

IO.DR65.34.001 TECHNISCHE UITGANGSPUNTEN NOTITIE EN FAALKANSANALYSE ARCEN

Hoogwaterbeschermingsprogramma Noordelijke Maasvallei

Datum: 14 maart 2022

Kenmerk (SP): 353

Versienummer: 1.0-1

Status: 100%

In opdracht van



**waterschap
limburg**

INHOUDSOPGAVE

1	Algemeen	4
1.1	Inleiding.....	4
1.2	Project Arcen.....	5
1.3	Doel van notitie.....	6
2	Ondergrond.....	8
2.1	Verricht onderzoek	8
2.2	Algemene bodemopbouw	8
2.3	Aangetroffen bodemopbouw	9
2.4	Grondparameters.....	10
2.4.1	Doorlatendheid zandondergrond	10
2.4.2	Weerstand deklaag	10
2.4.3	D70 pipinggevoelige laag	10
2.4.4	Volumegewicht en sterkte	11
2.4.5	Dijkopbouw	11
2.5	Pipinggevoeligheid Maasvallei	11
3	Faalkansverdeling	12
3.1	Inleiding.....	12
3.2	Relevante faalmechanismen.....	12
3.3	Betrouwbaarheid sluiting kunstwerk.....	13
3.4	Piping.....	16
3.5	Overslagdebiet	18
3.6	Faalkansverdeling	19
3.7	Hoogte.....	19
4	Eisen vanuit de beheerder	22
5	Referenties.....	23
	Bijlage 1: Pipingprotocol	24
	Bijlage 2: Resultaten HBN bij overslag-debiet 1, 5 en 10 l/m/s	25
	Bijlage 3: Grondonderzoek	26
	Bijlage 3a - d70.....	26
	Bijlage 3b - GA211060 Boorprofielen 2021-12-17	26
	Bijlage 3c - 02P008617-04-RG-01-dijkkring 65-def.....	26



Bijlage 3d - boorstaten..... 26
Bijlage 4: Analyse overslagdebiet Arcen 27



1 Algemeen

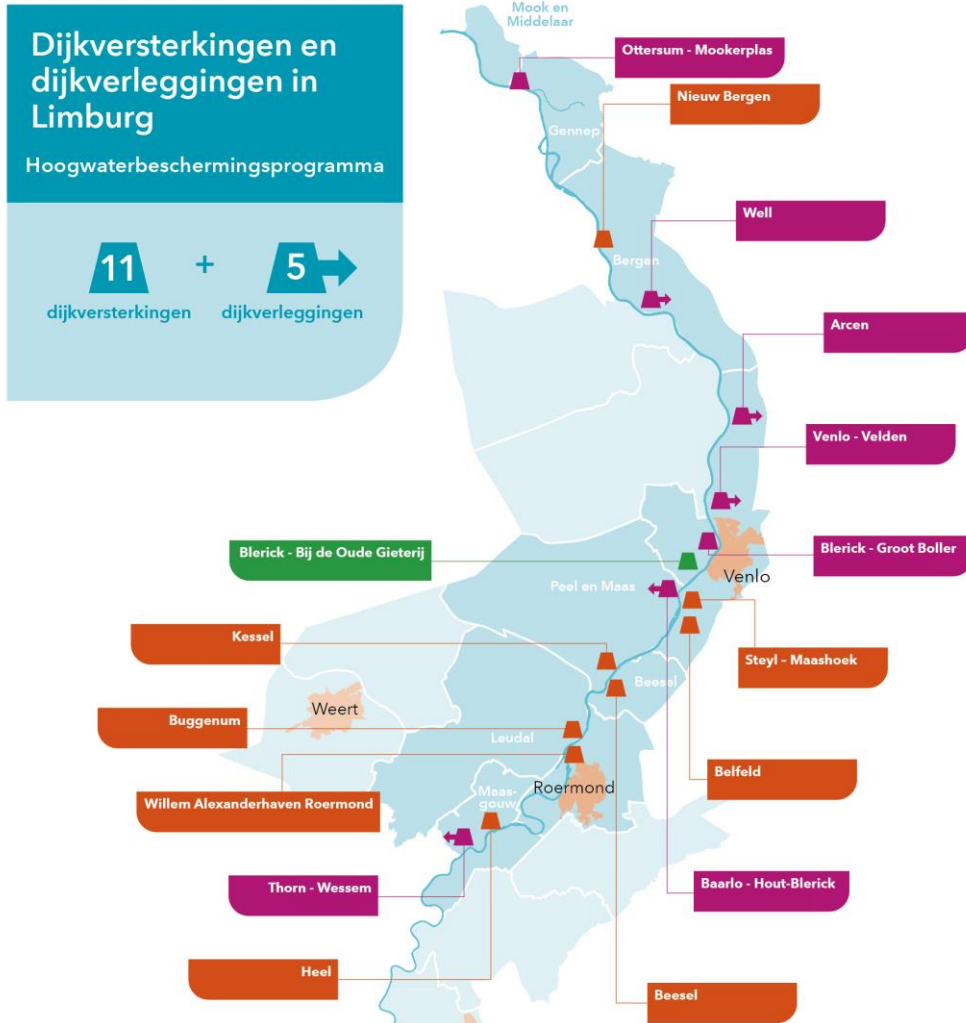
1.1 Inleiding

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 voldoet 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 grotendeels stabiele eisen die zijn vastgelegd in de "Nota van uitgangspunten ontwerp tranche 2" (NVU2.0) [1]. 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.

In voorliggende Technische Uitgangspunten Notitie zijn projectspecifieke eisen voor Arcen opgenomen.





Figuur 1: Dijkversterkingen langs de Noordelijke Maas.

1.2 Project Arcen

Arcen is verdeeld in drie deellocaties, namelijk: Noord, Midden en Zuid [5]. Arcen Noord en Zuid worden gekenmerkt door een aaneengesloten groene kering of keermuur en Arcen Midden bevindt zich in de tuinen van bewoners en bedrijven met veel demontabele keringen.

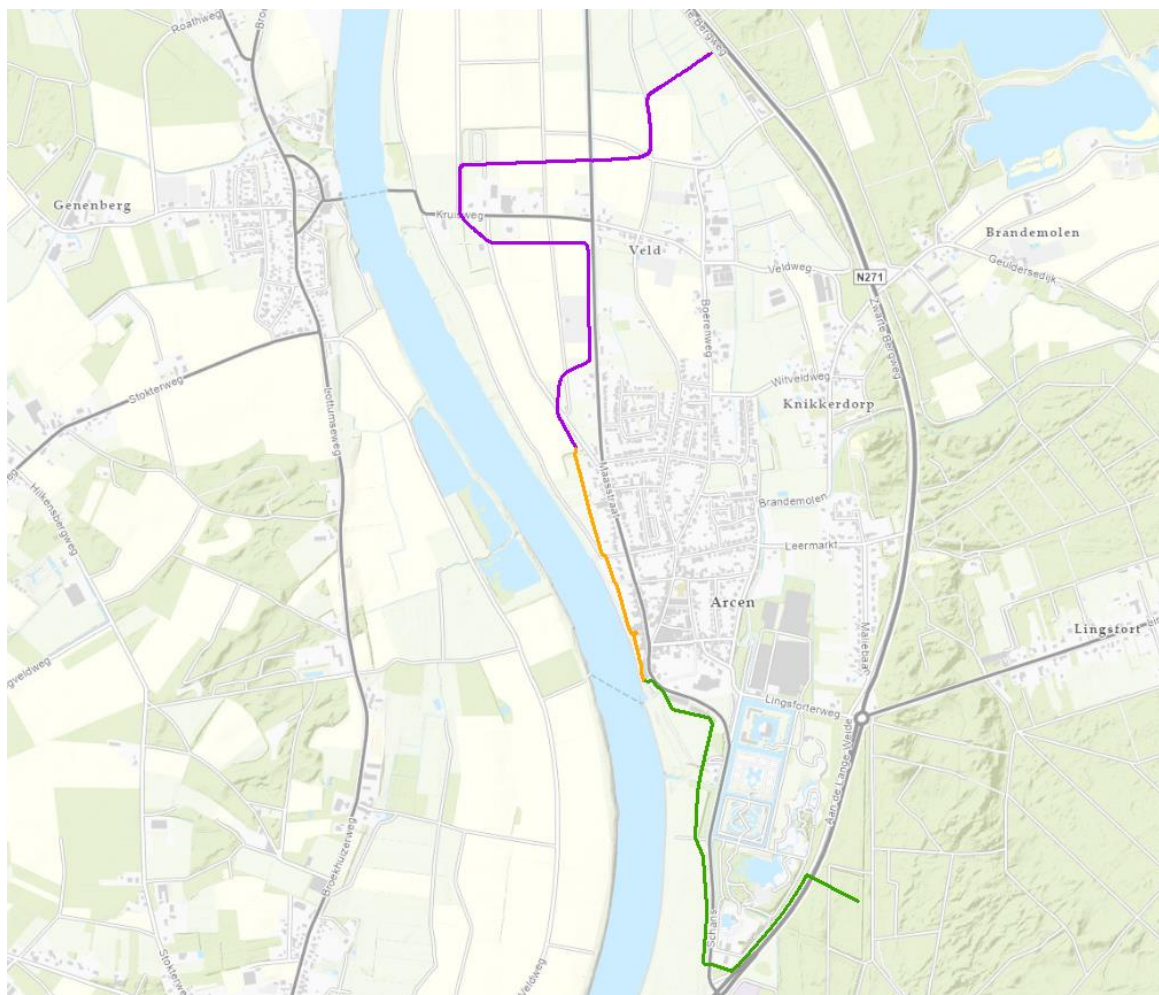
Door de nieuwe waterveiligheidsnormen dient de kering opgehoogd te worden. De wens vanuit de omgeving is om deze ophoging te minimaliseren. De faalkansruimte (standaard 24%) voor hoogte (faalmechismen GEKB en HTKW) uit het OI2014v4 [2] bepaalt de eis die voor hoogte gesteld wordt. Door de faalkansruimte te vergroten, wordt de vereiste hoogte van de kering lager. Dit betekent wel een kleinere faalkansruimte voor één of meerdere andere faalmechanismen van de waterkering.

