



Waterschap
Rivierenland

Richtlijn NWO's i.r.t. waterveiligheid

*Faalkansbijdrage van Niet-waterkerende
objecten (NWO's)*

*sterke dijken
schoon water*


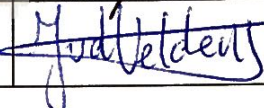
Datum: 5 november 2021

Versie: Definitief 2.0



Verantwoording

Autorisatietabel

Autorisatie	Functie	Naam	Handtekening	Datum	Versie
Opsteller	Adviseur waterkeringen	Cor Bisschop Levinus Boxhoorn		19-10-2021	D2.0
Toetsing	KDE	Marika Olieman		05-11-2021	
Vrijgave	KDE	Jouke Sprij - van der Velden		05-11-2021	

Managementsamenvatting

Dit document heeft als doel om te bepalen of en in welke mate de niet-waterkerende objecten (NWO), welke aanwezig zijn in of op de primaire waterkeringen in het beheergebied van Waterschap Rivierenland, een faalkansbijdrage hebben op de waterveiligheid van deze keringen. Hierbij is gebruik gemaakt van het veiligheidsraamwerk zoals opgesteld door de projectoverstijgende verkenning kabels&leidingen (POV K&L).

De faalkansbijdragen van bomen / begroeiing en bebouwing, in alle zones en voor alle faalmechanisme, zijn ingeschat door een groot aantal gebeurtenissenbomen op te stellen en te analyseren. Bij deze analyse is vastgesteld of een gebeurtenis wel of geen verwaarloosbare faalkansbijdrage aan de waterveiligheid heeft. Hierbij hebben we gebruik gemaakt van enkele uitgangspunten en redeneerlijnen, hierna 'filters' genoemd.

Voor situaties waarin de faalkansbijdrage niet als verwaarloosbaar kan worden aangemerkt is uitgewerkt hoe de grootte van de bijdrage van het NWO op de waterveiligheid kan worden bepaald. Hierbij is gebruik gemaakt van faalpadanalyses.

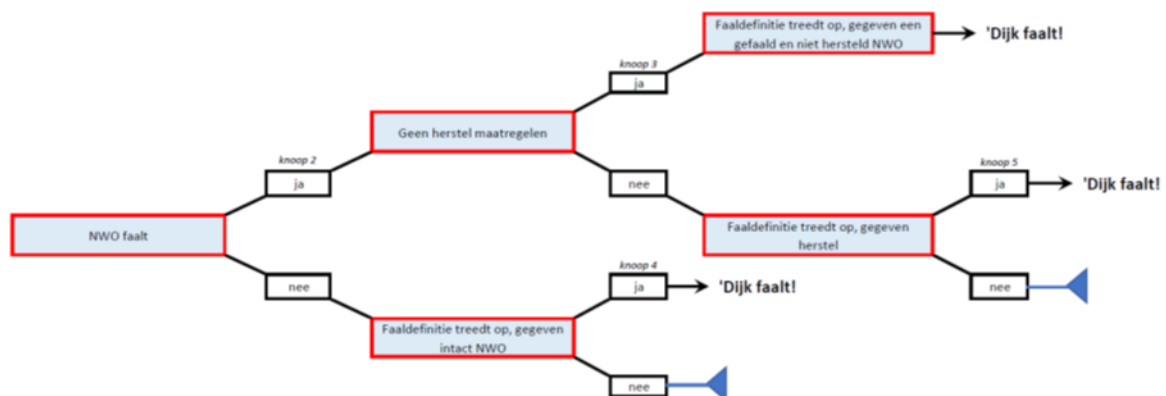
Voor kabels is een redeneerlijn met filter opgesteld voor de faalkansbijdrage. Voor leidingen wordt verwezen naar andere documenten en ontwikkelingen.

Veiligheidsraamwerk

Om invulling te geven aan de veiligheidsbeoordeling van kabels en leidingen vanuit het wettelijk beoordelingsinstrumentarium (WBI) is door Deltares, in opdracht van POV K&L, een veiligheidsraamwerk opgesteld [ref 7]. Hiermee kan direct of indirect worden aangetoond of aannemelijk worden gemaakt dat aan de overstromingskansen vanuit de Waterwet wordt voldaan.

