locatie bepaald voor de aanwezige lagen. De laagindeling is gemaakt met behulp van REGIS II en het Rapport - onderbouwing piping parameters. Voor de geologische opbouw vanaf maaiveld zoals vastgesteld in het genoemde rapport, zie tabel 19.

Tabel 19: Geologische opbouw volgens Rapport – onderbouwing piping parameters

Normtraject	Laagdikte Holocene [m]	Laagdikte Boxtel [m]	Laagdikte Beegden [m]
Nieuw Bergen	1,25	1,25	10 - 15
Steyl	afwezig	2,5	10
Belfeld	afwezig	afwezig	7,5
Beesel	afwezig	afwezig	15
Buggenum	2,5	afwezig	7,5 à 15
Roermond WAX	0 à 2,5	0 à 2,5	15
Heel	0 - 5	afwezig	15

Bij Nieuw Bergen is er onderscheid gemaakt tussen de Holocene zandlaag, de formatie van Beegden en de formatie van Boxtel. Waar deze formaties geografisch gezien aangetroffen kunnen worden is te zien in figuur 43. Noordelijk ligt een Holocene zandlaag direct onder maaiveld en meer zuidelijk is Boxtel aanwezig. Onder zowel het Holocene zandpakket als het Boxtel zandpakket ligt Beegden.





Figuur 43: Verticale doorsnede REGIS II v 2.2 te Nieuw Bergen

Ter plaatse van het normtraject Steyl Maashoek is door de beperkte lengte van het traject een 1D Regis schematisatie geanalyseerd (Figuur 44). Vanaf het oppervlak is de formatie van Bostel aanwezig tot een diepte van 13 m+NAP. Deze formatie bestaat voornamelijk uit zandige lagen. Tussen 13 m+NAP en 3 m+NAP is de formatie van Beegden aanwezig dat bestaat uit zowel zand als grindlagen. De eerste afsluitende laag is onderdeel van de Keizeloöliet dat op 3 m+NAP begint.

Appelboor BRO REGIS II v2.2

Coördinaten: 206018, 371510 (RD)
Maaiveld: 17.51 m t.o.v. NAP
Hoogte t.o.v. NAP: -290.16 m - 17.51 m
Geselecteerde hoogte: 0.10 m - 17.51 m

Hoogte t.o.v. NAP in meters

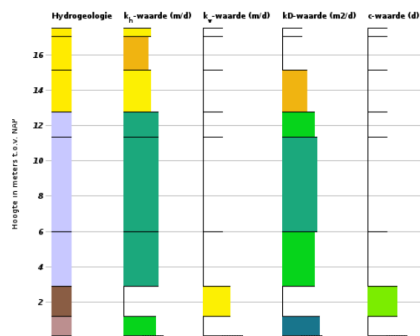
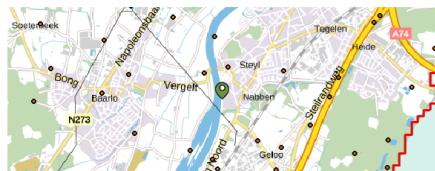
Tussen 0.1 en 17.51 m