Doordat er ter plaatse van Arcen Midden veel kunstwerken voorzien zijn in het voorkeursalternatief, is de standaard faalkansruimte voor betrouwbaarheid sluiting kunstwerken (BSKW) onvoldoende om te voldoen aan de wettelijke norm. Het verhogen van deze faalkansruimte is noodzakelijk. Hierdoor is er minderfaalkansruimte beschikbaar voor één of meerdere andere



faalmechanismen.

Daarnaast kunnen in Arcen horizontale pipingmaatregelen worden overwogen. Tot slot zijn er vanuit de beheerder een aantal specifieke eisen die in aanvulling op de NVU 2.0 en vooruitlopend op het KES-proces moeten worden meegenomen in deze notitie.



Figuur 2: Ligging Arcen, met paars=Noord, oranje=Midden, groen=Zuid.

1.3 Doel van notitie

Met deze notitie worden de volgende doelen gediend:

Locatie specifieke uitgangspunten

De "Nota van uitgangspunten ontwerp tranche 2" (NVU2.0) [1]) dient aangevuld te worden. Hierbij dienen de locatiespecifieke uitgangspunten ten behoeve van het ontwerpproces vastgesteld dienen te worden. De NVU2.0 beoogt om de ontwerpers te voorzien van de belangrijkste technische uitgangspunten binnen de dijkverbeteringen van de Noordelijke Maasvallei, waarmee de meeste berekeningen kunnen worden gemaakt en tekeningen kunnen worden vervaardigd.



Samen met de KlantEisenSpecificatie (KES) en de NVU2.0 vormt de projectspecifieke TUN voor Arcen het pakket van eisen waaraan de waterkering moet voldoen.

Faalkansanalyse betrouwbaarheid sluiting

Ten behoeve van de verkenningsfase is een faalkansanalyse voor de betrouwbaarheid sluiting van het systeem Arcen opgezet. Deze is geactualiseerd ten behoeve van het ontwerptraject. De samenvatting van deze actualisering is in deze memo gepresenteerd.

Faalkansverdeling

In specifieke situaties loont het om de standaard faalkansbegroting aan te passen om een beter ontwerp voor een specifieke situatie te kunnen realiseren. In het voorlopige ontwerp van het voorkeursalternatief van project Arcen bevinden zich relatief veel wanden (ter plaatse van Arcen-Midden). Daarom dient er gekeken te worden of de standaard faalkansruimte (4%) voor Betrouwbaarheid Sluiting Kunstwerken (BSKW) voldoet. Tevens is er een sterke wens uit de omgeving om de primaire kering zo laag mogelijk te laten zijn. Door extra faalkansruimte voor Graserosie Kruin en Binnentalud (GEKB) en Hoogte Kunstwerken (HTKW) te creëren kan mogelijk enigszins tegemoet te komen aan deze wens. In deze memo worden de bandbreedtes van een projectspecifieke faalkansbegroting en wat de effecten daarvan zijn op het ontwerp.

Eisen vanuit de beheerder

Vanuit de beheerder zijn in deze notitie een aantal specifiek eisen opgenomen. Dit in aanvulling op de NVU 2.0 en vooruitlopen op het KES-proces.



2 Ondergrond

2.1 Verricht onderzoek

De beschikbare grondonderzoeken zijn opgenomen in Tabel 1. Het meest recente onderzoek is leidend voor de interpretatie van de ondergrond; deze boringen zijn gezet langs het VKA-tracé van het nieuwe dijktraject. Het onderzoek uit 2017 is ook gebruikt om inzicht in de ondergrond te krijgen. Het grondonderzoek uit de periode 1995-2007 is gebruikt ter verificatie.

Tabel 1: Uitgevoerde grondonderzoeken.

Rapport	Jaar	Sonderingen	Handboringen
GA211060 -Complete levering Dijkversterking Arcen, 10-2021	2021	39	67
"Geotechnisch onderzoek Dijkkring 65", documentnummer 02P008617-04-RG-01-dijkkring 65-def, 5-9-2017	2017	11	38
"Dijkkringgebied 65 (Arcen), Verzamelen geotechnische gegevens, stabiliteitsonderzoek, controle waterkerende kunstwerken". Projectnummer 239419, 11-01-2008	1995-2007	-	89

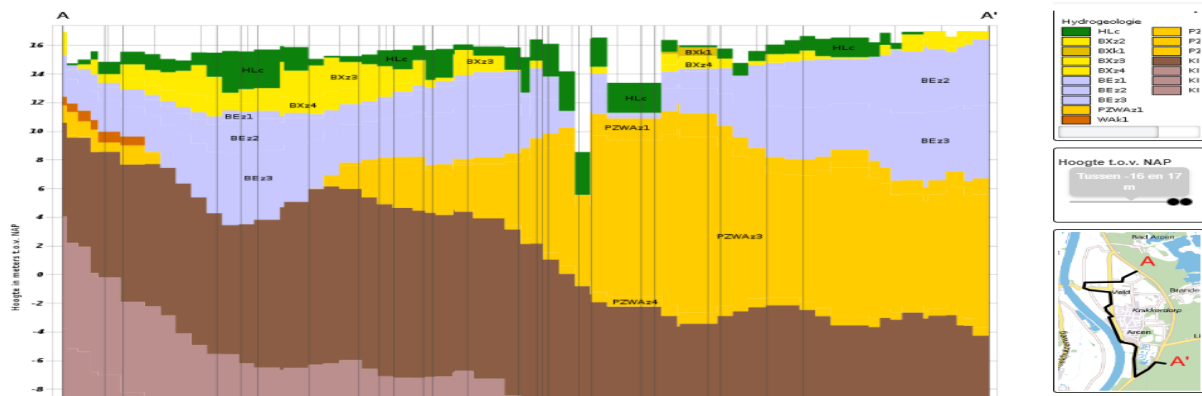
2.2 Algemene bodemopbouw

In deze paragraaf wordt de verwachte bodemopbouw beschreven vanaf maaiveld, gebaseerd op Dinoloket. In de volgende paragraaf wordt ingegaan op de bodemopbouw zoals die is afgeleid uit het lokale grondonderzoek.

In Figuur 3 is te zien dat in Arcen-Noord en Arcen-Midden lokaal tot 4 meter onder maaiveld eolische afzettingen van de Boxtel formatie aanwezig zijn. Ter plaatse van Arcen Midden, en dan met name vlak langs de Maas, wordt het Beegden-zand 2 pakket gevonden.

De formatie van Beegden is onder het gehele tracé van de nieuwe kering aanwezig. Deze formatie bestaat uit fluviatiele Maas afzettingen van fijn tot zeer grof zand, met soms lokaal zandige leem- en kleilagen. De onderkant van de Beegden afzettingen varieert van 4 tot 12 meter onder maaiveld. In Arcen-Zuid en Arcen-Midden zijn zandige Peize en Waalre afzettingen aanwezig, onder de overwegend zandige Beegden afzettingen. In het noorden is lokaal een halve meter Waalre klei aanwezig, maar sluit de watervoerende pakketten eronder en erboven niet af.





Figuur 3: Doorsnede BRO REGISS II v2.2 van NAP-16m tot NAP+17m.