Het veiligheidsraamwerk werkt de algemene werkwijze in het WBI uit door bezwijken van het NWO expliciet als scenario te beschouwen, naast het scenario van het intacte NWO. De kansen op falen van het NWO en hoogwater tijdens de herstelperiode geven dan invulling aan de totale scenariokans. De sterktereductie als gevolg van aanwezigheid of falen van het NWO maakt onderdeel uit van de schematisering en soms ook van de scenariokans. De basis voor deze werkwijze is een gebeurtenissenboom. Ook maakt deze methode het mogelijk om met filters bepaalde takken van de boom weg te snoeien, omdat deze gebeurtenissen niet op kunnen treden, en van de overgebleven takken de kansbijdrage te bepalen.

In generieke zin is de gebeurtenissenboom met twee hoofdtakken aangegeven, zoals in onderstaande figuur is weergegeven. In de onderste tak wordt het NWO beschouwd, welke in aanloop na of tijdens een hoogwaterperiode intact is (tak: geen falen NWO). In de bovenste tak wordt het NWO beschouwd dat in aanloop of tijdens de hoogwaterperiode deels of in z'n geheel bezwijkt (tak: falen NWO). Vanuit het wel/niet falen van het NWO dienen er vervolgmecanismen op te treden voordat er uiteindelijk sprake is van het falen van een waterkering met een overstroming tot gevolg.



Driedimensionale aanpak

Bij de bepaling van de faalkansbijdrage van NWO's op de functie waterveiligheid blijkt dat verschillende typen, omvang en staat van NWO's in een verschillende zone van de waterkering een verschillend effect hebben op de waterveiligheid. De invloed op de functie waterveiligheid wordt uitgedrukt als bijdrage aan één van de directe faalmechanismen van een waterkering.

Daarom vraagt deze aanpak om een driedimensionale aanpak, te weten:

- 1^{ste} dimensie: Typen NWO's en potentiële invloed op waterveiligheid;
- 2^{de} dimensie: Zonering (locatie van het object in het dwarsprofiel van de waterkering);
- 3^{de} dimensie: Initieel faalmechanisme

In onderhavig onderzoek zijn vooral de NWO-typen bomen/begroeiing en bebouwing beschouwd. De kabels en leidingen zijn separaat door Waterschap Rivierenland (WSRL) uitgewerkt, op basis van de aanpak van de POV K&L. Ook overige objecten, die zich op en in de waterkering bevinden, kunnen met de in deze rapportage aangedragen methode worden beschouwd.

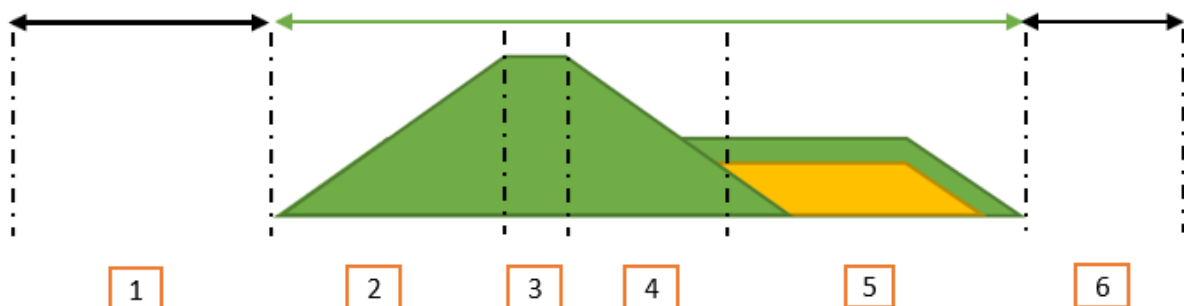
Typen NWO's en potentiële invloed op waterveiligheid

Zowel het bezwijken als het intact blijven van een boom kan een nadelig effect hebben op de waterveiligheid via het overdragen van aanvullende belastingen of door aantasting van de sterkte van de waterkering. Begroeiing kan ook een positief effect hebben op de waterkering, doordat de wortels erosie van deklagen voorkomen en de (golf)belasting op het buitentalud kunnen reduceren, waardoor lagere eisen aan de bekleding kunnen worden gesteld.

