

LBO2 Traject 62-1

Logboek beoordeling Indirecte mechanismen



Bezoekadres

Maria Theresialaan 99
6043 CX Roermond

Postadres

Postbus 2207
6040 CC Roermond

IBAN: NL10NWAB0636750906
KvK: 67682065

088 88 90 100
info@waterschaplimburg.nl
www.waterschaplimburg.nl

titel LBO2 Traject 62-1
subtitel Logboek beoordeling Indirecte mechanismen
datum 16-07-2025
versie 2.0
status Concept
zaaknr. 2024-Z9588
documentnr. WLDOC-2066690340-73432

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

naam	functie	rol
	Adviseur waterveiligheid	Opsteller
	Adviseur waterveiligheid	Controleur
	Projectleider waterveiligheid	Eindredactie en vaststelling

Inhoudsopgave

1	Inleiding	4
1.1	Beschrijving mechanisme	4
1.2	Leeswijzer	4
2	Dijkvakindeling	4
3	Stabiliteit buitentalud	6
3.1	Aanpak	6
3.2	Uitgangspunten berekening	6
3.3	Resultaten	8
4	NWO's	11
4.1	Kabels en leidingen	11
4.1.1	Algemene uitgangspunten	11
4.1.2	Eerste globale analyse	12
4.1.3	Nadere analyse	14
4.2	Bomen (begroeiing)	19
4.2.1	Algemeen	19
4.2.2	Analyse faalpad	20
4.3	Bebouwing	22
5	Voorlanden	24
6	Referenties	26

1 Inleiding

1.1 Beschrijving mechanisme

Dit logboek beschrijft hoe het oordeel voor de Indirect mechanismen voor dijktraject 62-1 Wanssum-Blitterswijck tot stand is gekomen en welke keuzes bij de schematisatie zijn gemaakt. Indirecte mechanismen zijn mechanismen die veelal niet direct tot falen leiden, maar de kering zodanig verzwakken dat de faalkans voor andere mechanismen/faalpaden toeneemt. In dit logboek komen de volgende indirecte mechanismen aan bod:

- Stabiliteit buitentalud
- NWO's:
 - Kabels en leidingen
 - Bomen (begroeiing)
 - Bebouwing
- Voorlanden

Resultaten van dit spoor zijn meegenomen in de assemblage van het dijktraject om zo de faalkans van het traject te bepalen. Voor de resultaten van assemblage wordt verwezen naar de beoordelingsrapportage [13].

1.2 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 beschrijft de dijkvakindeling en de keuzes die hierin zijn gemaakt. Hoofdstuk 3 beschrijft de beoordeling van het indirect mechanisme 'stabiliteit buitentalud', hoofdstuk 4 van de NWO's en hoofdstuk 5 van de voorlanden.

2 Dijkvakindeling

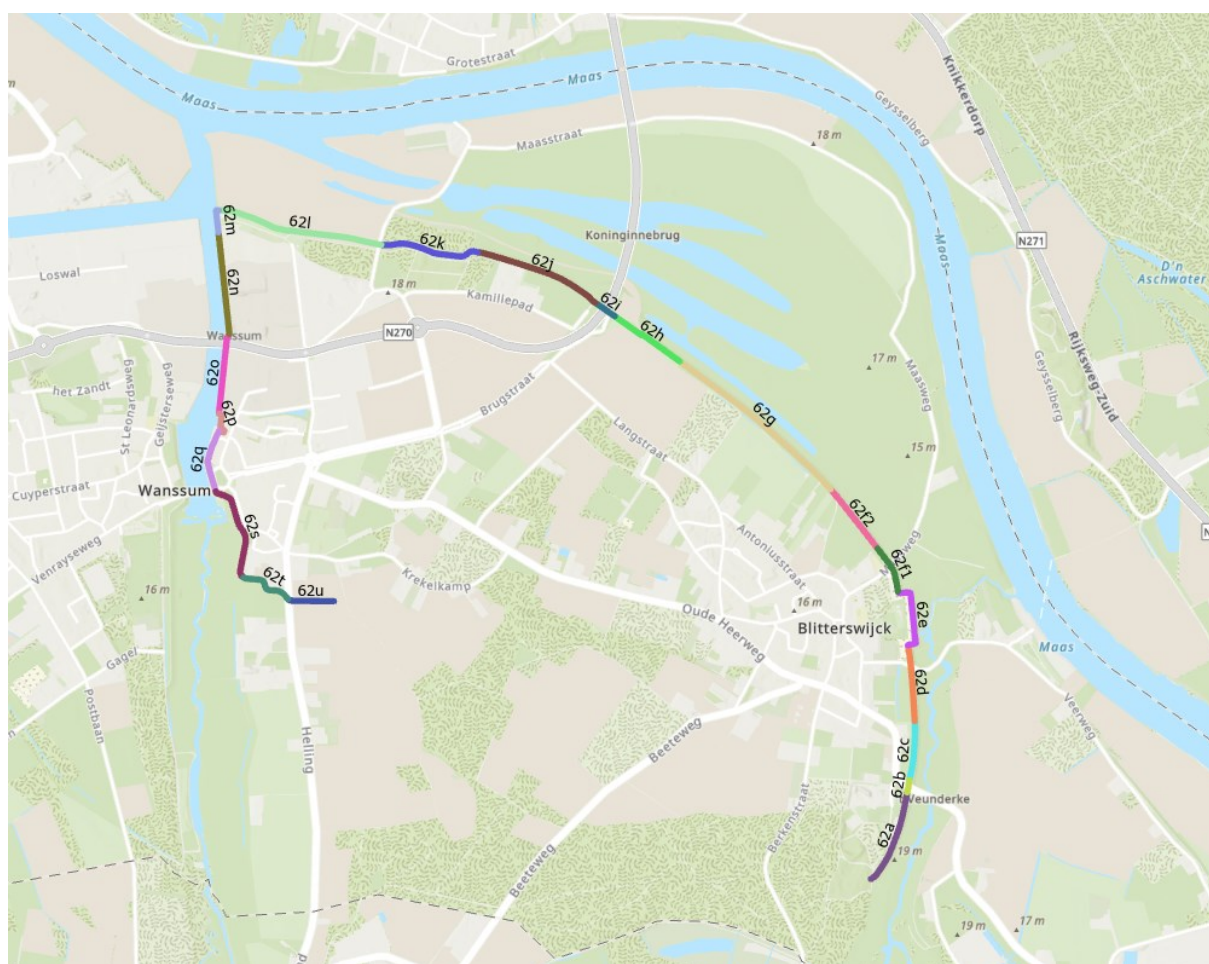
In het 'verhaal van de kering' [2] is een basisvakindeling van dijktraject 62-1 gepresenteerd. Deze basisvakindeling bestaat al uit relatief kleine dijkvakken. Omdat het dijktraject (relatief) recent is versterkt, en de basisvakindeling is gebaseerd op de ontwerpdijsvakken, is de geometrie en grondopbouw binnen de basis dijsvakken relatief homogeen. Er is derhalve geen reden de basis dijsvakindeling verder op te splitsen voor de beoordeling op indirecte mechanismen. De gehanteerde dijsvakindeling is gelijk aan de basisvakindeling, en opgenomen in Tabel 1 en Figuur 1.

Tabel 1: Dijkvakindeling beoordeling geotechnische instabiliteit

Dijkvak	Dijkpaal van	Dijkpaal tot	Lengte (m)	Eigenschappen / dijktype
62a	62.032	62.035+20	320	Steilranddijk
62b	62.035+20	62.035+60	40	Bastion t.p.v. hoogwaterbrug Ooijenseweg
62c	62.035+60	62.037+60	200	Steilranddijk
62d	62.037+60	62.040+10	250	Steilranddijk met afwateringssloot
62e	62.040+10	62.042+50	240	Klassieke groene dijk
62f1	62.042+50	62.044	160	Steilranddijk, relatief steil binnentalud

Logboek beoordeling indirecte mechanismen

62f2	62.044	62.046+60	250	Steilranddijk, zeer flauw binnentalud
62g	62.046+60	62.053+20	660	Steilranddijk met afwateringssloot
62h	62.053+20	62.055+90	270	Steilranddijk
62i	62.055+90	62.056+70	80	Bastion t.p.v. N270 Koninginnebrug
62j	62.056+70	62.061	430	Steilranddijk
62k	62.061	62.064+30	330	Hoge gronddijk (met bebossing)
62l	62.064+30	62.069+50	550	Hoge gronddijk (akkerbouw)
62m	62.069+50	62.070+40	85	Industriehaven (vernieuwd in GOW)
62n	62.070+40	62.073+80	340	Industriehaven (origineel)
62o	62.073+80	62.076+70	270	Industriehaven (vernieuwd in GOW)
62p	62.076+70	62.077+60	90	Dorpshaven met damwand
62q	62.077+60	62.080	210	Dorpshaven met keermuur. Hierin ligt ook het bastion t.p.v. N270 Lienebrug.
62s	62.080	62.083	330	Klassieke dijk (oriëntatie west)
62t	62.083	62.084+80	180	Klassieke dijk (oriëntatie zuid)
62u	62.084+80	62.086+30	150	Klassieke dijk met zeer flauw buitentalud