2.3 Aangetroffen bodemopbouw

De bodemopbouw is lokaal gemaakt aan de hand van het grondonderzoek uit 2021 en 2017 (zie Tabel 1). Het grondonderzoek uit 1995-2007 onderbouwt de bevindingen. Bij grofweg de helft van de boringen wordt vanaf maaiveld 0,5 m tot 1,5 m fijn zand aangetroffen (ofwel van de Boxtel afzettingen, ofwel van holocene rivierafzettingen). Op de andere helft van de locaties wordt vanaf maaiveld zeer grof zand aangetroffen, vermoedelijk van de Beegden afzettingen. Op een enkele locatie in Arcen-Midden wordt vrij dicht aan het oppervlak klei gevonden.

Arcen Noord

In Arcen Noord zijn 56 handboringen beschikbaar met coördinaten (uit de onderzoeken van 2017 en 2021). Het algemene beeld is een zandige bodem. In 13 handboringen is een kleilaag aanwezig. Bij 12 van deze boringen is deze kleilaag onderdeel van de dijkbekleding; de boringen zijn genomen op de dijk. De 13^e boring is genomen in een sloot, wat de aanwezigheid van klei verklaart. Hieruit wordt geconcludeerd dat de typische bodemopbouw voor Arcen Noord geheel opgebouwd is uit zand. Bij het hotel Rooland ten noorden van de beoogde kering zijn 4 handboringen beschikbaar. Deze laten allen een zwak organische zandbodem zien. Uit de sonderingen blijkt dat het watervoerend pakket hier zo'n 10 tot 15 meter dik is, conform de verwachting uit het Dinoloket.

Arcen Midden

Boring HS-65-065 laat een kleilaag van 1,5 m zien. De boring is gesitueerd in het voorland op 90 m van de waterkering. Sonderingen 13 en 14 uit 2021 laten zien dat de ondergrond van zand is, maar bij sondering 24, 25 en 26 wordt ook een kleipakket aangetroffen beneden 1,5 m-mv. De overige 9 handboringen bestaan geheel uit zand. Uit de sonderingen blijkt dat het watervoerend pakket hier zo'n 10-15 meter dik is.

Arcen Zuid

Voor Arcen Zuid zijn 30 handboringen beschikbaar. In 3 handboringen is een kleilaag aanwezig die deel uitmaakt van de dijkbekleding. Ook hier is het algemene beeld een volledig zandige bodemopbouw. Uit de sonderingen blijkt dat het watervoerend pakket zo'n 15-20 meter dik is.



2.4 Grondparameters

2.4.1 Doorlatendheid zandondergrond

De doorlatendheid van de ondergrond volgt uit de waarden zoals vermeld in de NvU 2.0 [2] in combinatie met een verwachting van de variatiecoëfficiënt van $\nu = 0,2$.

Tabel 2: Doorlatendheden formaties (indicatie van bandbreedte van gemiddelde waarden).

Formatie	Holoceen	Boxtel	Beegden	Sterksel	Stamproy/ Kiezeloëliet	Breda
Doorlatendheid (m/dag)	15 à 20	10 à 15	75 à 175	-	-	-

In de boringen wordt wisselend grof en fijn zand in de bovenste meter gevonden. Op basis van de boorstaten is op ongeveer de helft van de locaties, zeer heterogeen verspreid, van 0,5 tot 1,5 meter fijner zand aanwezig aan maaiveld. Dit zand hoort waarschijnlijk tot de formatie van Boxtel. Het is op basis van het huidige grondonderzoek niet sluitend te karteren waar Boxtel en Beegden zand gevonden kan worden. Door de heterogeniteit van de ondergrond kan zonder nader onderzoek of analyse niet uitgesloten worden dat er preferente stroombanen ontstaan. Afhankelijk van het type berekening dient een representatieve of conservatieve waarde gekozen te worden voor de doorlatendheid. Ter plaatse van Arcen midden, vlak bij de Maas, wordt mogelijk ook de formatie van Beegden gevonden. De doorlatendheid hiervan verschilt van plaats tot plaats zeer sterk door aanwezigheid van dunne grindlagen.

2.4.2 Weerstand deklaag

Ter plaatse van het voor- en achterland is langs het traject geen grond aangetroffen waar weerstand aan toegekend kan worden.

2.4.3 D70 pipinggevoelige laag

De relatie tussen de d_{70} en piping is omgekeerd. Hoe kleiner de d_{70} hoe groter de kans op piping. Kleinere korrels eroderen sneller. Bij alle zeefproeven zijn grovere zandafzettingen bemonsterd van de Beegden formatie. De heterogeen verspreid aangetroffen fijne zandlaag (zie ook paragraaf 2.4.1) is niet bemonsterd. Eventueel aanvullend nader grondonderzoek zou er toe kunnen leiden dat er gebruik gemaakt kan worden van de d_{70} van de Beegden formatie. Of dit nuttig is hangt af het type ontwerpmaatregel (verticaal of horizontaal) tegen piping.

Tabel 3 Waarden d_{70} voor formatie van Beegden (grover zand) en Boxtel of holoceen rivierzand (fijner zand)

d_{70} [μm]	Verwachtingswaarde [μm]	Karakteristieke Waarde [μm]
Beegden(proevenverzameling)	404*	393*
Boxtel	230**	200**

*Gebaseerd op een proevenverzameling van het recent opgeleverde grondonderzoek (2022, Geonius Bijlage 03_A). De verwachtingswaarde van de d_{70} wordt, conform WBI 2017, verondersteld lognormaal verdeeld te zijn.

** Gebaseerd op de NVU 2.0 [1]. In de NVU 2.0 is geen karakteristieke waarde voor handen. De gebruikte karakteristieke waarde voor Boxtel is gebaseerd op expert-judgement en mag als voldoende conservatief beschouwd worden.



De gevonden verwachtingswaarde (404 μm) voor de d_{70} van Beegden zand in de proevenverzameling komt overeen met wat op basis van tabel 4 uit de NVU 2.0 [1] verwacht mag worden voor Beegden afzettingen.

2.4.4 Volumegewicht en sterkte

In de NVU 2.0 [1] staan volumieke gewichten en sterkteparameters genoemd voor de Holocene afzettingen en de formaties van Boxtel en Beegden. Er is geen reden om andere waarden te verwachten en daarom is hier geen aanvullend onderzoek naar gedaan.

2.4.5 Dijkopbouw

Ter plaatse van Arcen Noord en Arcen Zuid is een nieuw dijklichaam voorzien. Het dijksmateriaal dient aangebracht te worden conform de NVU2.0 [1].

2.5 Pipinggevoeligheid Maasvallei

Het afgelopen decennium is er veel aandacht voor piping langs de Limburgse Maas, maar dat was niet altijd zo. Zo'n 15 tot 20 jaar geleden werd tamelijk standaard gekozen voor 12xH volgens Bligh vanwege grof zand, maar al snel ontstond de behoefte aan meer detailniveau. Tal van onderzoeken werden opgezet (door POV piping, met Deltares binnen HWBP en WL zelf in LBO1), waaruit in meer of mindere mate bleek dat piping zou mogelijk moeten zijn.

Bij een extreme waterstand mag daarom op voorhand verwacht worden dat er ook op veel plaatsen zandmeevoerende wellen, die duiden op piping, worden waargenomen. In juli 2021 is er van een extreme waterstand op de Grensmaas kortdurend sprake geweest. Echter zijn zandmeevoerende wellen maar in zeer beperkte mate waargenomen. Dit roept de vraag op of de waarnemingen en berekeningen met elkaar in overeenstemming zijn.

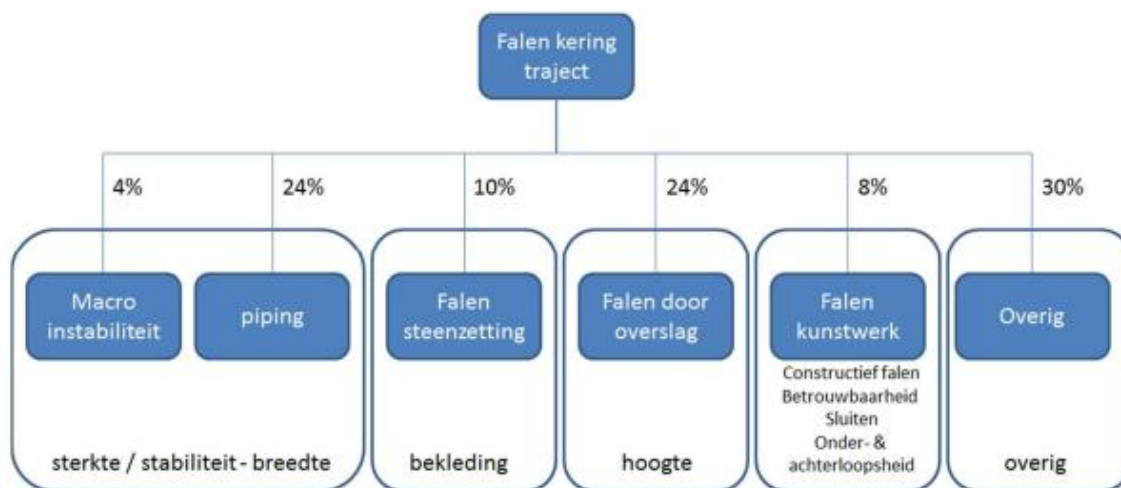
Zolang deze vraag niet van een sluitend en gedragen antwoord is voorzien, is het raadzaam om op piping te ontwerpen met vigerende rekenregels (bv. die uit LBO1 van WL zelf of Sellmeijer2011). Het wordt afgeraden om piping weg te redeneren met argumenten als zand op zand, tenzij het om uitzonderlijk lage dijken gaat (bv. < 1 m).