De aanwezigheid van bebouwing, intact of bezwiken, kan een nadelig effect hebben op de waterveiligheid doordat een (clustering van) gebouw(en) leidt tot een vergrote kans op stromingsconcentratie en daardoor erosie rondom de bebouwing bij golfoverslag. Aanwezige kelders en kruipruimten kunnen ook een nadelig effect op de waterveiligheid hebben, bijvoorbeeld als potentiële opbarstlocatie. Daarentegen heeft bebouwing in het achterland vaak een hoger vloerpeil dan het omringende maaiveld, waardoor de kans op het ontstaan van een afschuifvlak ter plaatse van de bebouwing minder waarschijnlijk is.

Zonering

Om op een eenduidige manier het effect van een NWO op de verschillende faalmechanismen te kunnen beoordelen is het profiel van een waterkering met/zonder berm en met/zonder constructieve maatregel opgedeeld in een zestal zones. De scheiding tussen de zones komt grofweg overeen met de overgang naar een ander type faalproces voor de verschillende faalmechanismen.



Figuur – Zonering bij een waterkering met binnenberm

Initieel faalmechanisme

NWO's hebben vooral invloed op de directe faalmechanismen macrostabiliteit binnenwaarts, piping en erosie kruin, binnentalud en buitentalud.

Voor het mechanisme macrostabiliteit is sprake van aanvullende belastingen die het NWO op de waterkering uitoefent. Dit kan direct, door eigen gewicht, of indirect, via windbelasting. Er kan sprake zijn van sterktereductie door het ontstaan van een erosie- of ontgrondingskuil waardoor de opbarstlocatie en/of het glijvlak verandert.

Voor het mechanisme opbarsten en piping heeft het NWO mogelijk een effect op de locatie van opbarstpunt en dus van het uittredepunt van de potentiële pipe. Veelal is de locatie van het opbarsten en uittredepunt rondom bebouwing onzeker, omdat onbekend is of er een kruipruimte of kelder met vaste of open vloer aanwezig is. Verder kan het NWO invloed hebben op de weerstand van het voorland en daarmee op het intredepunt.

Voor de erosiemechanismen kan een NWO een negatief effect hebben, met name door sterktereductie. Zo is de bekleding rondom gebouwen niet altijd voldoende erosiebestendig door overgangen in talud, aanwezigheid van tuinen etc. Ook kan door schaduwwerking van het NWO een grasbekleding zich minder goed ontwikkelen. Extra belasting kan plaatsvinden door stromingsconcentraties bij langstromend of overslaand water. Daarentegen kunnen NWO's ook bijdragen in vermindering van de (golf)belasting op het buitentalud, door gebouwen of bossages op het voorland van de waterkering.

Gebeurtenissenboom

Om op een gestructureerde manier de faalkansbijdrage van een NWO, in een bepaalde zone en voor een bepaald faalmechanisme, te kunnen inschatten zijn meerdere gebeurtenissenbomen opgesteld en geanalyseerd. Bij deze analyse is op basis van een aantal filters (uitgangspunten of redeneerlijnen) vastgesteld of een gebeurtenis wel of geen faalkansbijdrage op de waterveiligheid heeft. Het werken met deze filters is een goede werkwijze gebleken om de gebeurtenissenboom te ontdoen van de niet bijdragende faaltakken. De filters zijn onderscheiden in:

- Generieke filters;
- Beheerfilters;
- Technische filters.

Generieke filters gelden voor het hele beheergebied en wellicht zelfs voor heel Nederland, bijvoorbeeld de kans op de ontworteling van een boom. Beheerfilters volgen uit het beleid van WSRL op het gebied van zorgplicht en crisisbeheersing, zoals bijvoorbeeld vastgelegd in het crisisbestrijdingsplan. Onder beheerfilter wordt onder andere de kans op herstel voor hoogwater verstaan. Technische filters zijn verschillende voorwaarden vanuit een technisch perspectief, waarmee de kansbijdrage kan worden ingeschat. Bijvoorbeeld dat de faalkansbijdrage van een erosie- of ontgrondingskuil op het faalmechanisme piping verwaarloosbaar is in geval er sprake is van een deklaag van meer dan 3m dik.

Resterende 'takken' uit de gebeurtenissenboom

Op basis van de uitgewerkte gebeurtenissenbomen en de generieke, technische en beheerfilters is vastgesteld dat de in onderstaande tabellen aangegeven groene 'takken' (combinaties van initiële gebeurtenis in zone per faalmechanisme) geen faalkansbijdrage op de waterveiligheid hebben.