Opslaan profiel

NAP

Kies een ander model

BRO REGIS II v2.2



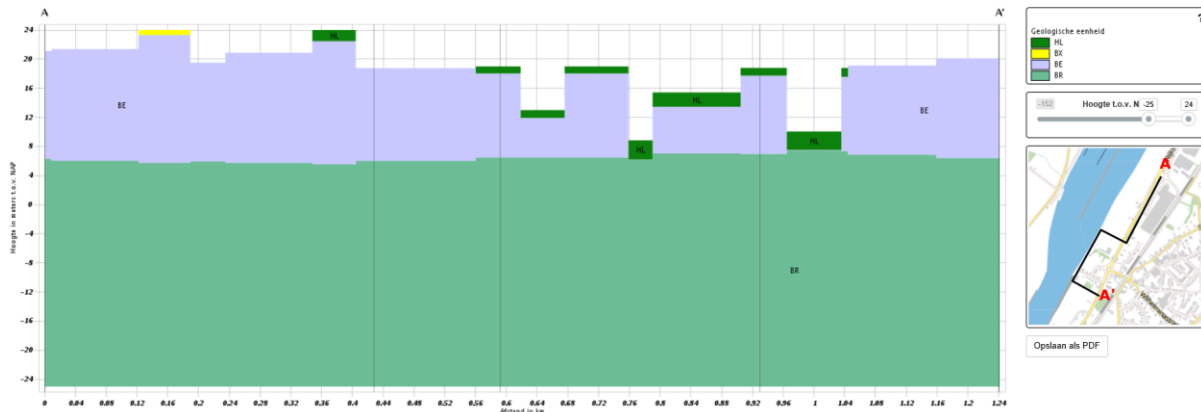
Hydrogeologie

Hydrogeologie

Figuur 44: REGIS II 1D v2.2 doorsnede van Steyl Maashoek

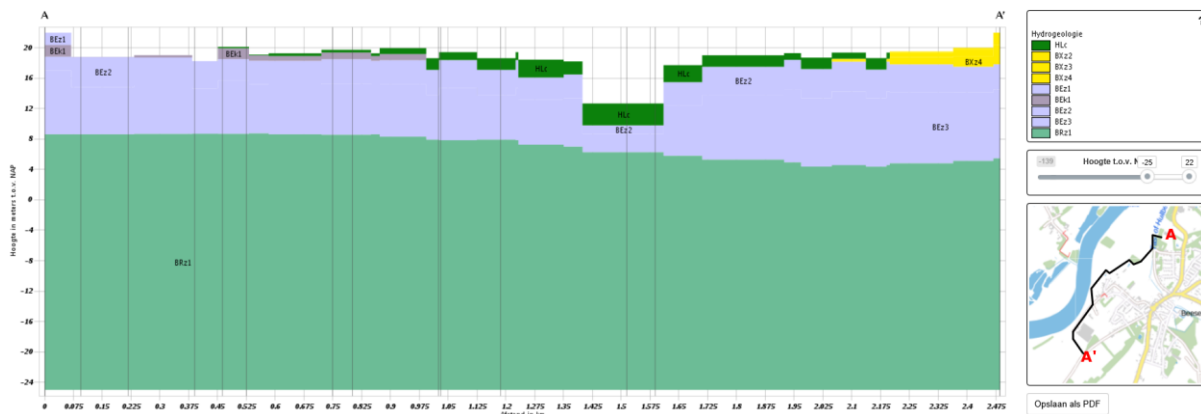
Bij Belfeld is eigenlijk alleen Beegden zand aanwezig met sporadisch Holocene afzettingen dicht bij het maaiveld. Dit is duidelijk te zien in figuur 45. Aangezien deze Holocene afzettingen zo verspreid zijn is lastig te bepalen welke monsters precies binnen deze laag vallen. Hier komt nog eens bij dat de Holocene laag niet is waargenomen in het Rapport - onderbouwing piping parameters. De meest logische aanpak is om aan te nemen dat het Holocene pakket tot een diepte van NAP +16 m aanwezig is en dat daaronder het Beegden zand begint. Vervolgens kan nog gecorrigeerd worden door monsters boven NAP +16 m toch in te delen bij het Beegden zand als daar de nodige argumentatie voor geleverd kan worden. Bijvoorbeeld als de d_{70} een stuk grover is dan bij de rest van de Holocene laag.

HWBP Noordelijke Maasvallei



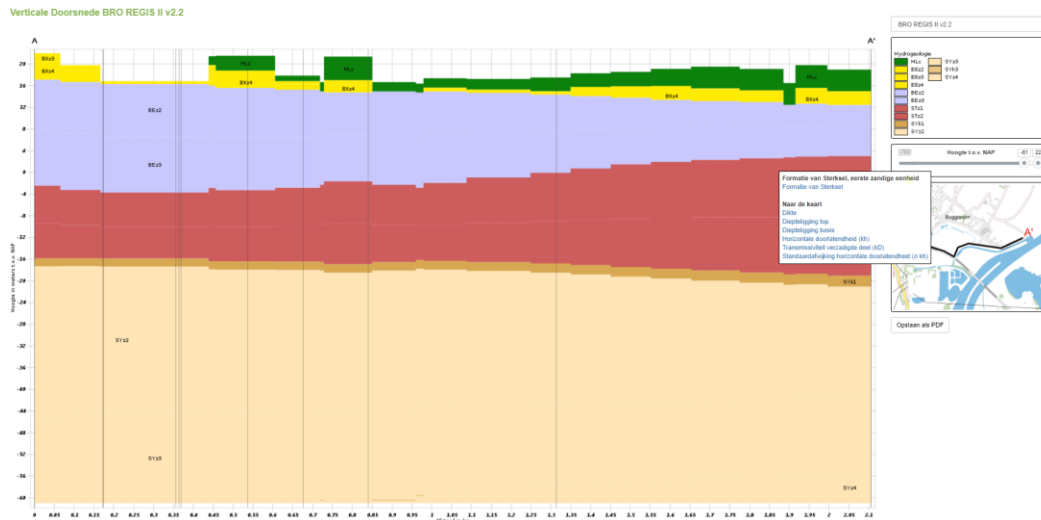
Figuur 45: Verticale doorsnede REGIS II v 2.2 te Belfeld

Bij Beesel is de Holocene laag sterker aanwezig dan bij Belfeld, zie figuur 46. Ondanks dat deze ook niet genoemd is in het Rapport - onderbouwing piping parameters zal deze laag wel meegenomen worden. In het noorden van het traject ligt Beegden direct aan maaiveld. Hier stroomt ook een klein riviertje die mogelijk een bepaalde afzetting heeft veroorzaakt. In het zuiden van het traject ligt ook Boxtel aan het maaiveld. Er zijn echter te weinig boringen in deze laag beschikbaar om deze laag apart te beschouwen.