3 Faalkansverdeling

3.1 Inleiding

De overstromingskansnormen op trajectniveau moeten voor het ontwerpproces vertaald worden naar eisen per toetspoot. Deze eisen worden bepaald met behulp van de faalkansverdeling en het lengte-effect. De standaard faalkansverdeling is weergegeven in Figuur 4. Voor de versterking van normtraject 65-1 geldt dat deze 50 (oplossingen in grond) tot 100 (constructies) jaar mee moeten gaan. Waar nodig kan hier conform NVU 2.0 en beleid van Waterschap Limburg voor constructies in de hoogte van worden afgeweken, maar nooit korter dan een ontwerplevensduur van 50 jaar. Dit betekent dat de dijk voldoende sterk, hoog én goed ingepast moet zijn in de omgeving. Tevens dient de primaire kering onder het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) sober en doelmatig ontworpen te zijn en rekening te worden gehouden met belangen vanuit de omgeving. Om dit voor elkaar te krijgen wordt er voor Arcen afgeweken van de standaard faalkansverdeling.



Figuur 4: Weergave standaard faalkansverdeling.

De beschikbare faalkansruimte voor de gecombineerde toetspooten is in principe niet groter dan 70%. Dit omdat 30% van de faalkansruimte is gereserveerd voor de "overige" toetspooten. Met deze 30% kan niet worden geschoven omdat er te veel toetspooten onder vallen die niet kunnen worden uitgesloten.

3.2 Relevante faalmechanismen

Ter afbakening dient vastgesteld te worden welke faalmechanismen wel of niet aangepast zouden moeten worden. Het gaat om kunstwerken, hoogte, macrostabiliteit, piping en bekleding.

Kunstwerken: In verband met het grote aantal (zelfsluitende en/of demontabele) kunstwerken ter plaatse van Arcen Midden is een analyse uitgevoerd van de benodigde extra faalkansruimte van Betrouwbaarheid Sluiten Kunstwerken (BSKW).

Hoogte: De hoogte van de dijk (en van de zelfsluitende of demontabele wanden) is zeer belangrijk voor de impact op de omgeving. Er is een



nadrukkelijke wens vanuit de omgeving bij project Arcen om de hoogte te minimaliseren. Dit betekent dat de faalkansruimte hiervoor vergroot moet worden. Naast de beschikbare faalkansruimte en modeluitgangspunten wordt de hoogte bepaald aan de hand van het overslagdebiet [1] over een dijk (faalmechanisme: Graserosie Kruin en Binnentalud, GEKB) of over een wand (faalmechanisme: Hoogte Kunstwerk). Een belangrijk aandachtspunt hierbij is de beperkte komberging in het midden van Arcen, waardoor er snel een groot waterbezwaar kan ontstaan bij overslag.

Macrostabieliteit: Het ligt niet voor de hand om bij de standaard faalkansverdeling wijzigingen aan te brengen voor macrostabieliteit (voor oplossingen in grond). In het voorkeursalternatief worden relatief bescheiden dijkprofielen verwacht op een sterke ondergrond. Macrostabieliteit is hierdoor niet maatgevend.

Piping: Het pipingprotocol van Waterschap Limburg (zie Bijlage 1) voorziet bij een verval groter dan 1,3 meter in het toepassen van heave-schermen bij grondoplossingen. Hiermee wordt het faalmechanisme STPH uitgesloten voor deze strekking en neemt geen faalkansruimte in. Bij een verval kleiner dan 1,3 meter, indien de kwelweglengte van de dijkzate niet voldoende is, is het vanuit kosten oogpunt mogelijk voordeliger om een horizontale pipingmaatregel toe te passen. Naast kosten maken ook elementen als inpasbaarheid en continuïteit onderdeel uit van de afweging in de toe te passen pipingmaatregelen.

Bekleding: De dijk wordt volledig voorzien van een grasbekleding. Het ligt niet voor de hand om de faalkansruimte hiervan aan te passen omdat:

- de kans hierbij groot wordt dat gras niet voldoet en er overgegaan moet worden op een verharde bekleding. Dit heeft grote invloed op de inpasbaarheid en de kosten.
- er robuustheid in het ontwerp van de grasbekleding dient te zijn tegen onder meer schade als gevolg van graverij.

3.3 Betrouwbaarheid sluiting kunstwerk

Deellocatie Arcen Midden bestaat voor een belangrijk deel uit demontabele keringen. Hier speelt Betrouwbaarheid sluiting kunstwerk (BSKW) een grote rol. In de "Nadere bepaling faalkansruimte Arcen" [7] is bepaald welke minimale faalkanseis benodigd is om gezien het aantal te sluiten keringen en gegeven de drempelhoogte te voldoen aan de norm.

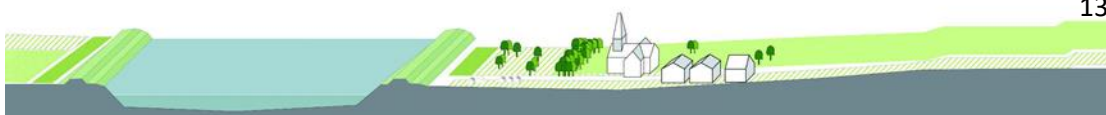
Voor Arcen zijn de volgende vier scenario's beschouwd, zie ook Figuur 5:

1. **Alle keringen uitvoeren als demontabel**

In dit scenario worden alle coupures en wanden uitgevoerd als demontabel systeem met schotbalken. De rest van de keringen in de achtertuinen zijn glazen waterkeringen. Daarnaast is er op enkele plaatsen een deur aanwezig en nog enkele stukken glazen kering. Het geheel wordt gesloten in twee fases, waarbij de toe te passen deur in de steeg naast het restaurant Alt Arce als eerste wordt gesloten.

2. **Combinatie zelfsluitend en minimaal demontabel**

Dit scenario is een combinatie van zelfsluitende keringen en demontabele keringen. In particuliere tuinen zijn de glazen delen, demontabele coupures of deuren uit scenario 1 volledig vervangen door een



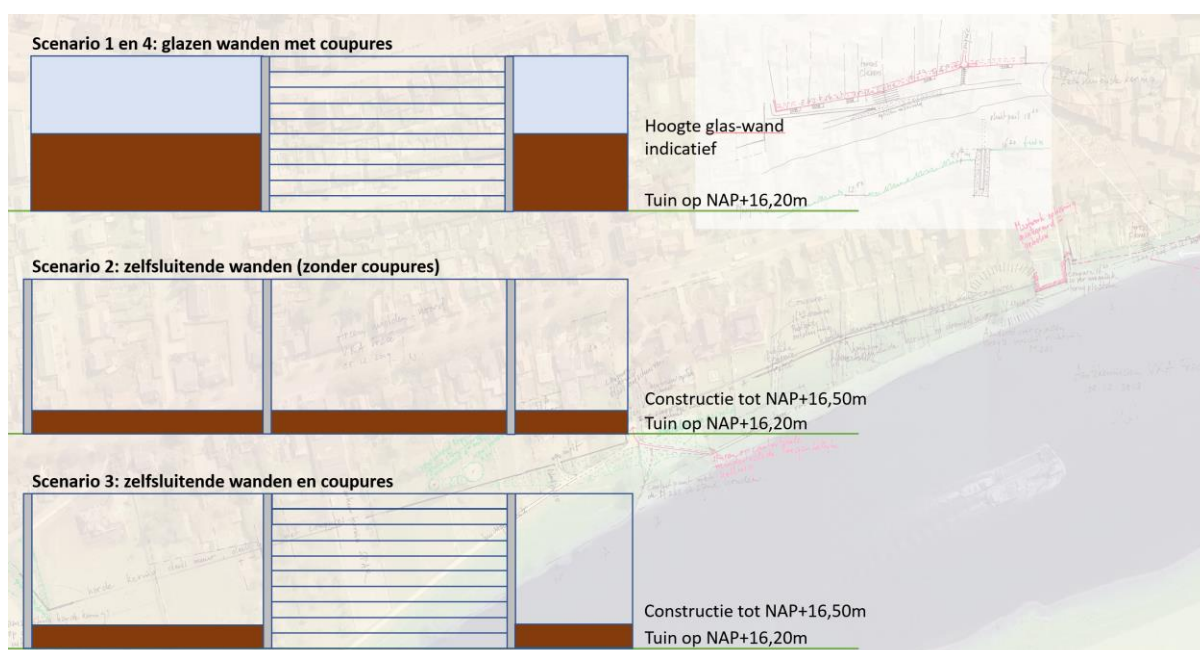
zelfsluitende kering met hetzelfde drempelniveau. Daarnaast is er op enkele plaatsen een deur aanwezig en enkele stukken glazen kering. Ook in dit scenario wordt het geheel gesloten in twee fases, gelijk aan scenario 1.