Voor de overige takken (oranje) geldt dat deze mogelijk wel een faalkansbijdrage op de waterveiligheid hebben en daarom nader moeten worden beschouwd.

Samenvatting resterende gebeurtenissen bij NWO's intact

Zone	Boom intact			Bebouwing intact		
	STBI	STPH	Erosie bekl.	STBI	STPH	Erosie bekl.
1						
2						
3	(groep)					
4	(groep)					
5	(groep)					
6						

Samenvatting resterende gebeurtenissen na initiële schade

Zone	Ontgrondingskuil boom			Erosiekuil naast bebouwing		
	STBI	STPH	Erosie bekl.	STBI	STPH	Erosie bekl.
1						
2						
3						
4	(groep)					
5	(groep)					
6	(groep)					

Geen tot verwaarloosbare faalkansbijdrage
Mogelijk faalkansbijdrage, nadere analyse nodig

Uit de analyse blijkt dat voor het mechanisme macrostabiliteit binnenwaarts wel clusters van bomen (boomgroepen) op de kruin, het binnentalud, de berm en/of direct achter de kering in het achterland moeten worden beschouwd. Over solitaire bomen is gesteld dat deze een verwaarloosbare faalkansbijdrage hebben voor macrostabiliteit binnenwaarts, omdat deze maar een zeer gering effect hebben op het ontwikkelen van een groot afschuifvlak.

Het ontstaan van een ontgrondings- en erosiekuil rondom bomen en/of bebouwing op de kruin tot en met de binnenberm dient wel te worden beschouwd voor de erosiemechanismen op de kruin en binnentalud en dus voor de mechanisme GEKB (Graserosie kruin en binnentalud) en GABI (Gras afschuiven binnentalud). Daarbij moet ook het ontstaan van een erosiekuil als gevolg van een boom of gebouw in het buitentalud worden beoordeeld.

Verder moet het ontstaan van een ontgrondingskuil door een boom in het achterland nader worden beschouwd voor het mechanisme piping. Ook bebouwing ter plaatse van de binnenteen of achterland dient te worden beschouwd met betrekking tot het ontstaan van een potentiële opbarstlocatie onder of direct naast het gebouw.

Faalpadanalyse

Om de faalkans(bijdrage) aan de waterveiligheid kwantitatief te kunnen bepalen kan een faalpadanalyse worden gebruikt. Dergelijke analyses kunnen zowel in de beoordeling als in het ontwerp van dijkversterkingen worden toegepast. In de beoordeling geldt dat voor de huidige situatie met de aanwezige NWO's in de verschillende zones. In het ontwerp dient deze analyse te worden uitgevoerd voor de NWO's die (ook) na dijkversterking in de diverse zones aanwezig zijn. Hierbij moeten de verwachte toekomstige afmetingen (bv. kruinhoogte) en eigenschappen (bv. opbouw/materialisatie) van de waterkering worden meegenomen.

Bij een faalpadanalyse worden de opeenvolgende stappen (knopen) doorlopen die op moeten treden voordat er sprake is van het falen van de waterkering als gevolg van een initiële gebeurtenis.

Om deze en andere knopen uit de faalpaden te kunnen scoren, zijn in de analyse op basis van de verschillende filters enkele inschattingen en suggesties gedaan. Locatiespecifieke situaties kunnen aanleiding zijn om hier andere kans-inschattingen aan toe te kennen. De in dit rapport aangegeven

beheerfilters zijn in overleg met de dijkbeheerders van WSRL afgestemd en dienen als zodanig in eerste instantie te worden toegepast. Indien een project hiervan wenst af te wijken, dient dit met de beheerorganisatie van WSRL te worden afgestemd. In de bijlage van deze rapportage is voor twee situaties een voorbeelduitwerking opgenomen.

Uit het doorlopen van een faalpadanalyse kunnen drie resultaten volgen:

1. Een NWO heeft een verwaarloosbare faalkansbijdrage aan één of meerdere faalmechanismen
2. Een NWO heeft een faalkansbijdrage aan een of meerdere faalmechanismen en daarmee uiteindelijk aan de waterveiligheid van het betreffende dijkvak, of
3. De onzekerheden in de analyse kunnen in alle redelijkheid niet verder worden verkleind, waardoor niet met zekerheid gesteld kan worden of een NWO wel of geen faalkansbijdrage heeft.