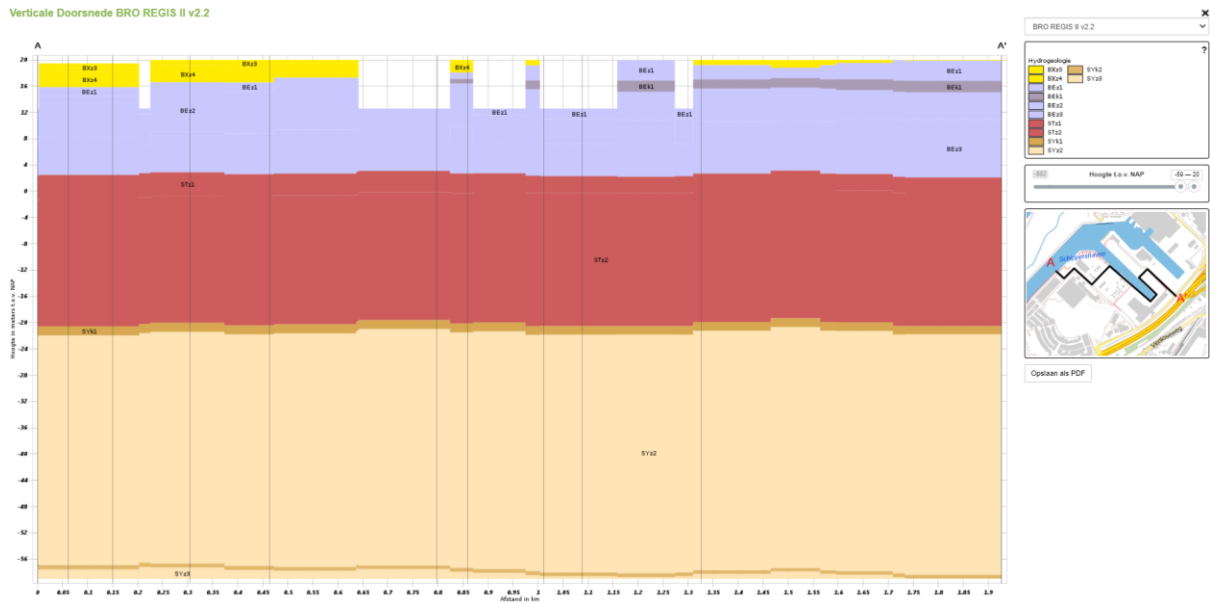
Figuur 46: Verticale doorsnede REGIS II v 2.2 te Beesel

Bij Buggenum wordt een variatie in laagdiktes van de formaties waargenomen tussen de rivier en de hoge gronden (Figuur 47). Ter plaatse van de hoge gronden in het westen (links in de doorsnede) ligt de formatie van Boxtel aan het oppervlak, en ligt de grens met de Beegdenformatie op ~16 m+NAP. Richting de Maas in het oosten neemt deze grens tussen de formaties geleidelijk af naar ~12 m+NAP. De dikte van de Boxtel boven op de Beegdenformatie varieert of dit grensvlak met een dikte tussen 0 en 4 meter. De Holocene laag neemt richting de rivier toe in dikte tot circa 4 meter. Door de sterke variatie in dikte van zowel de Holocene als de Boxtel formatie is een de verwachting dat de lagen moeilijk te onderscheiden zijn. Echter, kleiige deklagen kunnen als Holocene formatie worden beschouwd.