Figuur 1: Dijkvakindeling beoordeling geotechnische instabiliteit

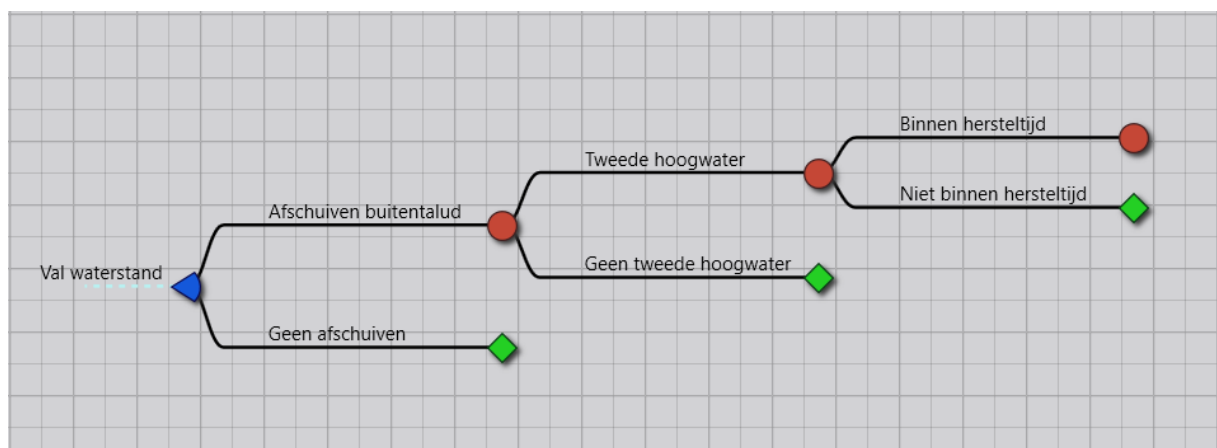
3 Stabiliteit buitentalud

3.1 Aanpak

In LBO1 is de stabiliteit van het buitentalud (STBU) niet beoordeeld, omdat dit niet relevant werd geacht voor het Voorlopig Oordeel. De verwachting is dat stabiliteit van het buitentalud niet bepalend is voor de faalkans van dijktraject 62-1. Daarom is buitenwaartse stabiliteit in LBO2 beoordeeld op basis van een berekening van enkel het maatgevende glijvlak. Voor dit vak is een probabilistische analyse uitgevoerd op basis van fragility curves.

Op basis van de beschrijvingen van de vakken in het 'verhaal van de kering' [2] en de ontwerpnota's van Gebiedsontwikkeling Ooijen-Wanssum (zie ook 'verhaal van de kering') is vak 62s aan te wijzen als maatgevend dijkvak voor buitenwaartse stabiliteit. In dit vak is sprake van een relatief smalle kruin en relatief steil buitentalud in vergelijking met andere vakken. Bovendien is dit vak ook maatgevend gesteld voor geotechnische instabiliteit (stabiliteit binnenwaarts), hetgeen aangeeft dat de ondergrond relatief gevoelig is voor een afschuiving.

Omdat instabiliteit (afschuiving) van het buitentalud een indirect mechanisme betreft (lees: mechanisme leidt niet direct tot een overstroming), is het gehele faalpad doorlopen. Figuur 2 toont het faalpad.



Figuur 2: Faalpad afschuiven buitentalud

Een buitenwaartse afschuiving wordt geïnitieerd door een val van de waterstand na hoogwater. De kans op het afschuiven van het buitentalud is voor verschillende hoogwaterstanden (van waar de waterstand valt) bepaald middels probabilistische analyses in D-GeoStability.

Omdat een buitenwaartse afschuiving optreedt na een val van de waterstand, en dus bij een lage buitenwaterstand, is een tweede hoogwater nodig hoger dan het restprofiel, om tot een overstroming te kunnen leiden. Bovendien dient dit tweede hoogwater op te treden, voordat de kering na buitenwaartse afschuiving is hersteld.

3.2 Uitgangspunten berekening

Voor de berekening van buitenwaartse stabiliteit van dijkvak 62s zijn de volgende rekenuitgangspunten gehanteerd:

- De berekeningen zijn uitgevoerd met D-Stability 2023.01. Als glijvlakmodel is UpliftVan toegepast.
- Het maatgevend dwarsprofiel is bepaald op basis van AHN5;

- De grondopbouw is geschematiseerd conform de ontwerpberekeningen. Deze grondopbouw is gevalideerd o.b.v. boringen in Dinoloket, die het beeld uit de ontwerpberekeningen bevestigen. De grondopbouw bestaat uit een deklaag van zandige klei, met daaronder zand. Er is sprake van een kleine afwijking. In het ontwerp is een aanvullend scenario berekend, met een veenlaag. Deze veenlaag komt in Dinoloket echter slechts in 1 boring buitendijks voor, en is daarmee niet representatief geacht voor dit dijkvak. Dit scenario is daarmee komen te vervallen. De grondopbouw is geschematiseerd conform de basisberekening uit het ontwerp, met enkel zandige klei.
- De ligging van de aangebrachte kleibekledingen, zandsleuven en eventuele oude zanddijken is ook overgenomen uit de ontwerpberekeningen.
- Voor het bepalen van de fragility curve zijn de conditionele faalkansen berekend bij een val van de waterstand na hoogwater, waarbij als hoogwater de volgende waterstanden zijn gehanteerd:
 - o 15,80m+NAP (1/300)
 - o 16,00m+NAP
 - o 16,15m+NAP (overslag)

De waterstand van 16,15m+NAP is de meest waarschijnlijke waterstand waarbij 1l/s/m overslag optreedt.

De kansen van optreden van bovenstaande waterstanden zijn bepaald met Hydra-NL (zie verhaal van de kering voor de gebruikte HR-databases [2]).

- Voor de val van de waterstand is verondersteld dat de waterstand daalt van bovenstaande waterstanden tot een niveau gelijk aan het voorland. De freatische lijn ligt vanaf de buitenkruinlijn in binnenwaartse richting gelijk aan de hoogwatersituatie, vanaf de buitenkruinlijn in buitenwaartse richting verloopt de freatische lijn lineair naar buitenwaterstand (op voorlandniveau)
- Voor de situaties waarbij geen overslag optreedt (15,80 en 16,10m+NAP) is de freatische lijn bij hoogwater (vanaf binnenkruinlijn in binnenwaartse richting) geschematiseerd conform de uitgangspunten van de Waternet Creator voor kleidijken: een offset van 1m bij de buitenkruinlijn en van 1,5m bij de binnenkruinlijn. Hierbij is als grens gehanteerd dat de freatische lijn bij de binnenkruinlijn niet lager mag liggen dan de binnenteen.
- Voor de situatie waarbij tijdens hoogwater (voorafgaand aan de val) wel overslag (>1l/s/m) optreedt (16,15m+NAP) is het dijklichaam vanaf de binnenkruinlijn in binnenwaartse richting geschematiseerd als volledig verzadigd, als gevolg van het overslaande water. De freatische lijn volgt hier de bovenkant van het dijklichaam.
- De stijghoogte in de watervoerende zandlaag (PL3) verloopt lineair van buitenwaterstand (= voorland niveau) bij buitenteen naar maaiveldniveau ter plaatse van de zandsleuf.
- Er is geen indringingslengte in de deklaag van zandige klei aangehouden. Deze laag is namelijk relatief doorlatend, waardoor indringing over de gehele laag plaats vindt. Over de gehele deklaag van zandige klei vindt (lineaire) interpolatie van de waterspanningen plaats tussen PL1 en PL3.
- De sterkteparameters van de grondlagen zijn gebaseerd op de Proevenverzameling Noordelijke Maasvallei [5], op basis van het CSSM ondergrondmodel. Deze waarden kunnen veilig gebruikt worden, omdat het dijktraject 62-1 in het projectgebied van Noordelijke Maasvallei ligt. Voor alle grondlagen in vak 62s geeft de proevenverzameling enkel gedraineerde parameters; alle lagen zijn dan ook gedraineerd doorgerekend. Dit is plausibel, gezien het relatief doorlatende karakter van alle lagen. De karakteristieke parameters zijn opgenomen in onderstaande tabel.

Grondsoort	$\gamma_{dr} / \gamma_{nat}$	$\phi'_{CSSM\ kar}$
Zand, dijk	18,8/19,5	30,8
Klei, dijk	18,8/19,5	30,8
Klei, zandig	18,3/18,3	30,8
Zand, ondergrond*	18,5/20,5	31,8

* Voor 'Zand, ondergrond' worden de waarden voor 'Zand grof / grind fijn' uit de Proevenverzameling [5] aangehouden.

- Van de sterkteparameters is de wrijvingshoek (ϕ'_{CSSM}) als stochast geschematiseerd. De Proevenverzameling Noordelijke Maasvallei [5] bevat naast de eerder gepresenteerde karakteristieke waarden, ook de verwachtingswaarden / gemiddelde waarden. Deze zijn opgenomen in onderstaande tabel. In D-Stability zijn de gemiddelde waarden als gemiddelde ingevoerd, en is de standaard deviatie zodanig gekozen dat D-Stability uitkomt op een design waarde gelijk aan de hieronder getoonde karakteristieke waarden.

Grondsoort	$\phi'_{CSSM\ gemiddeld}$	$\phi'_{CSSM\ kar}$
Zand, dijk	32,9	30,8
Klei, dijk	32,9	30,8
Klei, zandig	32,9	30,8
Zand, ondergrond*	33,4	31,8

- Er zijn geen correlaties toegepast tussen de sterktes van verschillende grondlagen; dit is door de relatief eenvoudige grondopbouw niet nodig.
- In de probabilistische analyse wordt de modelonzekerheid als stochast toegepast. Op basis van de 'handreiking faalkansanalyse macrostabiliteit' [6] zijn hiervoor een verwachtingswaarde van 1,005 en standaarddeviatie van 0,033 gehanteerd, voor het UpliftVan glijvlakmodel.
- De kans op een tweede hoogwater dat kan zorgen voor overstroming van restprofiel is bepaald met Hydra-NL. Als hoogte van het restprofiel is als conservatieve inschatting de hoogte van het achterland aangehouden. Dit betekent dat is verondersteld dat het gehele dijklichaam verdwijnt als gevolg van de buitenwaartse afschuiving. Als hersteltijd (tijd die nodig is om de kering te herstellen na de buitenwaartse afschuiving) is twee maanden gehanteerd. Dit tijdsbestek is voldoende om op zijn minst een tijdelijke vervangende kering (bijv. een nooddamwand) te kunnen plaatsen.
- In de analyse zijn enkel waterstanden (van het hoogwater voorafgaand aan de val) tot 5cm boven kruinniveau als relevant meegenomen. Bij nog hogere waterstanden is de kering al tijdens het hoogwater gefaald op faalmechanisme hoogte. Deze faalkansruimte ook meenemen bij buitenwaartse afschuiving zou dubbeltelling van faalkansen betekenen. Daarom is de kans op een buitenwaartse afschuiving vanaf een waterstand van 16,56m+NAP (5 cm boven kruinniveau) op 0 gesteld.