3. **Combinatie zelfsluitend en maximaal demontabel**

Dit scenario is een combinatie van zelfsluitende keringen en demontabele keringen. In particuliere tuinen zijn in dit scenario alleen de glazen delen uit scenario 1 vervangen door een zelfsluitende kering. Daarnaast is er op enkele plaatsen een deur aanwezig en enkele stukken glazen kering. Ook in dit scenario wordt het geheel gesloten in twee fases, gelijk aan scenario 1.

4. **Demontabel in 3 opbouwfasen**

Het scenario is qua keringen gelijk aan scenario 1. De keringen in het zuiden hebben echter een hoger drempelniveau en zullen in een derde opbouwphase worden opgebouwd.



Figuur 5: Visualisatie scenario 1 tot en met 4 tuinen Arcen Midden.

Per scenario heeft de analyse bestaan uit:

- Een algemene analyse van de locatie met daarin een beschrijving van de te nemen maatregelen;
- Per scenario is bepaald hoeveel demontabele of zelfsluitende keringen er zijn;
- Het aantal schotbalken is van belang voor het bepalen van de faalkans;
- Het drempelniveau is van belang voor het bepalen van de faalkans.

Naast het sluiten van de demontabele keringen, vragen ook de afsluiters in het dijktraject faalkansruimte en is er ruimte gereserveerd voor toekomstige ontwikkelingen in het gebied in relatie tot BSKW.



- De maximale berekende faalkansbijdrage van de afsluiters in Arcen bedraagt 1,1%. Dit is gelijk aan 0,22 % per afsluiter.
- Toekomstige ontwikkeling in de vorm van 2 extra afsluiters, hiervoor wordt in totaal 0,44 % opgeteld bij het benodigde budget, in totaal 1,54%;
- Toekomstige ontwikkeling van een demontabele wand van 9 m breed en 2 m hoog. In totaal betreft dit dus 30 schotbalken. Dit is meegenomen in het benodigde aantal teams en daarmee in de faalkans per sluitvraag.

Het resultaat van de analyse is in Tabel 4 samengevat. Hieruit volgt dat scenario 2 het meest gunstige scenario is, 1 en 3 vergelijkbaar zijn en scenario 4 met de twee opbouwfasen voor het demontabele deel een duidelijk grotere bijdrage aan de faalkans levert.

Tabel 4: Conclusie faalkansanalyse BSKW Arcen.

Scenario	Faalkansruimte 2125 te sluiten kunstwerken, incl. toekomstige ontwikkelingen wand	Faalkansruimte 2125 te sluiten afsluiters, incl. twee extra	Benodigde faalkansruimte BSKW 2125 totaal (afgerond)
1	9,65 %	1,54 %	11 % (11,19)
2	8,52 %	1,54 %	10 % (10,06)
3	10,09 %	1,54 %	12% (11,63)
4	12,26 %	1,54 %	14% (13,80)

Afweging uitgangspunt faalkansruimte BSKW

Scenario 4 is uitgevoerd ter verkenning van het effect om de coupure ter hoogte van de Schans in het zuiden van Arcen langer open te kunnen houden. Dit is een belangrijke toegangsweg voor Arcen. Door de aanwezigheid van een goede alternatieve toegang via de Lingsforterweg is besloten dit scenario buiten beschouwing te laten om niet onnodig faalkansruimte te reserveren. De keuze tussen scenario 1 t/m 3 is afhankelijk van de uitkomst van de businesscase voor het midden van Arcen. Afhankelijk van de aanbesteding wordt hier de keuze gemaakt tussen een glazen kering met demontabele coupures of een zelfsluitende kering met zo minimaal mogelijk demontabel deel (scenario 2) en een maximum demontabel deel (scenario 3). Om de aannemer voldoende ruimte te bieden om ook voor een zelfsluitende kering tot een goed ontwerp te kunnen komen dat voldoet aan de norm wordt voor BSKW 12% als uitgangspunt gehanteerd. Op basis van de aanbesteding voor het project in Steyl-Maashoek zit hier in de afronding ook voldoende ruimte om andere configuraties voor zelfsluitende systemen toe te passen. Wel zijn er vanuit de faalkansanalyse belangrijke aandachtspunten die in de uitvraag als randvoorwaarde moeten worden meegenomen, zoals voldoende redundantie en handelingsperspectief bij het niet tijdig sluiten.

Uit de ervaringen van het hoogwater van 2021 is gebleken dat er mogelijk nog meer ruimte voor BSKW genomen zou moeten worden. Een exacte analyse ontbreekt hiervan. Daarom kan er op dit moment niet onderbouwd worden hoeveel dit zou moeten zijn.

Voor de omgeving is de hoogteopgave een belangrijk onderwerp gezien de impact van met name de waterkering in het midden van Arcen. Het HBN wordt afgerond op 0,05 meter per dijkvak. Uit de resultaten van de HBN-berekeningen



blijkt het verschil tussen 10 en 12% hierdoor weg te vallen in de afronding. Voor de omgeving heeft de keuze tussen 10 en 12% daardoor geen effect op de hoogte.

3.4 Piping

Alhoewel langs het gehele traject alleen zand in de ondergrond wordt aangetroffen is het mogelijk dat, doordat de opbouw van de dijk in meer of mindere mate uit klei bestaat (zie ook paragraaf 2.4.5), STPH een rol speelt. Bij waterkerende wanden van staal of beton is het optreden van STPH ook een mogelijkheid.

In Tabel 5 is op basis van de beschikbare dwarsprofielen [4] het verval per dijkvak (uit de verkenningfase) bepaald. Hieruit volgt dat circa 25% van het dijktraject voldoet aan de voorwaarde groene dijk met een verval kleiner dan de 1,3 meter; het verval waarover in het Pipingprotocol wordt gesproken (zie Bijlage 1). Deze 1,3 meter markeert de bovenkant van het financiële omslagpunt (zie ook NVU 2.0 [1]) van een horizontale naar een verticale pipingmaatregel, gemiddeld ligt deze op ongeveer 0,9 meter. In het midden van Arcen worden verticale constructies toegepast, waarbij de benodigde fundering voor de stabiliteit wordt gecombineerd met de heave opgave (zie opmerking "harde kering" in Tabel 5).

Tabel 5: Bepaling verval per dijkvak, wit groene dijk met verval < 1,3m, lichtgrijs verticale constructie met heave opgave, donkergrijs groene dijk met verval > 1,3m.

Loc	Vak	Opmerking	Lengte vak [m]	% dijk-traject	DWP	WBN2075* [m+NAP]	Maaiveld [m+NAP]	Verval [m]
Z	1a	Natura 2000	181	3,8%	1B(D2)	17,55	16,66	0,89
Z	1b	Keermuur kasteeltuin	388	8,0%	1B(D1)	17,55	16,64	0,91
Z	2		16	0,3%	2B schans	17,55	15,99	1,56
Z	2		14	0,3%	2B schans	17,55	15,99	1,56
Z	2		66	1,4%	2B schans	17,55	15,99	1,56
Z	2		335	7,0%	2B dijk	17,55	16,66	0,89
Z	3c		208	4,3%	3C_deel_1	17,55	15,75	1,80
Z	3c	Beek	78	1,6%	3C_deel_2	17,55	12,58	4,98
Z	4		283	5,9%	4B	17,55	15,83	1,72
M	5	Harde kering	6	0,1%	5A(D1)	17,50	16,20	1,30
M	5	Harde kering	18	0,4%	5A(D1)	17,50	16,20	1,30
M	5	Harde kering	24	0,5%	5A(D1)	17,50	16,20	1,30
M	5	Harde kering	9	0,2%	5A(D1)	17,50	16,20	1,30
M	5	Harde kering	55	1,2%	5A(D1)	17,50	16,20	1,30
M	5	Harde kering	27	0,6%	5A(D2)	17,50	16,50	1,00
M	6	Harde kering	174	3,6%	DWP-1	17,45	16,20	1,25
M	7	Harde kering	147	3,0%	DWP-2	17,45	16,20	1,25
M	7	Harde kering	15	0,3%	DWP-2	17,45	16,20	1,25
M	7	Harde kering	23	0,5%	DWP-2	17,45	16,20	1,25
M	7	Harde kering	93	1,9%	DWP-2	17,45	16,20	1,25
M	7	Harde kering	152	3,2%	DWP-3	17,45	16,20	1,25
M	7	Harde kering	207	4,3%	DWP-4	17,40	16,20	1,20