In de gevallen 2 en 3 is het aan te bevelen om na te gaan of het NWO uit de waterkering kan worden verwijderd of dat er, indien dit niet het geval is, mitigerende maatregelen rondom het NWO kunnen worden gerealiseerd. Soms kan met een geringe aanpassing/maatregel veel extra zekerheid worden verkregen en is dit effectiever dan uitgebreide theoretische analyses en berekeningen.

Eventuele maatregelen moeten na realisatie nauwkeurig worden beschreven en worden opgenomen in het beheer en onderhoudsplan.

Inhoudsopgave

MANAGEMENTSAMENVATTING	III
1 INLEIDING	2
1.1 Algemeen	2
1.2 Doelstelling	2
1.3 Werkwijze	2
1.4 Leeswijzer.....	2
2 VEILIGHEIDSRAMWERK.....	4
2.1 Generieke gebeurtenissenboom	4
2.2 Aanpak faalpad-analyse.....	5
3 DRIE DIMENSIES BINNEN DE ANALYSE.....	9
3.1 Typen NWO's en potentiële invloed op waterveiligheid	9
3.1.1 Bomen / begroeiing	9
3.1.2 Bebouwing.....	10
3.1.3 Kabels en leidingen.....	11
3.1.4 Overige objecten.....	11
3.2 Zonering	11
3.3 Initieel faalmechanismen.....	14
3.3.1 Macrostabieleit	14
3.3.2 Piping, heave, opbarsten (STPH) [ref 6].....	15
3.3.3 Bekleding kruin en binnentalud.....	16
4 GEBEURTENISSENBOOM PER TYPE NWO EN PER FAALMECHANISME.....	17
4.1 Bomen en begroeiing.....	17
4.1.1 Macrostabieleit binnenwaarts (STBI) met boom intact	19
4.1.2 Macrostabieleit binnenwaarts (STBI) met ontgrondingskuil	19
4.1.3 Piping, opbarsten en heave (STPH) met ontgrondingskuil	20
4.1.4 Erosie kruin, buiten- en binnentalud met erosie- of ontgrondingskuil.....	20
4.2 Bebouwing	21
4.2.1 Macrostabieleit binnenwaarts met erosiekuil rond bebouwing	23
4.2.2 Opbarsten en piping met bebouwing intact.....	23
4.2.3 Opbarsten en piping met erosiekuil rondom bebouwing	24
4.2.4 Erosie van bekleding rondom bebouwing	25
5 ONGANG MET NWO'S BINNEN WATERSCHAP RIVIERENLAND.....	26
5.1 Verordeningen en kaders vanuit beleid (Keur).....	26
5.2 Dagelijks beheer en onderhoud (zorgplicht)	26
5.3 Crisisbestrijdingsplan 'hoogwater'	27
5.4 Beheerfilters in omgang met NWO's	28
5.4.1 'Gat' in kering	28
5.4.2 Kans op herstel, gegeven ontworteling of afgewaaide delen van bomen	28
5.4.3 Kans op herstel, gegeven erosiekuil rondom object	29
5.4.4 Kans op herstel, gegeven ingestort object	29
6 VASTSTELLEN VAN TAKKEN VAN DE BOOM VOOR WSRL	30
6.1 Opstellen aanpak om te komen tot project/proces specifieke uitwerking	31
6.1.1 Boomgroep op binnentalud, -berm of achterland i.r.t. macro-instabiliteit (STBI)	31
6.1.2 Bomen in achterland i.r.t. piping.....	32
6.1.3 Bomen en bebouwing i.r.t. erosie (GEKB).....	33
7 BIJDRAGE AAN DE FAALKANS – MITIGERENDE MAATREGELEN	35
8 CONCLUSIE EN AANBEVELINGEN	36
LITERATUUR.....	38
AFKORTINGEN EN DEFINITIEES	39

1 Inleiding

1.1 Algemeen

In het beheergebied van Waterschap Rivierenland (WSRL) zijn, op en rondom de waterkeringen, niet-waterkerende objecten (NWO's) aanwezig. Deze NWO's hebben in meer of mindere mate een effect op de primaire functie van de waterkering, namelijk waterveiligheid. Daarom dienen bij de beoordeling (lees Wettelijke beoordeling waterveiligheid – WBI2017) en bij het dijkversterkingsontwerp dergelijke NWO's te worden beschouwd in relatie tot waterveiligheid.