3.3 Resultaten

Tabel 2 toont de berekende conditionele kansen op een afschuiving, bij verschillende waterstanden van het voorafgaande hoogwater. Hieruit volgt direct dat de kansen op een afschuiving bij situaties zonder overslag verwaarloosbaar klein zijn. Bij een situatie met overslag is de kans wat groter.

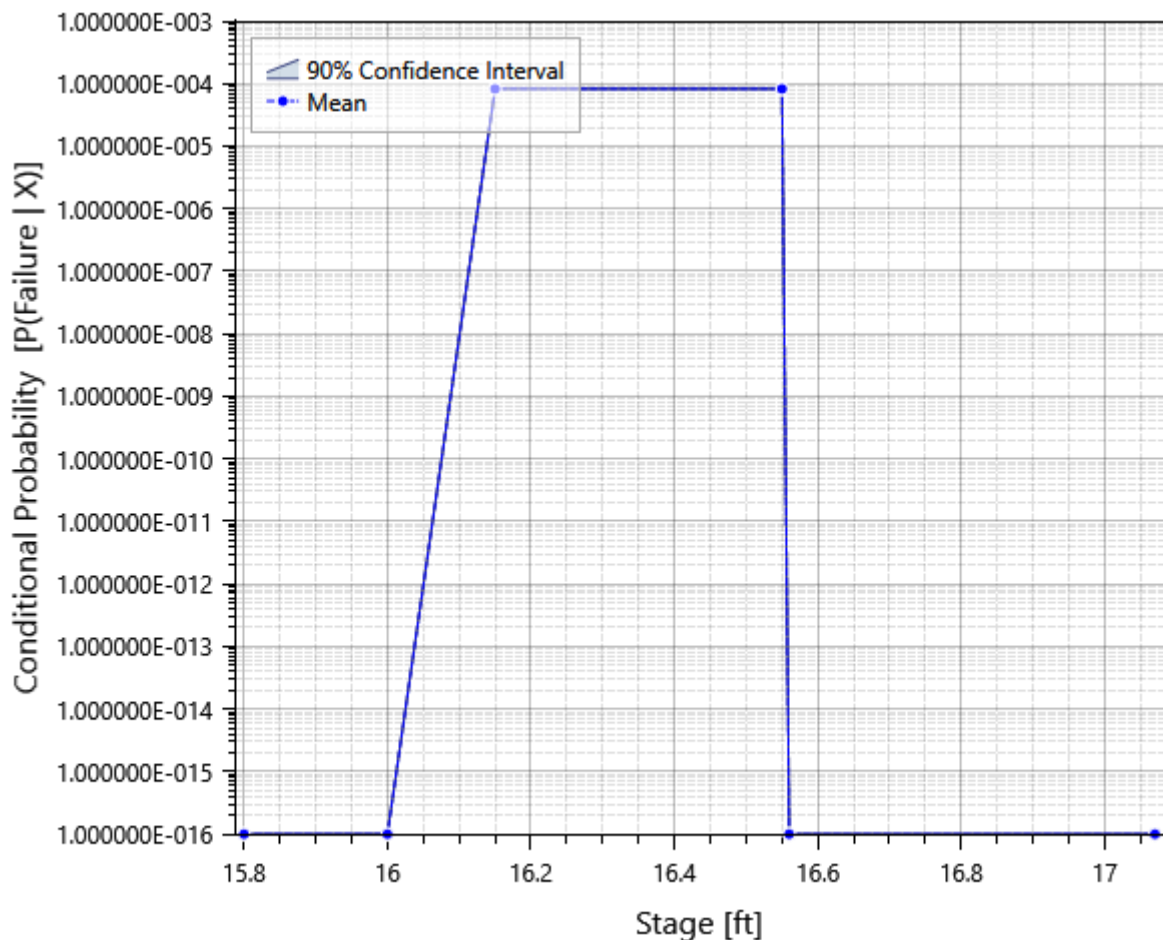
Tabel 2: Berekende conditionele kansen op buitenwaartse afschuiving

Waterstand [m+NAP]	Conditionele faalkans [-]
15,80	$2,4 \cdot 10^{-51}$

16,00	$1,6 \cdot 10^{-47}$
16,15 (overslag)	$2,5 \cdot 10^{-3}$

De kans op een tweede hoogwater (waterstand hoger dan het achterlandniveau) is bepaald met Hydra-NL, en bedraagt 1/10. Als hersteltijd is zoals gezegd 2 maanden aangehouden. Uitgaande van een hoogwaterseizoen van 6 maanden, is de kans dat een bepaalde waterstand binnen hersteltijd optreedt 1/3. De kans dat een tweede hoogwater binnen hersteltijd optreedt is daarmee $1/10 \cdot 1/3 = 1/30$.

Figuur 3 toont een figuur van de respons van de faalkans op de buitenwaterstand, een zogenaamde fragility curve. Hierin zijn zowel de kansen op een buitenwaartse afschuiving (bepaald met D-Stability) als de kansen op een tweede hoogwater binnen hersteltijd verwerkt. Op de x-as staat de waterstand (lezen als m+NAP). Uitintegreren van de respons (fragility curve) over de terugkeertijden van de waterstanden resulteert in een totale jaarlijkse overstromingskans van $6,27 \cdot 10^{-8}$ (1/16.000.000).



Figuur 3: Respons op waterstand (uitwerking faalpad)

De hierboven berekende overstromingskans betreft een kans op doorsnedeniveau. Op dezelfde wijze assembleren als voor binnenwaartse stabiliteit [8] resulteert in een overstromingskans van $4,36 \cdot 10^{-6}$ (ca. 1/230.000) op trajectniveau. Merk op dat dit een absolute bovengrens is, omdat de overstromingskans van de maatgevende doorsnede aan alle dijkvakken van het dijktraject is toegekend (m.u.v. de vakken waar buitenwaartse stabiliteit conform het plan van aanpak [3] al niet relevant is gesteld); ook aan dijkvakken die veel minder gevoelig zijn voor buitenwaartse stabiliteit.

De berekende bovengrens van $1/230.000$ is al ongeveer 3 orde groottes kleiner dan de overstromingskans van $1/320$ die is bepaald op hoogte. Op basis daarvan kan worden gesteld dat buitenwaartse stabiliteit niet significant bijdraagt aan de overstromingskans, en daarom niet is meegenomen in de assemblage.

4 NWO's

Binnen dijktraject 62-1 zijn verschillende niet-waterkerende objecten (NWO's) aanwezig, te weten begroeiing (bomen, bebossing, struiken, etc.), bebouwing en kabels en leidingen. Deze kunnen een invloed hebben op de faalkans. In dit hoofdstuk is de invloed van de NWO's op de overstromingskans van dijktraject 62-1 beschouwd. Voor sommige NWO's kan op basis van een beschouwing op hoofdlijnen al gesteld worden dat de bijdrage aan de overstromingskans verwaarloosbaar is, voor andere zijn nadere analyses uitgevoerd.

In de volgende paragrafen zijn de NWO's per categorie beschouwd. Let op: we beoordelen de invloed van NWO's op de overstromingskans van de waterkering; de NWO's komen daarom aan bod per dijkvak waarin ze voorkomen.

4.1 Kabels en leidingen

4.1.1 Algemene uitgangspunten

Bij de beoordeling van de bijdragen van de kabels en leidingen aan de overstromingskans van dijktraject 62-1, zijn de volgende algemene uitgangspunten gehanteerd:

- De ligging van de leidingen is bepaald op basis van een KLIC melding met datum 28 november 2024.
- Op basis van tabel A1-2 uit [7] geldt dat bij schade aan waterleidingen (zowel drink- als afvalwater) onder druk een maximale ontgrondingsstraal van ca. 25m optreedt. Hierbij is 500mm als grove schatting voor de maximale diameter gehanteerd voor de drukleidingen die voorkomen in het dijktraject. Deze maximale straal is meegenomen in de afweging of een leiding op basis van de ligging mogelijk risicovol kan zijn.
- Op basis van tabel A2-1 uit [7] geldt dat bij schade aan gasleidingen onder druk een maximale ontgrondingsstraal van ca. 20m optreedt. Dit geldt voor leidingen met een zeer grote diameter en hoge druk. Deze maximale straal is meegenomen in de afweging of een leiding op basis van de ligging mogelijk risicovol kan zijn.
- Voor leidingen zonder druk is verondersteld dat schade niet zal leiden tot ontgroning, maar eerder tot sluipende lekken. Voor (afval)waterleidingen kan dit wel een verhoging van de grondwaterstand als gevolg hebben. In de beoordeling op geotechnische stabiliteit [8] is reeds geconcludeerd dat de faalkans op stabiliteit bij een volledig verzadigde dijk en bij het maatgevende (lees: meest ongunstige) dijkvak vrijwel verwaarloosbaar is. Leidingen zonder druk, met sluipende lekken tot gevolg, zullen daarom niet tot nauwelijks bijdragen aan de overstromingskans.
- Kabels zijn als niet relevant beschouwd, omdat deze niet kunnen bijdragen aan de overstromingskans.
- De keringen in dijktraject 62-1 zijn over het algemeen zeer robuust aangelegd, zoals ook blijkt uit de berekende faalkansen voor geotechnische stabiliteit. Bij leidingen (onder druk) is in een eerste analyse o.b.v. de ligging kwalitatief beschouwd of schade aan de leiding kan leiden tot schade aan de dijk. Indien dit niet aannemelijk is, is de bijdrage aan de overstromingskans als niet relevant beschouwd.
- Een deel van dijktraject 62-1, bij de haven Wanssum, bestaat uit constructies: deels uit een damwand, en deels uit een samengestelde constructie (dubbele damwand of combinatie damwand en keermuur). Dergelijke 'harde' constructies zijn minder gevoelig voor de gevolgen van leidingschade dan groene dijken, omdat ze niet zomaar wegspoelen.
- De leidingen die parallel aan de waterkering liggen allemaal binnendijks, niet in het voorland. In de beoordeling op piping is het uittredepunt al standaard bij de binnenteen geschematiseerd. Mogelijke leidingschade en hierop volgende ontgroning zal daarmee niet

leiden tot een kortere kwelweg. Leidingschade zal daarom niet leiden tot een grotere overstromingskans op piping.