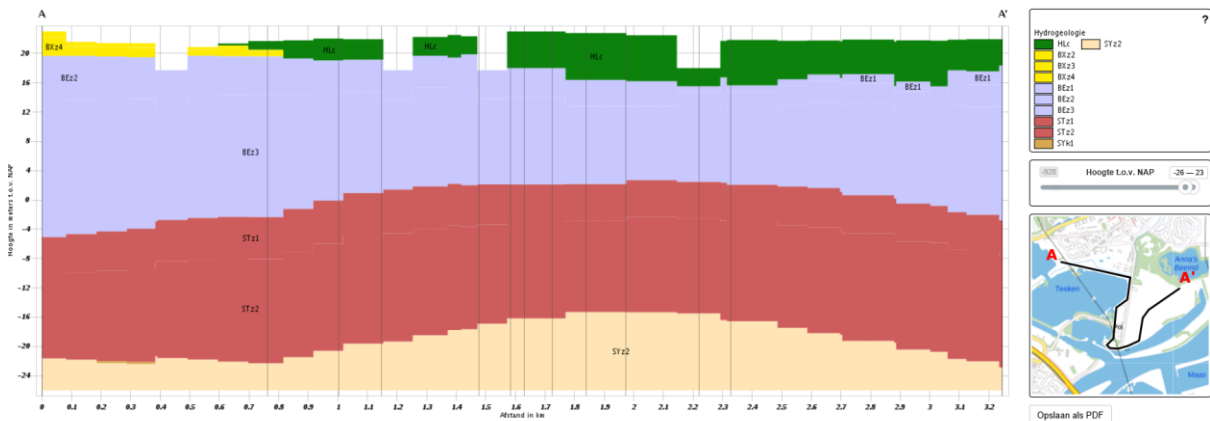
Figuur 47: REGIS II 2D v2.2 doorsnede van Buggenum

Bij het normtraject Roermond Alexanderhaven (Figuur 48) zijn de formaties van Bortel en Beegden aanwezig. Ook moet worden gesteld dat de toplaag van het gebied overal bestaat uit antropogene ophogingen door de aanwezigheid van het industrieterrein. Er wordt een variërende dikte van de Bortel formatie aangetroffen tussen 4 meter (tot 16 m+NAP) in het westen ter plaatse van de havenmonding en enkele decimeter in ter plaatse van de aansluiting op de hoge gronden in het oosten. De formatie is overwegend zandig. De onderliggende formatie van Beegden ligt consistent tot een diepte van ~3 m+NAP. De formatie bestaat voornamelijk uit lagen van zand en grind. Een aandachtspunt is de aanwezigheid van een kleiige laag van het midden van de haven richting het oosten. Deze laag bevindt zich op een diepte van circa 4 meter beneden maaiveld en heeft een dikte van 2 meter. Onder de formatie van Beegden is de formatie van Stramproy aanwezig. Binnen deze formatie worden een afsluitende laag waargenomen op een diepte van -20 m+NAP.



Figuur 48: REGIS II 2D v2.2 doorsnede van Roermond Alexanderhaven

Bij Heel ligt in het westen Boxtel dicht onder het maaiveld en in het oosten de Holocene laag, zie figuur 49. Ook hier zijn in de Boxtel laag te weinig monster beschikbaar om deze apart te beschouwen. Daarom is bij Heel alleen het Holocene zandpakket beschouwd als piping laag.



Figuur 49: Verticale doorsnede REGIS II v 2.2 te Heel

7.2 De d_{70} van het watervoerende lagen

7.2.1 Nieuw-Bergen, Belfeld, Beesel en Heel

Voor de lagen beschreven in paragraaf 7.1 zijn gemiddelde d_{70} waarden afgeleid. Deze zijn vervolgens vergeleken met het reeds uitgevoerde onderzoek, zie tabel 20. Van de gecombineerde data zal uiteindelijk een rekenwaarde per locatie voor de relevante lagen worden bepaald.

Tabel 20: Resultaten d_{70} [μm] vergeleken met Rapport – onderbouwing piping parameters [ref. 19]

Locatie	Bron	Holoceen	Boxtel	Beegden 1	Beegden 2
Nieuw Bergen	Huidige analyse	390	380	-	700
	Tabel 3 Rapport Piping	-	-	400	
Belfeld	Huidige analyse	290	-	400	-
	Tabel 3 Rapport Piping	-	-	410	-
Beesel	Huidige analyse	350	-	290	-
	Tabel 3 Rapport Piping	-	-	360	-
Heel	Huidige analyse	320	-	-	-
	Tabel 3 Rapport Piping	-	-	450	

Voor Nieuw Bergen is de meest logische aanpak om 390 μm te hanteren als verwachtingswaarde, aangezien de bovenste laag maatgevend is voor piping.

Voor het Beegden 1 pakket te Belfeld is het gemiddelde genomen van de twee resultaten aangezien deze erg dicht bij elkaar liggen. Dit levert een verwachtingswaarde van (afgerond naar beneden) 400 μm . De verwachtingswaarde voor het Holoceen pakket is 290 μm en volgt volledig uit de huidige analyse.

Te Beesel kan een verwachtingswaarde van 350 μm worden aangehouden, tenzij Beegden zand direct onder de deklaag aanwezig is. Dit is het geval in het Noorden van het traject, hier bevindt zich een beekdal waar een fijnere afzetting te vinden is. Voor de dijkdoorsneden die zich in het beekdal bevinden wordt een verwachtingswaarde van 290 μm aangeraden. De Beegden 1 formatie bij Beesel uit het piping rapport komt dan overeen met het Holoceen uit de huidige rapportage.