Loc	Vak	Opmerking	Lengte vak [m]	% dijk-traject	DWP	WBN2075* [m+NAP]	Maaiveld [m+NAP]	Verval [m]
N	8a		385	8,0%	8C(D1)BIN	17,35	15,77	1,58
N	8a		155	3,2%	8C(SD2)	17,25	16,32	0,93
N	8a		168	3,5%	8C(SD2)	17,25	16,32	0,93
N	8b		298	6,2%	8C(SD3)	17,25	14,95	2,30
N	8c		193	4,0%	8A_HWBP	17,20	15,67	1,53
N	8c		376	7,8%	8A_HWBP	17,05	15,67	1,38
N	8c		127	2,6%	8C(SD3)	17,05	14,95	2,10
N	9		197	4,1%	9B_(D1)	17,00	15,56	1,44
N	9		264	5,5%	9B_(D1)	17,00	15,56	1,44
N	9		40	0,8%	9B(D2)	17,00	14,95	2,06
N	9		101	2,1%	9B(D3)	17,00	14,66	2,34

* Het WBN is hier ten behoeve van de berekening van het verval niet afgerond op 0,05m.

** Het maaiveld ter plaatse van dwarsprofiel 3C_deel_2 is niet representatief, net hier bevindt zich een beek waardoor het maaiveld lager is.

Afweging uitgangspunten piping

Uit Tabel 5 blijkt dat voor het merendeel van Arcen het verval groter is dan 1,3 m. Verticale maatregelen tegen piping zijn conform het pipingprotocol (zie bijlage 1), daardoor goedkoper dan horizontale maatregelen. Dit staat nog los van overige afwegingen, zoals de inpasbaarheid en impact op de omgeving. Voor die delen waarvoor vanuit het verval mogelijk een horizontale maatregel kan worden overwogen valt ook het meest zuidelijke deel buiten de afweging om te kiezen voor horizontale maatregelen. Dwarsprofiel 1B bestaat voor het grootste deel uit een verticale constructie, waarbij de stabiliteit wordt gecombineerd met de heave opgave. Het andere deel van dit dwarsprofiel bestaat uit een breed grondlichaam, waarbij geen aanvullende verticale of horizontale pipingmaatregelen nodig zijn.

Wat overblijft zijn twee dwarsprofielen, 2B dijk en 8C(SD2). In totaal 658 m van de ongeveer 5 km dijktraject, of 13% van de totale lengte. Om de volgende redenen is ook voor deze locaties gekozen om uit te gaan van verticale maatregelen:

- Het verval ligt vanuit kostenooptpunt rond het gemiddelde omslagpunt tussen een horizontale of verticale pipingmaatregel;
- Voor verticale maatregelen wordt een faalkansruimte (STPH) van 4% gehanteerd [10]. Hierdoor is het mogelijk om meer faalkansruimte toe te kennen aan GEKB, waardoor de hoogteopgave ongeveer één decimeter lager is. Vooral in het midden van Arcen levert dit een grote besparing op door de daar benodigde kostbare constructies. Eventuele optimalisaties van de d_{70} en bijbehorende besparingen op de benodigde bermlengte wegen hier niet tegen op;
- Een horizontale maatregel is ter hoogte van dwarsprofiel 2B ongewenst en waarschijnlijk niet vergunbaar door de grootschalige ingreep in Natura 2000 gebied;
- Een horizontale maatregel ter hoogte van dwarsprofiel 8C(SD2) heeft vanuit vergelijkbare projecten aantoonbaar negatief effect op de



waterhuishouding en daarmee opbrengst en bruikbaarheid van het landbouwkundig gebruik;

- Voorlandverbeteringen vragen om veel grondverzet en zijn daardoor minder duurzaam dan verticale maatregelen met een relatief beperkte diepte, zoals in Arcen;
- Continuïteit in dijkontwerp voor beheer en onderhoud;
- Aansluiten op gemaakte keuzes in het VKA.

Doordat daar waar nodig verticale pipingmaatregelen het uitgangspunt zijn voor de dijkversterking in Arcen, wordt conform het KPR-advies [10] voor STPH, 4% gehanteerd.

3.5 Overslagdebiet

Het beleid van Waterschap Limburg is om voor het overslagdebiet uit te gaan van 5 l/s/m. In het midden van Arcen kan dit een te groot waterbezwaar opleveren door de beperkte komberging en aanwezige drempelniveaus van huizen. In bijlage 4 is per kom aangegeven wat het kritieke drempelniveau is, de aanwezige lengte en de beschikbare berging. In Tabel 6 is per kom aangegeven wat het te verwachte waterbezwaar is en de benodigde pompcapaciteit wanneer de berging vol is. De hierbij gehanteerde uitgangspunten:

- Een maximaal uurgemiddeld overslagdebiet van 1 en 5 l/s/m;
- Een pompcapaciteit van 500 m³/uur per pomp (meest gebruikte pompen binnen Waterschap Limburg die makkelijk inzetbaar zijn);
- Een tijdsduur van 4 uur.

Tabel 6: Samenvatting komberging Arcen Midden.

Kom	Beschikbare komberging m ³	Waterbezwaar bij 1 l/s/m	Waterbezwaar bij 5 l/s/m	Benodigde hoeveelheid pompen bij 1 l/s/m	Benodigde hoeveelheid pompen bij 5 l/s/m
1	400	1.040	6.800	1	4
2	0	2.880	14.400	2	8
3	1.100	3.940	24.100	2	13
4	1.300	2.300	16.700	2	9

Te zien is dat een overslagdebiet van 1 en 5 l/s/m door de kleine komberging een behoorlijk waterbezwaar geeft. In kom 2 is zonder aanpassing of noodmaatregel niet eens komberging beschikbaar en loopt het water verder door naar een binnendijks gelegen laagte van het dorp. Met beide overslagdebieten wordt voldaan aan de hoogwaterveiligheidsnorm. Daarnaast moet ook worden voldaan aan de NBW-norm van 1/100e. Er is sprake van waterbezwaar vanaf 0,1 l/s/m. Met een faalkansruimte van 36% voor GEKB (zie paragraaf hoogte) is de berekende kans bij 2050 en 2100 respectievelijk 1/106e en 1/107e. Er wordt dus ook aan deze norm voldaan.

Overslagdebieten van 1 en 5 l/s/m komen alleen onder maatgevende omstandigheden voor en hebben een kleine kans van voorkomen: de berekende kans ligt tussen de 1/200 en 1/300 per jaar. Het in Tabel 6 berekende waterbezwaar komt daardoor alleen onder deze omstandigheden voor. Desondanks is het nodig om handelingsperspectief te houden om met noodmaatregelen het waterbezwaar beheersbaar te houden. Het verschil in



waterstand tussen 1 l/s/m en een groter overslagdebiet is klein en heeft daardoor qua beheersbaarheid snel grotere gevolgen. Daarnaast kan het hoogwater in de zomer van 2021 leiden tot een ongunstige bijstelling van de belastingstatistiek.

Al met al moet worden gezocht naar een balans in de uitgangspunten, om niet op een onnodig hoog ontwerp uit te komen. Zoals eerder verwoord wordt conform het beleid van Waterschap Limburg voor het bovengronds zichtbare deel van de constructies in dit deel van Arcen uitgegaan van een ontwerplevensduur van 50 jaar, bij het toepassen van glas en coupures. Bij het eventueel toepassen van een zelfsluitende kering wordt, gezien de LCC en het ontbreken van zichtbelemmering wel een ontwerplevensduur van 100 jaar gehanteerd.

Daarom is voor deze vier locaties het uitgangspunt:

- Een overslagdebiet van 1 l/s/m;
- Bijzonder goed aandacht en invulling te geven aan de afwatering in de ontwerpen voor deze locaties. Zoals het in verbinding stellen van de afwatering tussen tuinen.

3.6 Faalkansverdeling

Met voorgaande paragrafen is een aanpassing van de faalkansverdeling onderbouwd. Op basis hiervan wordt de volgende faalkansbegroting gehanteerd:

Faalmechanisme	Faalkansruimte
Macrostabieleit	4%
Piping	4% (-20)
Bekleding	10%
Hoogte	36% (+12)
Kunstwerken	16% (+8)
Overig	30%

3.7 Hoogte

Vanuit de omgeving bestaat de wens om de keringen zo te ontwerpen dat deze zo laag mogelijk wordt gezien de impact en inpasbaarheid van de waterkering in met name het midden van Arcen. Dat kan alleen door extra faalkansruimte toe te kennen aan GEKB en HTKW. De berekening van het hydraulisch belastingniveau resulteert dan in lagere waarden. In welke mate dit mogelijk is, hangt af van de ruimte die geboden wordt door de andere sporen.