1.2 Doelstelling

Het overkoepelende doel van de in deze rapportage opgenomen analyse is:

te bepalen of en in welke mate de NWO's begroeiing en bebouwing in het beheergebied van Waterschap Rivierenland een faalkansbijdrage hebben op de functie waterveiligheid.

De volgende subdoelstellingen zijn daarbij aan de orde:

1. Komen tot een eenduidige aanpak binnen WSRL, waarmee bepaald kan worden of NWO's in de beoordeling of bij dijkversterking een bijdrage hebben aan de faalkans van de kering;
2. Onderbouwen welke NWO's, naar type, omvang, staat en in een bepaalde zone van de waterkering, een verwaarloosbare faalkansbijdrage hebben;
3. Onderbouwen welke precieze informatie nodig is over beleid, beheer en crisisbeheersing in relatie tot NWO's om tot een oordeel over de faalkansbijdrage te kunnen komen;
4. Afleiden van een werkwijze om voor specifieke NWO's de faalkansbijdrage kwantitatief te bepalen.
5. Opstellen en delen van best-practices over omgang van NWO's in en rond waterkeringen.

1.3 Werkwijze

Bij de bepaling van de faalkansbijdrage van NWO's op de functie waterveiligheid werd het snel duidelijk dat NWO's op een bepaalde locatie in of rondom de waterkering, verschillende effecten hebben op de waterveiligheid. Veelal een gunstige, maar soms ook een negatieve invloed. De invloed op de functie waterveiligheid wordt uitgedrukt als bijdrage aan één van de faalmechanismen waarop een waterkering wordt ontworpen als ook periodiek wordt beoordeeld.

Kortom, het werd snel duidelijk dat een aanpak om een driedimensionale aanpak vraagt, te weten:

- 1^{ste} dimensie: Typen NWO's en potentiële invloed op waterveiligheid;
- 2^{de} dimensie: Zonering (locatie van het object in het dwarsprofiel van de waterkering);
- 3^{de} dimensie: Initieel faalmechanisme

De uitwerking van deze drie dimensies is in hoofdstuk 3 van dit rapport beschreven.

Een goede methode om de faalkansbijdrage van NWO's op de waterveiligheid te bepalen, is het gebruik van een gebeurtenissenboom (faalpaden). Met dit veiligheidsraamwerk kan op een gestructureerde manier de impact van het NWO op de overstromingskans worden bepaald. Ook maakt deze methode het mogelijk om met uitgangspunten en redeneerlijnen (in deze rapportage 'filters' genoemd) bepaalde takken van de boom weg te snoeien, omdat deze gebeurtenissen niet op kunnen treden, en van de overgebleven takken de kansbijdrage te bepalen.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is het veiligheidsraamwerk beschreven waarbinnen de NWO's kunnen worden beoordeeld. Hoofdstuk 3 volgt met een beschrijving van het effect van NWO op de waterveiligheid, naar type, omvang en staat van het NWO, per relevant faalmechanisme en voor de verschillende zones van de kering. In hoofdstuk 4 is een uitwerking gegeven van de beoordeling van NWO's met een gebeurtenissenboom per faalmechanisme. Daarna volgt in hoofdstuk 5 een beschouwing vanuit

beheer en beleid over omgang met NWO's, ook in relatie tot een (aankomende) hoogwaterperiode en eventuele hersteltijd. In hoofdstuk 6 is vervolgens de methode uitgewerkt waarmee een faalkansbijdrage kwantitatief kan worden benaderd, met enkele uitgewerkte voorbeelden in de bijbehorende bijlagen. In hoofdstuk 7 is een aanzet gegeven tot een aantal best-practices rondom inpassing van NWO's in het dijkprofiel. In hoofdstuk 8 zijn tenslotte de hoofdconclusies en aanbevelingen opgenomen die deze analyse heeft opgeleverd.