Bij Heel is er een fijnere zandlaag (320 μm) gevonden tussen het klei en de grovere ondergrond. Hier moet rekening mee gehouden worden in bodem schematisatie.

Karakteristieke waarden zijn bepaald met een 12% variatiecoëfficiënt, representatief voor rivierzand langs Rijn en de Waal, volgens onderstaande vergelijking:

$$d_{70;kar} = d_{70;gem} - t_{0,95} * (d_{70;gem} * 0,12) * \sqrt{0,25 + \frac{1}{N}}$$

Hierin is N het aantal monsters beschouwd in de analyse en $t_{0,95}$ de t-verdeling met 5% onderschrijdskans voor N-1 monsters.

In tabel 21 staan de karakteristieke waarden per locatie voor de relevante aanwezige grondlagen. In figuur 43 t/m figuur 49 staat aangegeven welke laag zich aan het oppervlak en dus direct onder de deklaag bevindt per locatie. Per door te rekenen doorsnede dient dus nagegaan te worden welk pakket op dat punt de pipinggevoelige laag is.



Tabel 21: Resultaten d_{70} verwachtingswaarde en karakteristieke waarde per locatie per laag

Locatie	Laag	Verwachtingswaarde d_{70} [μm]	Karakteristieke waarde d_{70} [μm]
Nieuw Bergen	Holoceen en Boxtel	390	350
Belfeld	Holoceen	290	250
	Beegden	400	340
Beesel	Holoceen	350	310
	Beegden in beekdal	290	250
Heel	Holoceen	320	280
	Beegden	450	400

7.2.2 Steyl, Buggenum en Roermond WAX

Op basis van nieuw laboratoriumonderzoek is voor de drie trajecten onderzocht wat de d_{70} waarde is uit de zeefproeven. Hiervoor zijn enkel de proeven geselecteerd van de lagen die direct onder de deklaag aanwezig zijn.

Voor Buggenum zijn 6 proeven beschikbaar die direct onder de deklaag aanwezig zijn. Door de variërende dieptes van de formaties Holoceen, Boxtel en Beegden langs het traject is ervoor gekozen om de monsters samen te voegen voor tot één verzameling. De mogelijkheden om wel dit onderscheid te maken zijn onderzocht, maar dit zal leiden tot een overschatting van de korrelgrootte.

Voor Roermond Alexanderhaven en Steyl is tevens getracht om een proevenverzameling op te stellen voor het zand direct onder de deklaag. Echter, door een zeer beperkte hoeveelheid beschikbare proeven is het niet mogelijk om statistisch hiervoor een rekenwaarde te bepalen. De verwachting is tevens dat géén rekenwaarden voor de d_{70} benodigd zullen zijn vanwege de toepassing van constructies als oplossing voor het waterveiligheidsprobleem. Indien alsnog berekeningen voor piping uitgevoerd dienen te worden wordt aanbevolen om uit te gaan van het Rapport onderbouwing piping parameters [ref. 19].

Voor Buggenum zijn de karakteristieke waarden zijn bepaald met een 12% variatiecoëfficiënt, representatief voor rivierzand langs Rijn en de Waal, volgens onderstaande vergelijking:

$$d_{70;kar} = d_{70;gem} - t_{0,95} * (d_{70;gem} * 0,12) * \sqrt{0,25 + \frac{1}{N}}$$

Hierin is N het aantal monsters beschouwd in de analyse en $t_{0,95}$ de t-verdeling met 5% onderschrijdingskans voor N-1 monsters. In Tabel 22 staat de karakteristieke waarde voor Buggenum weergegeven.

Tabel 22: Resultaten d_{70} gemiddelde waarde en karakteristieke waarde voor Buggenum

Locatie	Laag	Gemiddelde waarde d_{70} [μm]	Karakteristieke waarde d_{70} [μm]
Buggenum	Holoceen, Boxtel en Beegden	362	284



7.3 De k-waarde van het watervoerend pakket

Voor elk pakket beschreven in paragraaf 7.1 is de k-waarde bepaald. Er zijn drie verschillende vergelijkingen gebruikt waar uiteindelijk een gemiddelde van genomen is. De volgende drie vergelijkingen zijn gebruikt voor het bepalen van de doorlatendheid op basis van de korrelverdeling:

1. Grontmij vergelijking, toepasbaar op zand met een lutumgehalte van maximaal 12%.
2. Hazen, op basis van de d_{10} van de desbetreffende zandlaag.
3. Seelheim, op basis van de d_{50} van de desbetreffende zandlaag.