Voor deze analyse van de faalkansruimte voor GEKB en HTKW zijn de hydraulische randvoorwaarden voor 2050 en 2100 bepaald, zie Bijlage 2. De hierbij gehanteerde uitgangspunten zijn:

- Windstatistiek windstation Deelen met onzekerheidstoelag;
- Afvoerstatistiek Borgharen met onzekerheidstoelag en overstromingskans Wallonië meegenomen;
- Klimaatscenario W+;
- HOB-model met netto waterstandseffecten;
- Modelonzekerheden;
- Waterstand: verwachtingswaarde 0m; standaarddeviatie 0,3m;



- Waterstanden bij terugkeertijden 1/1, 1/2, 1/5, 1/10, 1/30, 1/100, 1/300, 1/1000 en 1/3000;
- Overslagdebiet van 5 l/s/m, met uitzondering van 1 l/s/m voor de vier locaties zoals genoemd in de paragraaf overslagdebiet;
- De gehanteerde faalkansverdeling;
- Berekeningen in Hydra-NL voor zichtjaren 2050 en 2100. Inter-/extrapolatie naar 2075 en 2125.

Grofweg is er voor elk procentpunt faalkansbudget meer, ook een vermindering van 0,01 meter van het hydraulisch belastingniveau. Dit ligt in de lijn der verwachting op basis van de berekeningen bij Nieuw-Bergen [8]. In Bijlage 2 zijn de hydraulische belastingniveaus voor een overslagdebiet van 1 l/m/s en 10 l/m/s ook opgenomen.

De berekende waterstand bij de norm (WBN) en het hydraulisch belastingniveau (HBN) zijn per dwarsprofiel afgerond op 0,05 meter en opgenomen in Tabel 7. In deze tabel zijn de waarden bij een terugkeertijd van 1/100 per jaar opgenomen, dat is de ondergrens waarbij ontworpen wordt.

Tabel 7: Hydraulische randvoorwaarden Arcen.

Locatie	Vak	DWP	Opmerking	Overslagdebiet [l/m/s]	WBN2075 [m+NAP]	WBN2125 [m+NAP]	36% HBN2075 [m+NAP]	36% HBN2125 [m+NAP]
Zuid	1a	1B(D2)	Natura 2000	5	17,55	17,85	18,00	18,30
Zuid	1b	1B(D1)	Keermuur kasteeltuin	5	17,55	17,85	18,00	18,30
Zuid	2	2B schans		5	17,55	17,85	18,00	18,30
Zuid	2	2B schans		5	17,55	17,85	18,00	18,30
Zuid	2	2B schans		5	17,55	17,85	18,00	18,30
Zuid	2	2B dijk		5	17,55	17,85	18,05	18,35
Zuid	3c	3C_deel_1		5	17,55	17,85	18,05	18,35
Zuid	3c	3C_deel_2	Beek	5	17,55	17,85	18,00	18,30
Zuid	4	4B		5	17,55	17,85	18,00	18,30
Midden	5	5A(D1)	Harde kering	5	17,50	17,80	18,00	18,30
Midden	5	5A(D1)	Harde kering	5	17,50	17,80	18,00	18,30
Midden	5	5A(D1)	Harde kering	5	17,50	17,80	18,00	18,30
Midden	5	5A(D1)	Harde kering	5	17,50	17,80	18,00	18,30
Midden	5	5A(D1)	Harde kering	5	17,50	17,80	18,00	18,30
Midden	5	5A(D2)	Harde kering	5	17,50	17,80	18,00	18,30
Midden	6	DWP-1	Harde kering	1 (kom 1)	17,45	17,75	18,10	18,40
Midden	7	DWP-2	Harde kering	1 (kom 2)	17,45	17,75	18,10	18,40
Midden	7	DWP-2	Harde kering	1 (kom 2)	17,45	17,75	18,10	18,40
Midden	7	DWP-2	Harde kering	1 (kom 2)	17,45	17,75	18,10	18,40
Midden	7	DWP-2	Harde kering	1 (kom 2)	17,45	17,75	18,10	18,40
Midden	7	DWP-2	Harde kering	1 (kom 2)	17,45	17,75	18,10	18,40
Midden	7	DWP-3	Harde kering	1 (kom 3)	17,45	17,75	18,05	18,35
Midden	7	DWP-4	Harde kering	1 (kom 3)	17,40	17,70	17,95	18,25
Noord	8a	8C(D1)BIN		1 (kom 4)	17,35	17,65	17,85	18,15
Noord	8a	8C(SD2)		5	17,25	17,55	17,70	17,95



HWBP Noordelijke Maasvallei

Locatie	Vak	DWP	Opmerking	Overslagdebiet [l/m/s]	WBN2075 [m+NAP]	WBN2125 [m+NAP]	36% HBN2075 [m+NAP]	36% HBN2125 [m+NAP]
Noord	8a	8C(SD2)		5	17,25	17,55	17,65	17,95
Noord	8b	8C(SD3)		5	17,25	17,55	17,65	17,95
Noord	8c	8C(SD3)		5	17,20	17,50	17,55	17,85
Noord	8c	8A_HWBP		5	17,05	17,35	17,45	17,70
Noord	8c	8A_HWBP		5	17,05	17,35	17,45	17,70
Noord	9	9B_(D1)		5	17,00	17,30	17,45	17,70
Noord	9	9B_(D1)		5	17,00	17,30	17,45	17,70
Noord	9	9B(D2)		5	17,00	17,30	17,40	17,65
Noord	9	9B(D3)		5	17,00	17,30	17,40	17,65



4 Eisen vanuit de beheerder

In onderstaande tabel zijn aanvullende eisen voor Arcen op de NVU2.0 toegevoegd die niet vallen onder *Ondergrond of Faalkansverdeling*.

Tabel 8: Overige project specifieke eisen voor Arcen.

Eisnaam	Eistekst
Bovenbelasting in verband met bereikbaarheid groot materieel	In overleg met de beheerder moet worden gekeken of er in Arcen locaties zijn waar de waterkering ten minste tot BGT beschikbaar & begaanbaar te blijven voor groot materieel, met een bovenbelasting van verkeersklasse vrachtauto's 6x6, 40 tons rupskranen.
Inspectie- en onderhoudspad: belastbaarheid	Voor het inspectie- en onderhoudspad dient ten minste tot BGT rekening te worden gehouden met een verkeersbelasting van 15 kN/m ² over 3 m breedte. De belastingspreiding dient 30 graden te bedragen en de aanpassing van wateroverspanning in de slappe lagen als gevolg van de verkeersbelasting dient 0% te bedragen.
Inrichting inspectie- en onderhoudspad: minimale verhardingsbreedte	De totale kruinbreedte dient 4,5 meter te bedragen waarvan de minimale breedte van de verharding van een inspectie- en onderhoudspad 3,0 m met een weerszijde een wegberm van 0,75 m.
Maximaal toelaatbaar overslagdebiet	Waterschap Limburg gaat standaard uit van een maximaal overslagdebiet van 5 l/s/m. In overleg met de beheerder kan hier gemotiveerd van worden afgeweken.
Kabels en Leidingen: schadefactor	Bij het ontwerp van leidingen conform NEN 3650 / 3651 dient een importantiefactor (schadefactor) van 0,8 te worden gehanteerd.