4.1.2 Eerste globale analyse

Op basis van bovenstaande uitgangspunten is voor elk dijkvak geïnventariseerd wat voor soort leidingen voorkomen, en is een eerste analyse naar de relevantie voor de overstromingskans uitgevoerd. Tabel 3 toont deze analyse. De vakken waarvoor op basis van deze analyse al kan worden gesteld dat leidingen niet relevant zijn, zijn groen gearceerd, vakken die nader beschouwd dienen te worden, zijn geel gearceerd.

In onderstaande tabel worden met 'waterleidingen' zowel drinkwaterleidingen als afvalwaterleidingen (zoals rioleringen) bedoeld.

Tabel 3: Eerste analyse kabels en leidingen

Dijkvak	Beschrijving profiel	Beschrijving leidingen	Eerste inschatting
62a	Robuust: binnentalud van 1:10 en flauwer, taludbreedte minimaal 10m, kruinbreedte (zonder natuurbuffer) van 7,8m.	Enkele waterleidingen parallel aan de dijk, op >40m afstand van de kruin (2 vrij verval, 1 persriool onder druk)	Leidingen liggen op zodanige afstand van het robuuste dijkprofiel, dat schade niet zal leiden tot schade aan de dijk. Niet relevant.
62b	Vergelijkbaar met 62a	Zelfde leidingen als 62a	Vergelijkbaar met 62a. Niet relevant
62c	Vergelijkbaar met 62a	Parallel dezelfde leidingen als 62a. Daarnaast enkele kruisende vrij verval leidingen (riool)	Voor parallelle leidingen geldt hetzelfde als bij 62a. Voor de kruisende leidingen geldt dat schade enkel leidt tot een sluipend lek, draagt niet bij aan overstromingskans. Niet relevant.
62d	Robuust: binnentalud van 1:9 en flauwer, taludbreedte minimaal 25m, kruinbreedte (zonder natuurbuffer) van 7,8m.	Enkele parallelle waterleidingen (vrij verval en persriool) op >40m afstand van de kruin. Daarnaast 2 kruisende drinkwaterleidingen en 1 kruisend persriool.	Parallelle leidingen liggen op zodanige afstand van het robuuste dijkprofiel, dat schade niet zal leiden tot schade aan de dijk; deze zijn niet relevant. Kruisende leidingen dienen nader beschouwd te worden.
62e	Kering is zeer robuust. Zo blijkt uit beoordeling geotechnische stabiliteit, waarin dit dijkvak semi-prob is doorgerekend, met stabiliteitsfactor van ca. 2,0.	Enkele parallelle (water)leidingen op 40 a 50m van de binnenteen. Daarnaast twee kruisende leidingen (1 vrij verval riool en 1 persriool)	Parallelle leidingen zijn niet relevant, door grote afstand tot de kering. Kruisende vrij verval leiding is niet relevant, alleen sluipend lek. Persriool dient nader beschouwd te worden.
62f1	Robuust: binnentalud van 1:6 en flauwer,	Vrij verval riool (900mm), drinkwaterleiding (50mm)	Vrij verval riool niet relevant, want enkel

	taludbreedte minimaal 11m, kruinbreedte (zonder natuurbuffer) van 7,8m.	en persriool (63mm) bij de binnenteen. Daarnaast drinkwaterleiding (100mm) en persriool (63mm) kruisend.	sluipend lek. Drinkwaterleiding en persriool (zowel parallel als kruisend) zijn ook als niet relevant beschouwd, door de zeer kleine afmetingen.
62f2	Zeer robuust, hoog achterland (aangeheeld)	Geen leidingen	Niet van toepassing
62g	Robuust	Geen leidingen	Niet van toepassing
62h	Robuust	Geen leidingen	Niet van toepassing
62i	Zeer robuust, bastion brug	Geen leidingen	Niet van toepassing
62j	Robuust: binnentalud van 1:10 en flauwer, taludbreedte minimaal 21m, kruinbreedte (zonder natuurbuffer) van 7,8m.	Twee waterleidingen zonder druk, op 15m van de binnenteen.	Leidingen zonder druk zijn niet relevant, want leiden enkel tot sluipend lek.
62k	Zeer robuust, hoge gronddijk	n.v.t.	Door robuuste karakter van hoge gronddijk zijn eventuele leidingen niet relevant geacht.
62l	Zeer robuust, hoge gronddijk	n.v.t.	Door robuuste karakter van hoge gronddijk zijn eventuele leidingen niet relevant geacht.
62m	Zeer robuust, kering bestaat uit damwand.	Twee drinkwaterleidingen (50 en 100mm) vlak achter de kering, en een vrij verval riool.	Leidingen hebben nauwelijks invloed, door de kleine afmetingen (drinkwater) of lage/geen druk (vrij verval riool), i.c.m. de robuuste damwand. Niet relevant.
62n	Zeer robuust, kering bestaat uit damwand.	Vrij verval riool (1000mm) en drinkwaterleiding (100mm), zowel parallel als kruisend.	Leidingen hebben nauwelijks invloed, door de kleine afmetingen (drinkwater) of lage/geen druk (vrij verval riool), i.c.m. de robuuste damwand. Niet relevant.
62o	Zeer robuust, kering bestaat uit damwand.	Vrij verval riool, zowel parallel als kruisend.	Leidingen hebben nauwelijks invloed, lage/geen druk, i.c.m. de robuuste damwand. Niet relevant.
62p	Zeer robuust, kering bestaat uit dubbele damwand.	Waterleiding (50mm) vlak achter de kering. Riool vrij verval leiding iets verder van de kering. Beide parallel.	Leidingen hebben nauwelijks invloed, door de kleine afmetingen (drinkwater) of lage/geen druk (vrij verval riool),

			i.c.m. de robuuste damwand. Niet relevant.
62q	Zeer robuust, kering bestaat uit dubbele constructie van damwand en keermuur.	Verschillende riool vrij verval leidingen nabij de kering, zowel parallel als kruisend. Overige keringen liggen op grote afstand (ca. 50m).	Leidingen hebben nauwelijks invloed, lage/geen druk, i.c.m. de robuuste constructie. Niet relevant.
62s	Minder robuust, voldoet nog steeds ruim op geotechnische stabiliteit, maar steilere taluds en minder kruinbreedte (reguliere groene dijk)	Verschillende soorten leidingen zowel parallel als nabij de binnenteen: gas hoge druk (160mm), gas lage druk (200mm), persriool (315mm) en waterleiding (200mm). Daarnaast een riool vrij verval leiding die enkel parallel loopt (en niet kruist).	De leidingen zonder druk zijn niet relevant, overeenkomstig met ander vakken. Van de overige leidingen kan niet zomaar gesteld worden dat ze niet relevant zijn. Deze dienen nader beschouwd te worden.
62t	Vergelijkbaar met 62s.	Kruisende WBL persleiding	Er kan niet zomaar gesteld worden dat de leidingen niet relevant is, dient daarom nader beschouwd te worden.
62u	Vergelijkbaar met 62s.	Drie kruisende leidingen: vrij verval riool (200mm), drinkwater (200mm) en lage druk gasleiding (110mm).	De gasleiding en vrij verval riool zijn niet relevant, vanwege de lage druk en beperkte omvang. Van de drinkwater leiding kan niet zomaar gesteld worden deze niet relevant is. Deze dient nader beschouwd te worden.

4.1.3 Nadere analyse

In deze paragraaf is de nadere analyse beschreven van de geel gearceerde vakken in Tabel 3. In deze nadere analyse van de bijdrage van leidingen aan de overstromingskans van het dijktraject is het faalpad van Figuur 4 gehanteerd. Hieronder volgt een korte omschrijving van de knopen in het pad:

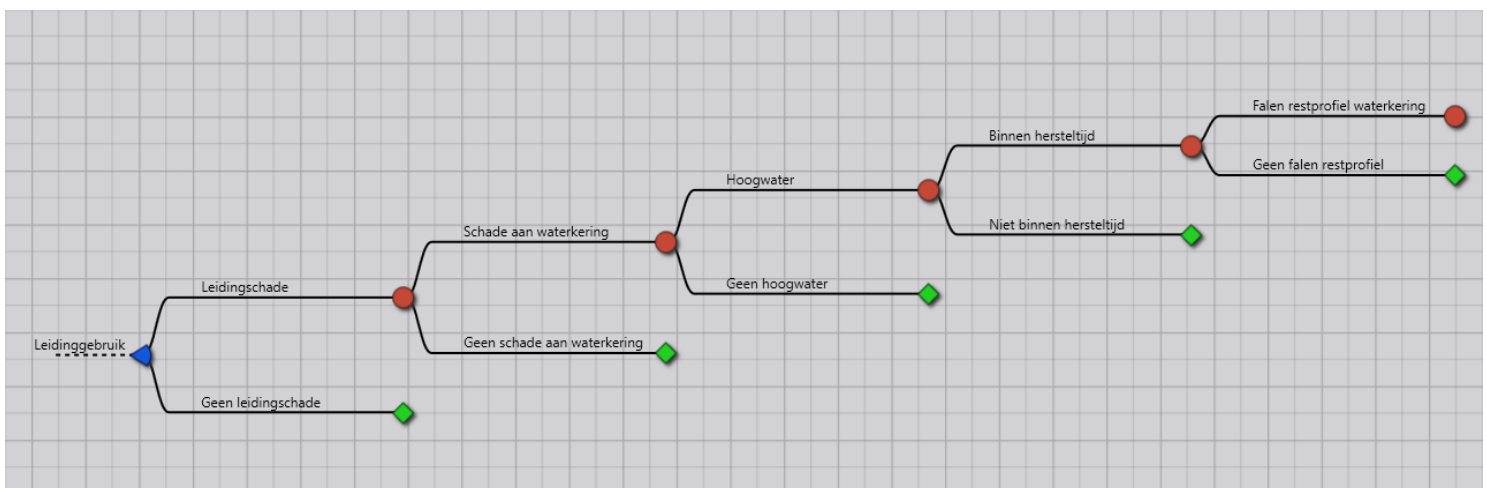
- Het initiële mechanisme in het faalpad is het optreden van leidingschade bij gebruik van de leiding. Dit mechanisme is onafhankelijk van de waterstand op de Maas. De kans op leidingschade is ingeschat op basis van ervaringsgetallen (gevallen van schade) uit de praktijk, afkomstig uit tabel 2-1 en 2-2 uit [7]. Deze kansen zijn afhankelijk van werkdruk in de leiding, diameter en materiaal, en zijn gegeven per meter leiding.
- Leidingschade leidt mogelijk tot schade aan de waterkering, afhankelijk van de ligging van de leiding en de omvang van de leidingschade. In de nadere analyse zijn alleen de leidingen beschouwd met een dusdanige ligging, dat leidingschade leidt tot schade aan de waterkering. De kans op schade aan de waterkering als gevolg van leidingschade is daarmee 1.

Er kan onderscheid gemaakt worden tussen verschillende soorten schade aan de waterkering. In 75% van de gevallen [7] resulteert leidingschade (bepaalt met de hierboven

beschreven tabellen) in een sluipend lek, waarvan reeds gesteld is dat dit niet relevant is voor de overstromingskans van het dijktraject. In de overige 25% van de gevallen ontstaat een gapend lek, waarbij ontgronding optreedt (erosiekrater). Deze ontgronding zorgt voor een verzwakking van het dijklichaam, waardoor de kans op overstromen (via een ander direct faalmechanisme) groter wordt. In deze analyse is als (zeer) conservatief uitgangspunt gehanteerd dat elke vorm van leidingschade binnen relevante afstand van de kering leidt tot compleet bezwijken van de waterkering (lees: kering verdwijnt volledig en laat geen restprofiel over). Met relevante afstand wordt bedoeld een zodanige afstand dat een mogelijke ontgronding als gevolg van leidingschade kan reiken tot aan de kruin.

- Een overstroming kan alleen optreden als de leidingschade wordt gevolgd door een hoogwater. Dit hoogwater dient op te treden voordat de schade aan de waterkering is hersteld, en gepaard te gaan met een zodanig hoge waterstand dat het restprofiel overstroomt.

De kans op een dergelijk hoogwater is bepaald met Hydra-NL, op basis van de kans dat een waterstand optreedt hoger dan het achterland (omdat is verondersteld dat er geen restprofiel achterblijft, zie vorige bullet). Als hersteltijd (tijd die nodig is om de kering te herstellen na de buitenwaartse afschuiving) is twee maanden gehanteerd. Dit tijdsbestek is voldoende om op zijn minst een tijdelijke vervangende kering (bijv. een nooddamwand) te kunnen plaatsen.



Figuur 4: Faalpad overstroming als gevolg van leidingschade

Vak 62d

Vak 62d bevat drie kruisende leidingen die nader beschouwd dienen te worden. Tabel 4 bevat de gegevens van deze leidingen. Enkele opmerkingen hierbij:

- Voor de drinkwaterleidingen is een bedrijfsdruk van 6 bar aangehouden. Dit komt overeen met leidingen van WML elders in Limburg.
- De bedrijfsdruk van de rioolleiding bedraagt 2 bar, o.b.v. de afgegeven vergunning [9].
- De ontgrondingsstralen zijn berekend a.d.h.v. diameter en materiaal m.b.v. de vereenvoudigde formule uit NEN3651, zoals beschreven in [7].

Leiding	Soort (mm en materiaal)	Druk	Ontgrondingsstraal	Kans op leidingschade (/m /jaar)
Drinkwater	250 NGIJ (gietijzer)	6 bar	16m	4,00E-06
Drinkwater	250 NGIJ (gietijzer)	6 bar	16m	4,00E-06
Riool druk	350 PE	2 bar	13m	1,00E-05

Verondersteld wordt dat leidingschade over een lengte van 2 maal de ontgrondingsstraal kan leiden tot schade aan de kering (een maal de straal lengte aan beide zijdes van de middenkruinlijn). De totale kans op schade aan de kering als gevolg van leidingschade is daarmee per leiding gelijk aan *“Faalkans per meter x 2 x ontgrondingsstraal”*. Sommeren van de leidingen resulteert in de totale kans op schade aan de kering als gevolg van leidingschade. Deze kans bedraagt 5,2E-04.

De kans op een hoogwater na schade (waterstand hoger dan het achterlandniveau) is bepaald met Hydra-NL (zie verhaal van de kering [2] voor gebruikte HR-databases), en bedraagt 1/5. Als hersteltijd is zoals gezegd 2 maanden aangehouden. Uitgaande van een hoogwaterseizoen van 6 maanden, is de kans dat een bepaalde waterstand binnen hersteltijd optreedt 1/3. De kans dat een tweede hoogwater binnen hersteltijd optreedt is daarmee $1/15 \cdot 1/3 = 1/15$.

De totale overstromingskans van de kering als gevolg van leidingschade bedraagt daarmee $5,2E-04 \cdot 1/15 = 3,4E-05$ (1/30.000). Deze kans is – zelfs op basis van de gehanteerde conservatieve uitgangspunten - niet dominant, zeker gezien voor hoogte al een overstromingskans voor dijktraject 62-1 van 1/320 is bepaald, en wordt dan ook niet meegenomen in de assemblage.

Vak 62e

Vak 62e bevat een kruisend persriool (riool onder druk) die nader beschouwd dient te worden. Tabel 5 bevat de gegevens van deze leidingen. Enkele opmerkingen hierbij:

- De bedrijfsdruk van de rioolleiding bedraagt 3 bar, o.b.v. de afgegeven vergunning [10].
- De ontgrondingsstralen en faalkansen per meter zijn bepaald op vergelijkbare wijze als voor vak 62d.

Tabel 5: Analyse leidingen 62e

Leiding	Soort (mm en materiaal)	Druk	Ontgrondingsstraal	Kans op leidingschade (/m /jaar)
Riool druk	250 PE	3 bar	12m	1,00E-05

Verondersteld wordt dat leidingschade over een lengte van 2 maal de ontgrondingsstraal kan leiden tot schade aan de kering (een maal de straal lengte aan beide zijdes van de middenkruinlijn). De totale kans op schade aan de kering als gevolg van leidingschade is daarmee per leiding gelijk aan *“Faalkans per meter x 2 x ontgrondingsstraal”*. Deze kans bedraagt 2,4E-04.

De overstromingskans als gevolg van leidingschade is bepaald door deze kans te combineren met de kans dat een hoogwater (met waterstand hoger dan achterland) volgt op de schade, binnen de twee maanden hersteltijd. Deze kans bedraagt 1/21.

De totale overstromingskans van de kering als gevolg van leidingschade bedraagt daarmee $2,4E-04 * 1/21 = 1,1E-05$ (1/90.000). Deze kans is – zelfs op basis van de gehanteerde conservatieve uitgangspunten - niet dominant, zeker gezien voor hoogte al een overstromingskans voor dijktraject 62-1 van 1/320 is bepaald, en wordt dan ook niet meegenomen in de assemblage.

Vak 62s

Vak 62s bevat drie leidingen die nader beschouwd dienen te worden; deze liggen zowel parallel als kruisend aan de kering. Tabel 6 bevat de gegevens van deze leidingen. Enkele opmerkingen hierbij:

- Voor de drinkwaterleidingen is een bedrijfsdruk van 6 bar aangehouden. Dit komt overeen met leidingen van WML elders in Limburg.
- De bedrijfsdruk van de rioolleiding is geschat op 10 bar, dit is de maximaal toegestane bedrijfsdruk onder de waterkering, zie de vergunning van de rioolleiding in vak 62t.
- De druk in de gasleiding is gebaseerd op de gegevens uit de KLIC-melding.
- De ontgrondingsstralen van waterleidingen (drinkwater en riool) zijn berekend a.d.h.v. diameter en materiaal m.b.v. de vereenvoudigde formule uit NEN3651, zoals beschreven in [7].
- De ontgrondingsstralen van de gasleiding is bepaald op basis van Tabel A2-2 uit [7].

Tabel 6: Analyse leidingen 62s

Leiding	Soort (mm en materiaal)	Druk	Ontgrondingsstraal	Kans op leidingschade (/m /jaar)
Gas hoge druk	160 PE	8 bar	5,6m	1E-05
Drinkwater	200 NGIJ	6 bar	13,5 m	2E-05
Riool druk	315 PE	10 bar	21 m	1E-05

De leidingen liggen parallel over een lengte van 200m langs het dijkvak. De kans op schade is voor de parallelle leidingen gelijk aan “*Som kansen per meter x 200*”. Voor kruisende leidingen wordt verondersteld dat leidingschade over een lengte van 2 maal de ontgrondingsstraal kan leiden tot schade aan de kering (een maal de straal lengte aan beide zijdes van de middenkruinlijn). De kans op schade aan de kering als gevolg van leidingschade bij kruisende leidingen is daarmee per leiding gelijk aan “*Faalkans per meter x 2 x ontgrondingsstraal*”.

De totale kans op schade is gelijk aan de som van beide (parallel en kruisend) van alle leidingen, en bedraagt $7,9E-03$.