Voor het selecteren de zeefresultaten is per normtraject de toepasbaarheid onderzocht. Hierbij zijn zowel de zandlagen als de grindlagen meegenomen. Ook zijn de diepere lagen in de selectie meegenomen om een onderscheid te kunnen maken tussen de formaties.

In bijlage 14 zijn de resultaten van deze analyse opgenomen, en in tabel 23 staan de resultaten samengevat. Opvallend is dat de standaard afwijking erg hoog is. In sommige gevallen meer dan 70% van het gemiddelde. Dit is niet heel ongebruikelijk het bepalen van de doorlatendheid van de grond met behulp van korrelverdelingen maar er moet zeker rekening mee worden gehouden bij de berekeningen. De onzekerheid van de doorlatendheid zit verdisconteerd in de karakteristieke waarde.

Tabel 23: Resultaten doorlatendheid k

Locatie	Laag	Verwachtings waarde k [m/dag]	Standaard afwijking k [m/dag]	Karakteristieke waarde k [m/dag]
Nieuw Bergen	Holoceen	21	11	34
	Boxtel	21	10	30
	Beegden	59	32	98
Steyl	Boxtel / Beegden	71	45	146
Belfeld	Holoceen	14	9	25
	Beegden	22	15	41
Beesel	Holoceen	21	13	35
	Beegden	15	9	24
Buggenum	Holoceen	30	18	55
	Boxtel	25	11	43
	Beegden	48	59	125
Roermond	Antropog een	13	1	16
	Beegden	41	22	68
Heel	Holoceen	15	10	26

Karakteristieke waarden zijn bepaald met de volgende formule:

$$k_{kar} = k_{gem} \mp t_{0,95} * k_{std} * \sqrt{0,25 + \frac{1}{N}}$$



Hierin is N het aantal monsters beschouwd in de analyse en $t_{0.95}$ de t-verdeling met 5% onderschrijdingskans voor N-1 monsters.



8 Conclusie

Op basis van de resultaten van het grond- en laboratoriumonderzoek dat is uitgevoerd door Inpijn-Blokpoel is een representatieve parameterset bepaald voor de deeltrajecten Heel, Beesel, Belfeld, Nieuw-Bergen en Buggenum.

De sterkteparameters zijn weergegeven in tabel 24, inclusief parameters die zijn bepaald in een eerdere ontwerploop ([ref. 17]). De parameters die in een eerdere ontwerploop zijn bepaald zijn consistent met de nota van uitgangspunten voor Tranche 1, waarop de SH macrostabiliteit verzie 2.0 van toepassing is (inmiddels is er een nieuwe SH macrostabiliteit). De parameters die in deze notitie zijn beschouwd en bepaald zijn **blauw** gedrukt weergegeven.

De stijfheidsparameters zijn weergegeven in tabel 25.

Voor het traject Roermond Willem Alexanderhaven is een damwand voorzien. Voor dit traject zijn daarom ook Mohr-Coulomb sterkte- en stijfheidsparameters afgeleid uit NEN9997 en CUR166. De parameters zijn weergegeven in tabel 26.

De representatieve piping parameters d_{70} en k zijn weergegeven in tabel 27 en tabel 28.

Tabel 24: Sterkteparameters

Grondsoort [-]	γ_i [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	POP _{kar} [-]	m_{kar} [-]	S-ratio [-]	ϕ'_{CSSM} [°]	ψ [°]
Zand, dijk	18,8*	19,5*	-	-	-	30,8*	0
Klei, dijk	18,8	19,5	-	-	-	30,8	0
Klei, zandig	17,9	18,3	-	-	-	30,8	0
Klei, siltig - antropogeen	17,2	17,2	18/12***	0,89	0,24	-	-
Klei, siltig - Holocene	17,9	20,3	18/12***	0,88	0,22	-	-
Klei, siltig - Beegden	18,4	18,4	-	0,83	0,25	-	-
Klei, zandig Beegden	19,6	19,6	18/12***	-	-	30,8	0
Klei	17 à 19	18 à 20	-	-	-	29,5	0
Lokale beekdalafzettingen (veen)	11,0	11,0	15	0,8	0,30	-	-
Lokale beekdalafzettingen (organische klei)	14,0	14,0	10	0,8	0,22	-	-
Zand, matig grof	18,0	20,0	-	-	-	32,0	0
Zand, matig fijn	17,0	19,0	-	-	-	28,3	0
Zand, grof / grind, fijn	18,5	20,5	-	-	-	31,5 á 32,0**	0