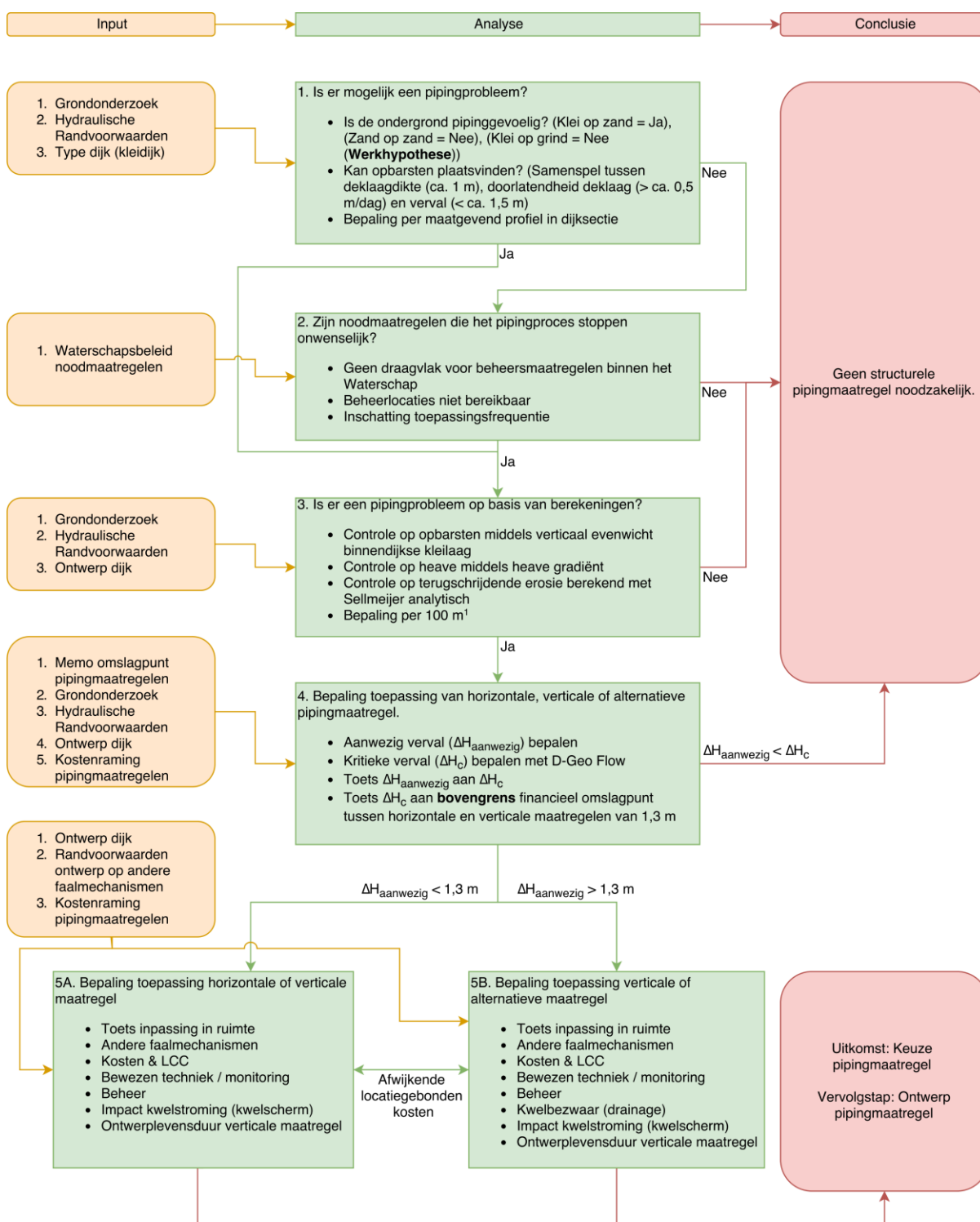
5 Referenties

- [1] IO.PROG.29.002 Nota van uitgangspunten ontwerp Tranche 2
- [2] Handreiking ontwerpen met overstromingskansen, OI2014v4, Rijkswaterstaat, december 2016
- [3] WBI Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017, Bijlage III Sterkte en veiligheid
- [4] Dwarsprofielen DR65_Arcen_1021 tot en met _1028, Arcadis, januari 2021
- [5] VKA vakindeling: Nota Dijkverbetering, Systeemmaatregel en Beekherstel Voorkeursalternatief DT65 Arcen, 29-5-2020
- [6] Excel Waterstanden bij lage terugkeertijden, IB Noordelijke Maasvallei, 18-11-2021
- [7] Nadere bepaling faalkansruimte Arcen, IB Noordelijke Maasvallei, 02-02-2022
- [8] Faalkansbegrotinganalyse voor Nieuw-Bergen, 30-11-2018
- [9] Memo Hydraulische Randvoorwaarden Arcen 1.0 Concept, 02-10-2020
- [10] KPR-Advies voor te hanteren kritieke gradient en faalkansruimte bij heave bij kwelschermen (KPR-advies nr. 600), 24-09-2018



BIJLAGE 1: PIPINGPROTOCOL

In onderstaand figuur is het pipingprotocol uit [1] overgenomen.



Figuur 6: Pipingprotocol.



BIJLAGE 2: RESULTATEN HBN BIJ OVERSLAG- DEBIET 1, 5 EN 10 L/M/S

Voor deze bijlage wordt verwezen naar het Excel bestand:

Bijlage 2 Hydraulische randvoorwaarden Arcen 36_pct.xlsx



BIJLAGE 3: GRONDONDERZOEK

Voor deze bijlage wordt verwezen naar Bijlage 3 met in die map:

Bijlage 3a - d70

Bijlage 3b - GA211060 Boorprofielen 2021-12-17

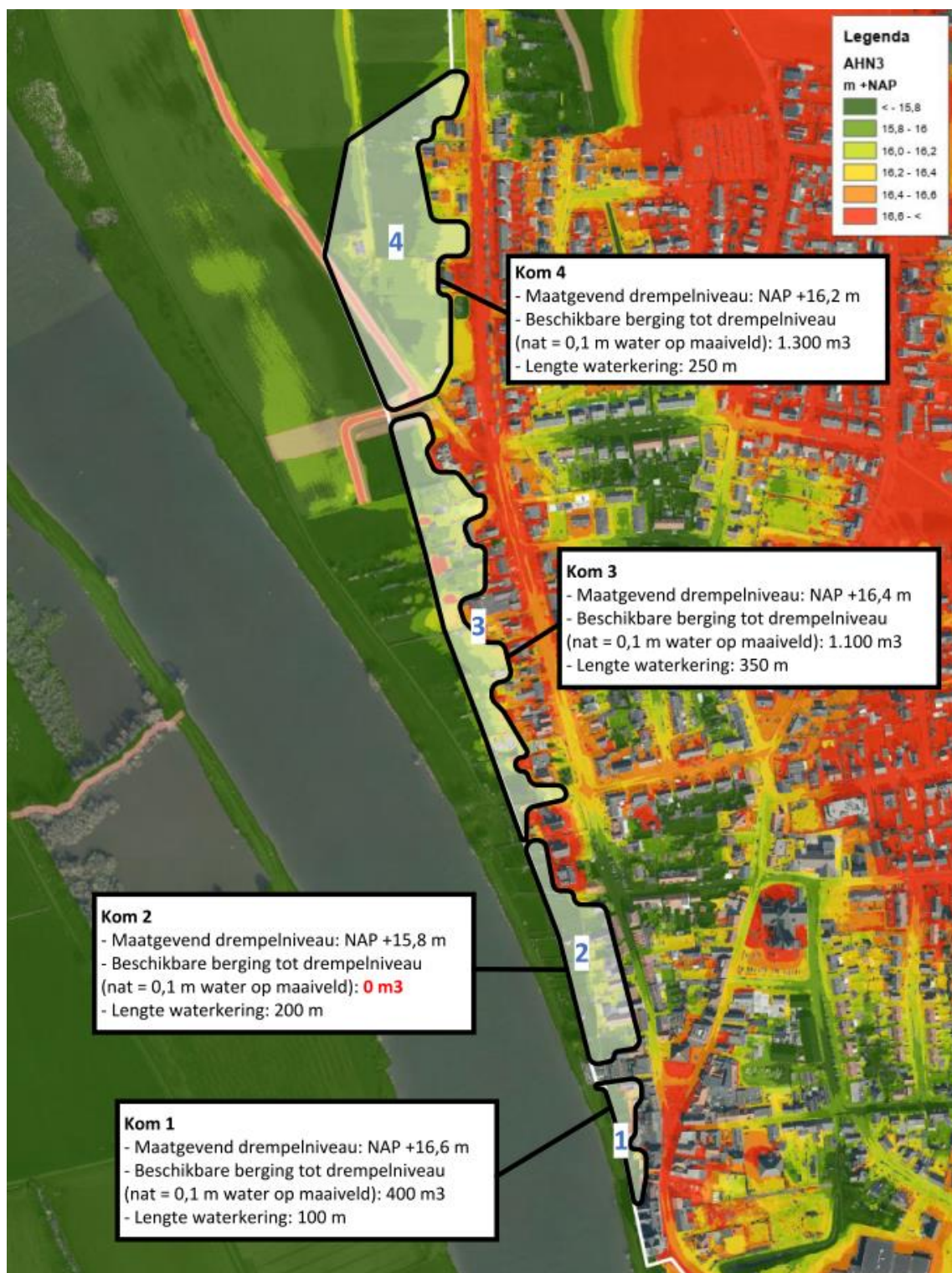
Bijlage 3c - 02P008617-04-RG-01-dijkkring 65-def

Bijlage 3d - boorstaten



BIJLAGE 4: ANALYSE OVERSLAGDEBIET ARCEN

Hieronder is een weergave van Arcen Midden opgenomen met daarin kom 1 tot en met kom 4 met bijbehorend bergingsvolume.



Figuur 7: Komberging in Arcen Midden.