De overstromingskans als gevolg van leidingschade is bepaald door deze kans te combineren met de kans dat een hoogwater (met waterstand hoger dan achterland) volgt op de schade, binnen de twee maanden hersteltijd. Deze kans bedraagt 1/30.

De totale overstromingskans van de kering als gevolg van leidingschade bedraagt daarmee $7,9E-03 * 1/30 = 2,6E-04$ (1/4.000). Deze kans is tot stand gekomen op basis van conservatieve uitgangspunten, en is daarmee een absolute bovengrens. De werkelijke overstromingskans als gevolg van leidingschade is naar alle waarschijnlijk significant lager. In vergelijking met de overstromingskans op hoogte van 1/320 (op trajectniveau), kan al worden gesteld dat de bovengrens van de overstromingskans als gevolg van leidingschade (1/4.000) niet dominant is. Op basis daarvan is besloten de overstromingskans als gevolg van leidingschade niet mee te nemen in de assemblage.

Vak 62t

Vak 62t bevat een kruisende leiding die nader beschouwd dient te worden. Dit is een persriool leiding van voormalig WBL (nu WL). Tabel 7 bevat de gegevens van deze leidingen. Enkele opmerkingen hierbij:

- Voor de drinkwaterleidingen is een bedrijfsdruk van 6 bar aangehouden. Dit komt overeen met leidingen van WML elders in Limburg.
- De bedrijfsdruk van de rioolleiding is gebaseerd op de vergunning [11].
- De ontgrondingsstraal is berekend a.d.h.v. diameter en materiaal m.b.v. de vereenvoudigde formule uit NEN3651, zoals beschreven in [7].

Tabel 7: Analyse leidingen 62t

Leiding	Soort (mm en materiaal)	Druk	Ontgrondingsstraal	Kans op leidingschade (/m /jaar)
Riool druk	500 PE	10 bar	29m	2,0E-06

Verondersteld wordt dat leidingschade over een lengte van 2 maal de ontgrondingsstraal kan leiden tot schade aan de kering (een maal de straal lengte aan beide zijdes van de middenkruinlijn). De totale kans op schade aan de kering als gevolg van leidingschade is daarmee per leiding gelijk aan *“Faalkans per meter x 2 x ontgrondingsstraal”*. Deze kans bedraagt 1,2E-04.

De overstromingskans als gevolg van leidingschade is bepaald door deze kans te combineren met de kans dat een hoogwater (met waterstand hoger dan achterland) volgt op de schade, binnen de twee maanden hersteltijd. Deze kans bedraagt 1/21.

De totale overstromingskans van de kering als gevolg van leidingschade bedraagt daarmee 1,2E-04 * 1/21 = 5,5E-06 (1/180.000). Deze kans is – zelfs op basis van de gehanteerde conservatieve uitgangspunten - niet dominant, zeker gezien voor hoogte al een overstromingskans voor dijktraject 62-1 van 1/320 is bepaald, en wordt dan ook niet meegenomen in de assemblage.

Vak 62u

Vak 62u bevat een kruisende leiding die nader beschouwd dient te worden; dit betreft een drinkwater leiding. Tabel 8 bevat de gegevens van deze leiding. Enkele opmerkingen hierbij:

- Voor de drinkwaterleiding is een bedrijfsdruk van 6 bar aangehouden. Dit komt overeen met leidingen van WML elders in Limburg.
- De ontgrondingsstraal van de leiding is berekend a.d.h.v. diameter en materiaal m.b.v. de vereenvoudigde formule uit NEN3651, zoals beschreven in [7].

Tabel 8: Analyse leidingen 62u

Leiding	Soort (mm en materiaal)	Druk	Ontgrondingsstraal	Kans op leidingschade (/m /jaar)
Drinkwater	200 NGIJ	6 bar	13,5	1,0E-05

Verondersteld wordt dat leidingschade over een lengte van 2 maal de ontgrondingsstraal kan leiden tot schade aan de kering (een maal de straal lengte aan beide zijdes van de middenkruinlijn). De totale kans op schade aan de kering als gevolg van leidingschade is daarmee per leiding gelijk aan *“Faalkans per meter x 2 x ontgrondingsstraal”*. Deze kans bedraagt 2,7E-04.

De overstromingskans als gevolg van leidingschade is bepaald door deze kans te combineren met de kans dat een hoogwater (met waterstand hoger dan achterland) volgt op de schade, binnen de twee maanden hersteltijd. Deze kans bedraagt $1/90$.

De totale overstromingskans van de kering als gevolg van leidingschade bedraagt daarmee $7,2E-04 * 1/90 = 3,0E-06$ ($1/330.000$). Deze kans is – zelfs op basis van de gehanteerde conservatieve uitgangspunten - niet dominant, zeker gezien voor hoogte al een overstromingskans voor dijktraject 62-1 van $1/320$ is bepaald, en wordt dan ook niet meegenomen in de assemblage.

4.2 Bomen (begroeiing)

4.2.1 Algemeen

In de ontwerpuitgangspunten van gebiedsontwikkeling Ooijen-Wanssum (GOW), die zijn te vinden in Bijlage 3 van de ontwerpnota [4] [12], zijn eisen gesteld aan het toestaan van bomen nabij de waterkering, zoals opgenomen in onderstaande Figuur 5. Uit de factsheets (Bijlage 6) zoals opgenomen in de ontwerpnota [4] [12], blijkt dat het ontwerp voor vrijwel alle dijkvakken voldoet aan deze eisen. Uitzondering hierop is ontwerpvak GMB_07 van de Groote Molenbeek [12], overeenkomstig met dijkvakken 62s en 62t, waarin bomen aanwezig zijn dicht bij de binnenteen. In het ontwerp van GOW zijn deze vakken goedgekeurd op basis van een maatwerkanalyse.

De verwachting is dan ook dat de bomen die aanwezig zijn in dijktraject 62-1 niet tot nauwelijks bijdragen aan de overstromingskans, en wel om de volgende redenen:

- De aanwezige bomen in dijktraject 62-1 staan allemaal binnendijks. De mogelijke invloed van bomen op de overstromingskans beperkt zich daarmee tot een verslechterde binnenwaartse stabiliteit in het geval van ontgroning van bomen.
De bomen hebben geen invloed op de kwelweg voor piping, omdat het uittredepunt van piping in de beoordeling al ter plaatse van de binnenteen ligt.
- De eisen die in GOW zijn gesteld aan bomen (Figuur 5) zijn zodanig dat verwacht kan worden dat bomen die voldoen aan deze eisen niet tot nauwelijks bijdragen aan de stabiliteit van waterkeringen (ook bij ontgroning), en daarmee aan de overstromingskans.
- De beheerorganisatie van Waterschap Limburg draagt zorg ervoor dat er aanvullend op de bomen die bij project GOW zijn blijven staan, en die dus voldoen aan de eisen, geen nieuwe bomen worden geplant die mogelijk invloed kunnen hebben op de overstromingskans. Dit is gebod door de *Waterschapsverordening Waterschap Limburg* [14]. Het resultaat van de toetsing in GOW is daarmee naar verwachting nog steeds geldig op peildatum 2035.

Ter verificatie van bovenstaande redeneerlijn is voor de maatgevende situatie een faalpadanalyse uitgevoerd, om de invloed van bomen bij de binnenteen op de overstromingskans te bepalen. De maatgevende situatie bevindt zich in dijkvakken 62s en 62t, waar zich bomen vrijwel direct bij de binnenteen bevinden, en waar in project GOW een maatwerkanalyse is uitgevoerd.

Logboek beoordeling indirecte mechanismen

Algemeen

Bomen zijn, zonder bijzondere maatregelen, niet toegestaan in de kern- en invloedzone van de kering. Tot de kernzone van de kering behoren in ieder geval de waterkering, eventuele stabiliteits- en/of pipingberm, zandsleuven en de lengte waarover de kleibekleding in het voor- en achterland wordt doorgezet (uitloopstroken). In bijlage 6 is per principe profiel de kernzone aangegeven.

Bij de beoordeling van het effect van bomen op de waterkerende veiligheid van de kering is rekening gehouden met een ontgrondingskuil van maximaal 1 m diep en 2 uit het hart van de boom (diameter = 4 m). Dit conform het voorontwerp met verwijzing naar het VTV2006. Bomen binnen de kernzone en invloedzone zijn alleen toegestaan in een overhoogte van minimaal 1 m. Daarnaast is ook altijd een beoordeling van de waterkeringbeheerder noodzakelijk i.v.m. beheerbaarheid, schaduwwerking, bladval, uitbreidbaarheid, etc.

Klassieke dijk – 1:3 – <1:8 taluds

- Beplanting (zoals heesters) en grondroering (geen ontgraving) zijn toegestaan buiten de kernzone. Aanwijzingen hiervoor zijn gegeven in de beleidsregels van het waterschap;
- Bomen op minimaal 5,5 m uit de kernzone bij 1:3 binnen- en buitentalud (conform voorontwerp). Hierbij is uitgegaan van een zandige ondergrond. In het geval de ondergrond uit klei bestaat bedraagt deze afstand tenminste 4 m vanuit de kernzone. Rekening houdend met uitloopstroken van 2,5 m en een zandige ondergrond kunnen bestaande bomen op 8,0 m (5,5 m + 2,5 m) uit de teenlijn van de waterkering behouden blijven. Wanneer rekening wordt gehouden met een 0,5 m brede zandsleuf als onderdeel van de kernzone van dijk bedraagt deze afstand 8,5 m vanuit de teenlijn van de dijk.

Steilranddijk

- Beplanting (zoals heesters) en grondroering (geen ontgraving) op een afstand van 2 m uit insteek van de erosiebuffer. Dat is vanaf het punt waar er minimaal 1 m dekking op de erosiebuffer aanwezig is;
- Bomen op 4 m afstand vanaf de insteek van de erosiebuffer. Onder een eventuele ontgrondingskuil is hier nog sprake van tenminste 1 m dekking op de erosiebuffer.