* Zand_{dijk} gelijk aan klei_{dijk} op basis van expert judgement

** De spreiding in de resultaten van de triaxiaalproeven vormen aanleiding om een bandbreedte op te geven”.

*** naast de dijk/onder de dijk



Tabel 25: Bepaalde zettingsparameters (verwachtingswaarden)

Grondlaag [-]	A [-]	B [-]	C [-]	c_v [m/s]	POP ¹ [kPa]
Dijksmateriaal. klei	0,0031	0,028	0,0008	5,3E-07	33 / n.v.t.
Antropogeen - siltig	0,0059	0,068	0,0017	6,1E-07	33 / 24
Holoceen - siltig	0,0074	0,065	0,0016	1,8E-07	33 / 24
Holoceen - zandig	0,0026	0,029	0,0006	5,7E-07	33 / 24
Beegden - siltig	0,0077	0,061	0,0013	2,1E-07	33 / 24
Beegden - zandig	0,0022	0,024	0,0006	8,7E-07	33 / 24

¹ gemiddelde waarde onder de dijk/naast de dijk

A, B, C = isotachen zettingsparameters

c_v = consolidatiecoëfficiënt

Tabel 26: Bepaalde sterkte- en stijfheidsparameters Roermond Willem Alexanderhaven

Grondlaag [-]	γ_i / γ_{sat} [kN/m ³]	ϕ' [°]	c' [kPa]	δ [°]	$k_1/k_2/k_3$ [MN/m ³]
Zand - Antropogeen	17 / 19	30,0	0	20,0	12/6/3
Klei, siltig - Beegden	18,4 / 18,4	22,5	5	11,25	4/2/0,8
Klei, zandig - Beegden	19,6 / 19,6	27,5	0	13,7	4/2/0,8
Grind en zand - Beegden	18,5 / 20,5 ¹	32,5	0	21,67	40/20/10

γ_i / γ_{sat}

volumiek gewicht in situ/verzadigd [kN/m³];

c' :

effectieve cohesie;

ϕ' :

effectieve wrijvingshoek;

δ :

wandwrijvingshoek tussen damwand en grond;

$k_1 / k_2 / k_3$:

horizontale beddingsconstante bij spanningverhoging (secans-waarde).

Tabel 27: Piping parameters - d_{70}

Locatie	Laag	Verwachtingswaarde d_{70} [μ m]	Karakteristieke waarde d_{70} [μ m]
Nieuw Bergen	Holoceen en Boxtel	390	350
Belfeld	Holoceen	290	250
	Beegden	400	340
Beesel	Holoceen	350	310
	Beegden in beekdal	290	250
Heel	Holoceen	320	280
	Beegden	450	400
Buggenum	Holoceen, Boxtel en Beegden	362	284



Tabel 28: Piping parameters - k

Nieuw Bergen	Holoceen	21	11	34
	Boxtel	21	10	30
	Beegden	59	32	98
Steyl	Boxtel / Beegden	71	45	146
Belfeld	Holoceen	14	9	25
	Beegden	22	15	41
Beesel	Holoceen	21	13	35
	Beegden	15	9	24
Buggenum	Holoceen	30	18	55
	Boxtel	25	11	43
	Beegden	48	59	125
Roermond	Antropog een	13	1	16
	Beegden	41	22	68
Heel	Holoceen	15	10	26



Bijlage 1 GEOTECHNISCH LENGTEPROFIEL NIEUW-BERGEN



Bijlage 2 GEOTECHNISCH LENGTEPROFIEL STEYL



Bijlage 3 GEOTECHNISCH LENGTEPROFIEL BELFELD



Bijlage 4 GEOTECHNISCH LENGTEPROFIEL BEESEL



Bijlage 5 GEOTECHNISCH LENGTEPROFIEL BUGGENUM



Bijlage 6 GEOTECHNISCH LENGTEPROFIEL ROERMOND WAX



Bijlage 7 GEOTECHNISCH LENGTEPROFIEL HEEL



Bijlage 8 BEPALING S-RATIO KLEI-SILTIG EN KLEI BEEGDEN – SELECTIEKEUZE + STATISTIEK



Bijlage 9 BEPALING POP KLEI-SILTIG EN KLEI BEEGDEN – SELECTIEKEUZE + STATISTIEK



Bijlage 10 BEPALING EXPONENT M KLEI-SILTIG EN KLEI - BEEGDEN – SELECTIEKEUZE + STATISTIEK



Bijlage 11 BEPALING PHI KLEI-DIJK EN KLEI-ZANDIG – SELECTIEKEUZE + STATISTIEK



Bijlage 12 BEPALING ZETTINGSPARAMETERS



Bijlage 13 BEPALING KLEIKWALITEIT



Bijlage 14 ZANDGROFHEID EN DOORLATENDHEID

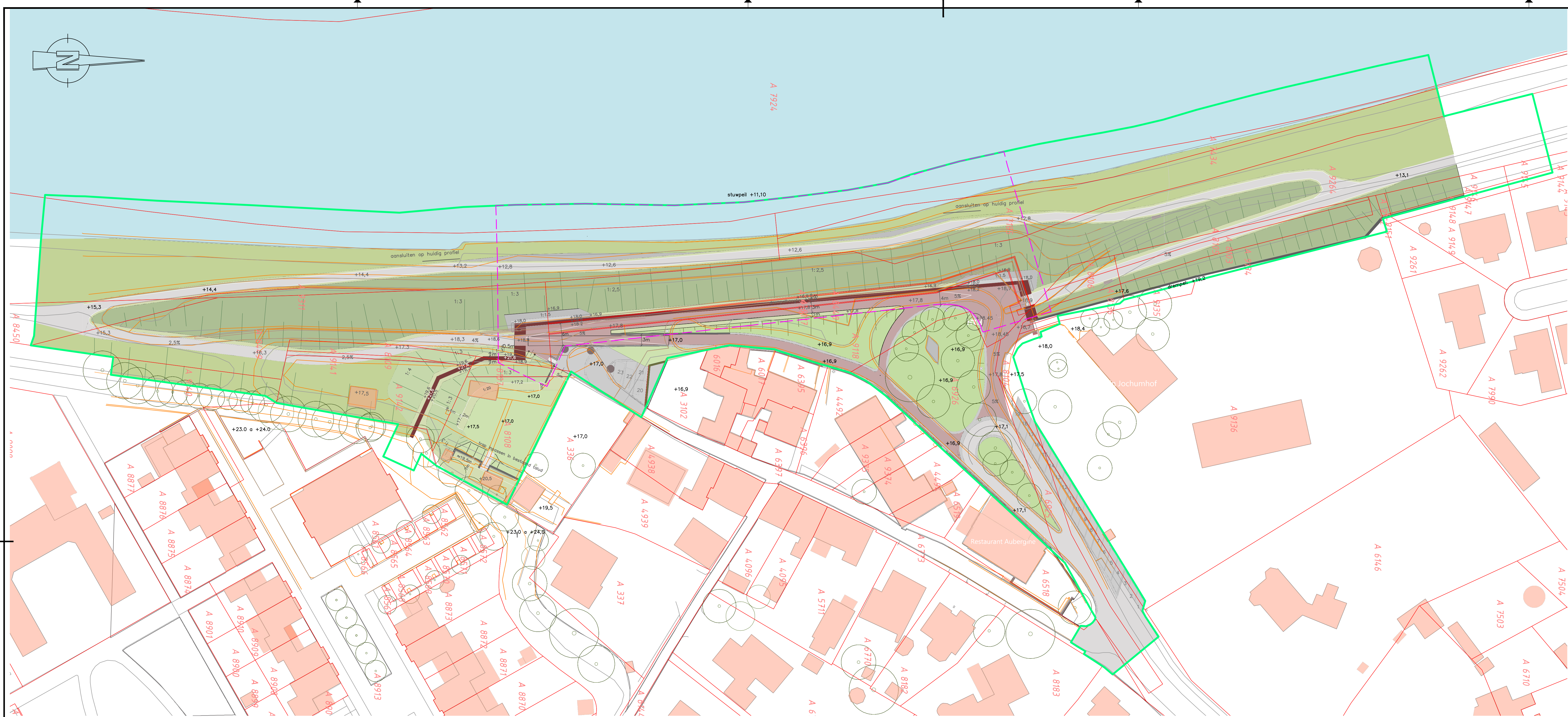


Bijlage 15 BEPALING PHI VAN GRINDHOUDEND ZAND



BIJLAGE 10: SYSTEEMRUIMTE





BOVENAANZICHT
Schaal: 1:500

LEGENDA BOVENAANZICHT

- Perceelgrens
- Domain zelfsluitende waterkering
- GBKN
- DTM lijnen
- Systeemruimte
- Waterkering
- Bomen
- +18,7 Nieuwe maaiveldhoogte
- +18,4 Huidige maaiveldhoogte gehandhaafd

0 5 10 15 20m
Schaal: 1:500

Witteveen **Bos**

ARCADIS Design & Consultancy for natural and built assets

Opdrachtgever
WATERSCHAP LIMBURG

Project
NOORDELIJKE MAASVALLEI

Normtraject 68-1 Steyl-Maashoek
Systeemruimte

Gefekend
K. van 't Hof
Gecontroleerd
H. Trul

Status: Definitief

Formaat: Schaal

A1-1050 1:500

Datum

18-06-2021

Goedgekeurd

H. Trul

Tekening nummer

10.DR68B.26.100