Documentcode:	Versie:	Status	Datum:	Pagina:
332-01659	1.0	Definitief	27-10-2017	46/65

Ontwerpuitgangspunten DO Groene Waterkeringen**Flauw binnentalud (≥1:8)**

- Beplanting (zoals heesters), agrarisch grondgebruik en grondroering in het algemeen (geen ontgraving) toegestaan vanaf locatie met minimaal 1 m gronddekking. Dit is op een afstand van 2 m vanaf de binnenkruinlijn bij een verholten bekleding van 1:2.
- Bomen zijn toegestaan vanaf het punt waar er sprake is van minimaal 1 m gronddekking. Bij een 1:20 talud is dat op ca. 4 m afstand vanaf de binnenkruinlijn.

Hoge Grond dijken en Lokale Hoogtes

- Medegebruik incl. beplanting en bomen zijn toegestaan op de Hoge Grond dijken en Lokale Hoogtes. Uitgangspunt is dat de veiligheid is geborgd bij het omvallen van individuele bomen. Er wordt geen rekening gehouden met het onwaarschijnlijke scenario dat een grote groep bomen bijvoorbeeld op de kruin van de waterkering in één keer omwaaien én de grond uit eventuele erosiekuilen ook nog eens direct is verdwenen.

SES-00825: De kernzone en invloedzone van de waterkering dienen vrij te zijn van bomen, tenzij via bijzondere maatregelen de waterveiligheid geborgd is

Figuur 5: Eisen aan bomen [4]

4.2.2 Analyse faalpad

Vak 62s is reeds beoordeeld op geotechnische stabiliteit binnenwaarts, zie het betreffende logboek [8]. Voor de beschouwing van de invloed van bomen op de stabiliteit is deze berekening aangepast door een ontgrondingskuil (als gevolg van windworp van de boom) toe te voegen. Voor de ontgrondingskuil zijn de afmetingen van 4m breed en 1m diep gehanteerd, op basis van expert judgement en in lijn met bestaande literatuur en de omvang van de lokale bomen. De stam van de

boom, en daarmee het midden van de ontgrondingskuil, staat op basis van luchtfoto's op ca. 3m afstand van de binnenteen.

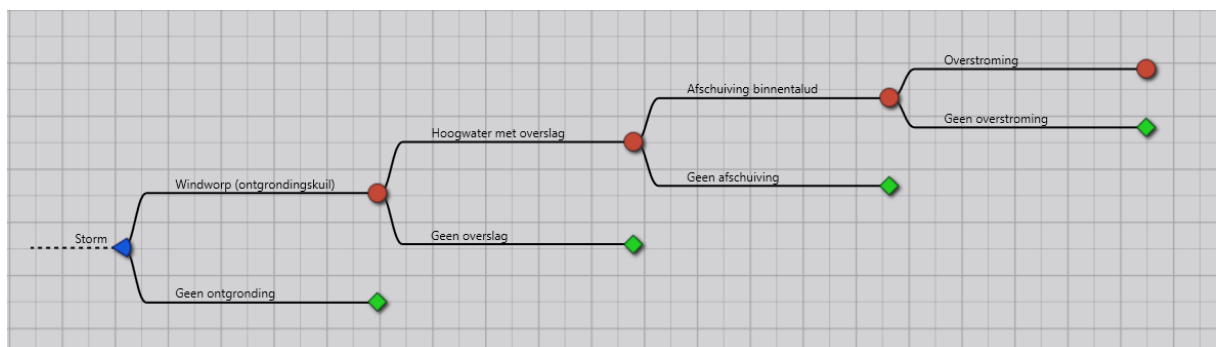
Tabel 9 toont de resultaten van de analyse, in de vorm van conditionele faalkansen voor een situatie met net geen overslag (waterstand 16,10m+NAP) en een situatie met verzadigde dijk door overslag (waterstand 16,15m+NAP), zowel voor de situatie zonder kuil (zoals beoordeeld in logboek stabiliteit [8]) als met ontgrondingskuil. Uit de resultaten blijkt dat ontgrondingskuil – zoals verwacht – zorgt voor een verhoging in conditionele faalkans. Bovendien blijkt dat ook bij een ontgrondingskuil de (conditionele) faalkans bij situaties zonder overslag nog steeds verwaarloosbaar is, en dat alleen de situatie met verzadigde dijk door overslag bepalend is voor de faalkans.

Tabel 9: Resultaten stabiliteit analyse

Waterstand [m+NAP]	Conditionele faalkans [-] zonder kuil [8]	Conditionele faalkans [-] met kuil
16,10	$9,7 \cdot 10^{-36}$	$3,5 \cdot 10^{-17}$
16,15 (overslag)	$2,5 \cdot 10^{-10}$	$1,0 \cdot 10^{-1}$

Het faalpad in Figuur 6 toont hoe bomen nabij de binnenteen tot een overstroming kunnen leiden. Merk op dat hier enkel de invloed op stabiliteit is opgenomen, omdat eerder al is gesteld dat de bomen geen invloed hebben op piping. Enkele opmerkingen en kansinschattingen bij de knopen:

- Mogelijke windworp (omvallen) van bomen ontstaat door een stormsituatie. Op basis van literatuur [15] is 1/20 een conservatieve inschatting van de jaarlijkse kans op windworp van bomen. We gaan hierbij uit van vitale bomen. De beheerorganisatie van WL borgt dat de vitaliteit van de bomen wordt gecontroleerd.
- Voor de waterkeringen in Limburg geldt dat een hoogwatersituatie niet stormgedomineerd is. Storm (en daarmee de kans op windworp) en hoogwater zijn onafhankelijk van elkaar. De kans op een overslagsituatie (16,15m+NAP) voor het beschouwde dijkvak 62s bedraagt 1/1.250 (bepaald met Hydra-NL).
- De kans op een afschuiving van het binnentalud, gegeven een ontgrondingskuil door windworp én overslag door hoogwater, bedraagt 1/10 (zie Tabel 9).
- Na een afschuiving kunnen vervolgprocessen (zoals doorgaande erosie) leiden tot een overstroming. De kans op deze vervolgprocessen is conservatief op 1 gesteld.



Figuur 6: Faalpad gerelateerd aan boom bij de binnenteen

De kans op een overstroming als gevolg van bomen bij de binnenteen volgt uit het product van de kansen op de knopen in het faalpad, en bedraagt $1/250.000^1$ voor dijkvak 62s.

Merk op dat dit een kans op doorsnedeniveau betreft. Voor de overstromingskans als gevolg van bomen op trajectniveau geldt een bandbreedte, met de volgende grenzen:

¹ $1/20 \cdot 1/1250 \cdot 1/10$

- Ondergrens van 1/250.000. Deze overstromingskans geldt bij (1) of volledige correlatie tussen de verschillende doorsnedes langs het dijktraject, waardoor de kans op trajectniveau gelijk is aan de maximale kans op doorsnedeniveau (2) of indien alle andere doorsnedes in het dijktraject (buiten de berekende doorsnede in vak 62s) een verwaarloosbare faalkans in relatie tot bomen hebben.
- Bovengrens van 1/3.600: Deze overstromingskans is bepaald op vergelijkbare wijze als conform de assemblage uit logboek geotechnische instabiliteit [8], en geldt in het geval van onafhankelijke dijkvakken én indien de overstromingskans als gevolg van bomen overal langs het dijktraject vergelijkbaar is (1/250.000 in elke doorsnede).

Naar verwachting zal de overstromingskans op trajectniveau dicht bij de ondergrens dan bij de bovengrens liggen, omdat:

- er een relatief hoge mate van correlatie in de faalpaden tussen doorsnedes bestaat, aangezien instabiliteit gedreven wordt door golfoverslag en daarmee in hoge mate bepaald wordt door de hydraulische belasting, die sterk gecorreleerd is langs het dijktraject, én
- de overstromingskansen (op doorsnedeniveau) in andere vakken dan de beschouwde vakken 62s en 62t naar verwachting significant lager zijn, omdat deze in project GOW reeds zijn goedgekeurd op basis van de standaard eisen, en geen maatwerkanalyse nodig was.

Echter, zelfs bij de bovengrens ligt de overstromingskans nog een factor 10 lager dan de berekende overstromingskans op hoogte. Dit gegeven, gecombineerd met het feit dat de overstromingskans waarschijnlijk dicht bij de ondergrens ligt, maakt dat de overstromingskans gerelateerd aan bomen als niet significant kan worden beschouwd. Overstromen als gevolg van bomen is daarom niet meegenomen in de assemblage.

4.3 Bebouwing

In het ontwerp van gebiedsontwikkeling Ooijen-Wanssum (GOW) is gesteld dat alle gebouwen die op meer dan 11m afstand van de binnenteen liggen, zich buiten de invloedzone van de waterkering bevinden, en daarmee geen invloed hebben op de overstromingskans. Deze afstand is in lijn met de beoordelingsresultaten van piping en stabiliteit, waar de invloedzone vaak nog kleiner is. Dit geldt conform de ontwerpnota's [4] [12] voor alle gebouwen in het dijktraject, met uitzondering van enkele gebouwen tussen dijkvak 62a en 62l. Dit is bovendien t.b.v. LBO2 geverifieerd aan de hand van recente luchtfoto's, en blijkt te kloppen.

Voor de gebouwen binnen de invloedzone (binnen 11m van de binnenteen) is in GOW een maatwerkanalyse uitgevoerd, zie hiervoor Bijlage 12 van de ontwerpnota [4]. Hierin is het volgende geconcludeerd:

- Gebouwen die niet zijn onderkelderde hebben geen invloed op de stabiliteit van de waterkering.
- Van twee gebouwen is verondersteld dat deze zouden worden gesloopt. Dit betreft een gebouw op de kering in ontwerpvak 62_v07 (dijkvak 62e in LBO2) en een schuur op de kering in ontwerpvak 62_v18 (dijkvak 62l in LBO2). Dit is geverifieerd aan de hand van recente luchtfoto's, en deze gebouwen zijn inderdaad niet langer aanwezig.
- Voor overige gebouwen met kelder binnen 11m afstand van de binnenteen is een maatwerkanalyse uitgevoerd op basis van zonering. Hieruit volgt dat de gebouwen allemaal op zodanige afstand van de kering liggen, dat eventuele sloop of instorting van de kelder geen invloed heeft op de stabiliteit van de waterkering.
- Bovendien is in GOW verondersteld dat gebouwen geen invloed hebben op piping. Dit is een valide uitgangspunt, omdat bij de piping beoordeling al is uitgegaan van een uittredepunt ter plaatse van de binnenteen; huizen/kelders op enige afstand van de binnenteen hebben dus

geen negatieve invloed op de kwelweg.

Uitzondering hierop is wanneer opbarsten dominant is voor de faalkans, en bij de aanwezigheid van een kelder de kans op opbarsten wordt vergroot. Opbarsten is echter niet dominant in de beoordeling op piping, dus deze uitzondering is hier niet van toepassing.

Op basis hiervan kan worden gesteld dat de aanwezige bebouwing in dijktraject 62-1 geen invloed heeft op de overstromingskans. Hieronder volgt nog aanvullende motivering waarom de bebouwing niet relevant is voor de overstromingskans:

- Een gebouw kan enkel invloed hebben op de overstromingskans als deze onderkelderd is, en dan alleen indien de kelder wordt gesloopt of instort, waardoor als het ware een kuil overblijft. Bij een intacte kelder is er geen invloed op de overstromingskans.
- Zelfs bij een gesloopte of ingestorte kelder is er pas risico op overstroming indien zich een hoogwatersituatie voordoet voordat is ingegrepen.
- Een eventuele sloop van een kelder is vergunningsplichtig bij het waterschap, zoals opgenomen in de waterschapsverordening [14]. De beheerorganisatie controleert hierop via toezicht en handhaving. Daarom is de kans verwaarloosbaar dat een kelder gesloopt wordt zonder medeweten van het waterschap én dat het waterschap nog niet heeft ingegrepen voordat zich een nieuw hoogwater voordoet.
- Als een kelder instort zal nooit het hele gewicht verdwijnen en een kuil achterblijven, maar zullen brokstukken en puin blijven liggen, die nog steeds gewicht leveren en daarmee bijdragen aan de stabiliteit. De kans is bovendien verwaarloosbaar dat dit onopgemerkt blijft, en het waterschap nog niet heeft kunnen ingrijpen voorafgaand aan een hoogwater.

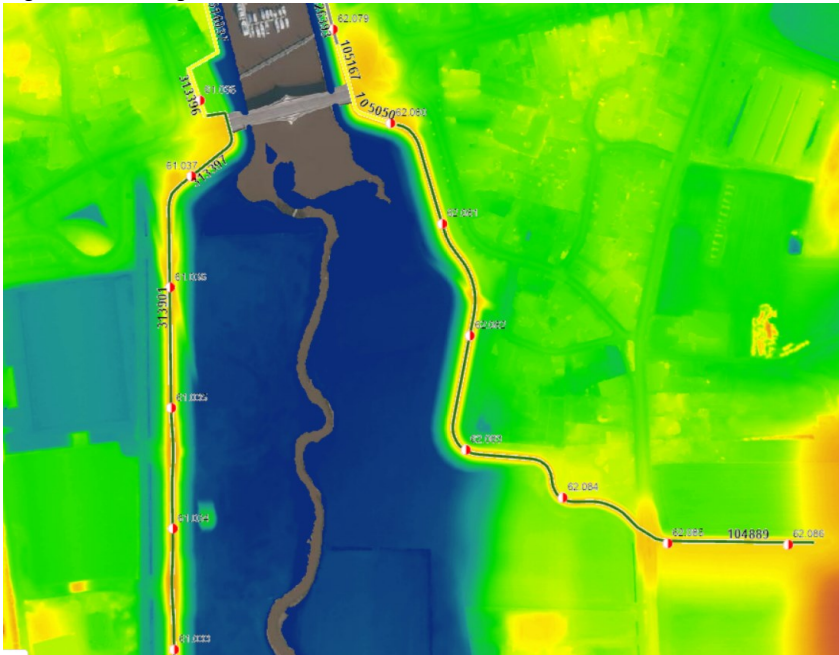
5 Voorlanden

In grote delen van dijktraject 62-1 is een zeer breed voorland aanwezig tussen de waterkering en het dagelijkse stroomprofiel van de Maas. Voorlanden leveren extra veiligheid aan de waterkering, bijvoorbeeld door reductie van hydraulische belastingen (golfhoogte) en door vergroting van de kwelweg voor piping. Schade aan voorlanden kan daardoor resulteren in een hogere overstromingskans voor de waterkering. Schade aan voorland kan onderverdeeld worden in drie (indirecte) mechanismen: erosie (golfafslag), afschuiving en zettingsvloeiing. Langserosie door stromend water komt niet aan bod, omdat dit in het plan van aanpak [3] al als niet relevant is aangemerkt.

In het verhaal van de kering [2] is reeds beschreven dat het voorland vrijwel overal meer dan 200m breed is. Op basis daarvan is in het plan van aanpak [3] gesteld dat schade aan het voorland geen invloed heeft op de overstromingskans; voorlanden zijn (vrijwel overal) niet relevant geacht. Dit wordt ondersteund door het ontwerp van GOW, waar alle dijkvakken zijn goedgekeurd op afschuiving en zettingsvloeiing, zie Bijlage 11 van de ontwerpnota's [4] [12]. Erosie is weliswaar niet getoetst, maar de kans is verwaarloosbaar dat erosie over een breedte van 200m zal plaatsvinden.

Uitzondering op bovenstaande is vak 62s, waar een kleiner voorland aanwezig is tussen de waterkering en de stroomgeul, van ca. 25m breed. In het plan van aanpak [3] zijn de voorlanden in dit dijkvak daarom vooralsnog wel relevant geacht. Het voorland in vak 62s betreft echter een afwijkende situatie; de stroomgeul wordt hier in dagelijkse situatie gevormd door de Groote Molenbeek, met een breedte van slechts 12m en naar verwachting een beperkte diepte. Alleen in extreme omstandigheden, wanneer de Oude Maasarm mee stroomt, zal Maaswater hierdoorheen stromen, zie ook het verhaal van de kering [2]. Figuur 7 toont een overzicht van de situatie, met de hoogtes in AHN, waarin aan de oostzijde dijktraject 62-1 te zien is (rondom vak 62s) met in het voorland de stroomgeul van de Groote Molenbeek.

Ook vak 62s is in het ontwerp van GOW goedgekeurd op afschuiving en zettingsvloeiing, zie Bijlage 11 van de ontwerpnota [12]. Op basis daarvan kan gesteld worden dat deze mechanismen een verwaarloosbare kans van optreden hebben, en daarmee niet bijdragen aan de overstromingskans. Door de beperkte diepte van de stroomgeul (Groote Molenbeek) valt ook weinig erosie aan het voorland te verwachten; erosie zal daarom naar verwachting ook niet bijdragen aan de overstromingskans.



Figuur 7: Situatie voorland 62s

Bovenstaande wordt versterkt door het feit dat na het hoogwater van 2021, waarbij de Oude Maasarm heeft meegestroomd, en het gehele voorland (ook bij 62s) onder water heeft gestaan, geen enkele vorm van schade aan het voorland is waargenomen. Deze vorm van bewezen sterkte wordt gezien als zeer belangrijke aanwijzing dat het overstromingsrisico gerelateerd aan voorlandsschade nihil is.

Op basis van al het bovenstaande wordt geconcludeerd dat voorlanden niet bijdragen aan de overstromingskans van dijktraject 62-1; voorlanden worden daarom niet meegenomen in de assemblage.

6 Referenties

1. Rijkswaterstaat (2023). *Handleiding Overstromingskansanalyse Dijken/dammen Deel 1 Geotechnische instabiliteit*; 21 december 2023.
2. Waterschap Limburg (2025). *Het verhaal van de kering 62-1 Wanssum Blitterswijck*. WLDOC-2066690340-51938
3. Waterschap Limburg (2025). *Plan van Aanpak LBO2 62-1 Wanssum Blitterswijck*. WLDOC-2066690340-59182
4. Mooder Maas. (2018). *Ontwerpnota DO en UO Dijkkring 62 Blitterswijck*, 1503332-06479
5. Witteveen+Bos en Arcadis (2021). *CB.34.004 Interpretatie verdiepend geotechnisch onderzoek Nieuw-Bergen, Steyl, Belfeld, Beesel, Buggenum, Roermond en Heel*. 02-02-2021
6. Deltares (2017). *Handreiking Faalkansanalyse Macrostabieliteit Groene versie*. 11200575-016
7. POV K&L (2020). *Filters voor parallelle gas- en drinkwaterleidingen in en bij primaire waterkeringen*. 3 december 2020
8. Waterschap Limburg (2024). *LBO2 Traject 62-1. Logboek beoordeling geotechnische stabiliteit*
9. Waterschap Limburg (2020). *Besluit watervergunning. Zaaknummer: 2020-Z4593*. 28 juli 2020
10. Waterschap Limburg (2020). *Besluit watervergunning. Zaaknummer: 2020-Z4308*. 22 juli 2020
11. Waterschap Limburg (2020). *Besluit watervergunning. Zaaknummer: 2020-Z4591*. 28 juli 2020
12. Mooder Maas. (2018). *Ontwerpnota DO en UO Dijkkring 61/62 deelgebied Grote Molenbeek*, 1503332-08064
13. Waterschap Limburg (2025). *LBO2 Traject 62-1. Beoordelingsrapportage Wanssum-Blitterswijck*. WLDOC-2066690340-73671
14. Waterschapsverordening Waterschap Limburg Waterschapsverordening Waterschap Limburg | Lokale wet- en regelgeving
15. Handreiking constructief ontwerpen bijlagen 2 – 5: Invloeden van bomen - Bomen op waterkeringen - Technische Leidraden