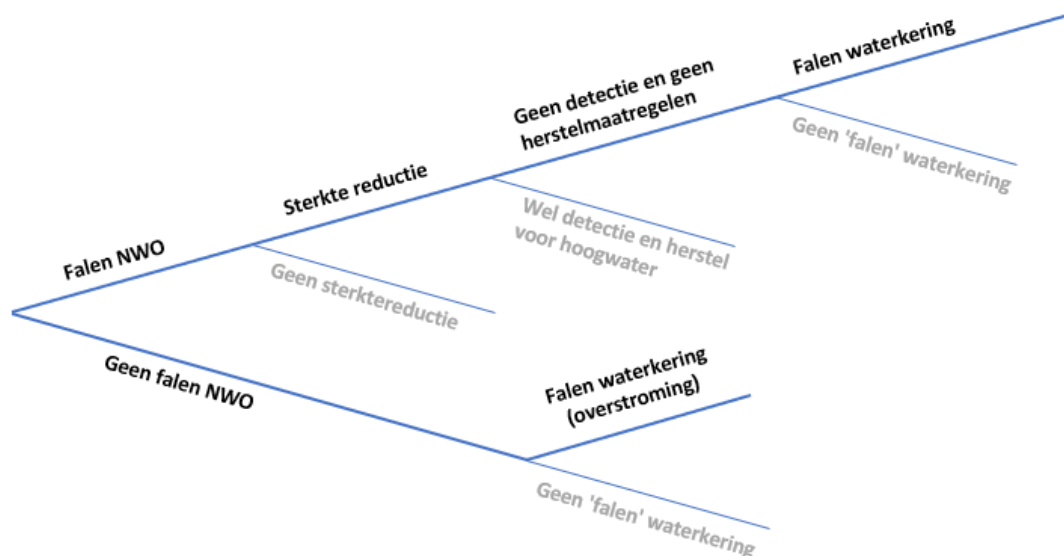
2 Veiligheidsraamwerk

Om de bijdrage aan de waterveiligheid van NWO's te kunnen bepalen is aangesloten bij het veiligheidsraamwerk dat, vanuit het WBI-perspectief in opdracht van de projectoverstijgende verkenning kabels en leidingen (POV K&L), is opgesteld voor de beoordeling van kabels en leidingen [ref 7]. Doel hiervan is een beeld te schetsen hoe de veiligheid van waterkeringen met invloed van een NWO kan worden aangetoond en geconcretiseerd. Hiermee kan tenslotte direct of indirect worden aangetoond of aannemelijk gemaakt dat aan de overstromingskansen vanuit de Waterwet wordt voldaan. Dit genoemde veiligheidsraamwerk voor K&L is in de volgende paragrafen veralgemeniseerd voor alle typen NWO's.

2.1 Generieke gebeurtenissenboom

De basis van het voorgestelde veiligheidsraamwerk is een generieke gebeurtenissenboom. Aan de hand van deze gebeurtenissenboom kan een integrale faalkans worden bepaald, die kan worden getoetst aan de toelaatbare overstromingskansen ofwel de faalkanseis.

In generieke zin is de gebeurtenissenboom in figuur 1 weergegeven. In de onderste tak wordt onderscheidt gemaakt tussen een NWO dat in aanloop na of tijdens een hoogwaterperiode intact is (tak: geen falen NWO) en een NWO dat in aanloop of tijdens de hoogwaterperiode deels of in z'n geheel bezwijkt (tak: falen NWO). Vanuit het wel/niet falen van het NWO dienen er vervolgmecanismen op te treden voordat er uiteindelijk sprake is van het falen van een waterkering met een overstroming tot gevolg.



Figuur 1 Generieke gebeurtenissenboom met invloed van falend NWO

In Tabel 1 is per tak een korte beschrijving en een formuleweergave van de kans van het optreden van de betreffende tak weergegeven.

Tabel 1 Definities generieke gebeurtenissenboom (figuur 1) analoog aan [ref 7]

Tak	Beschrijving	Kans
Falen NWO	Betreft de kans op een initiële gebeurtenis waarbij het betreffende NWO faalt (bijv. ontworteling boom of instorten bebouwing).	$P_{NWO f}$
Geen falen NWO	In de schematisering is alleen met de aanwezigheid van een intacte NWO rekening gehouden (reguliere beoordeling zonder invloed van falen NWO).	$1 - P_{NWO f}$

Sterktereductie	Betreft de schematisering van de (negatieve invloed) van het gefaalde NWO. In gedetailleerde analyses kan dit gevat worden in continue kansverdelingen of discrete scenario's met een kans. Deze knoop kan als eenvoudig filter worden gebruikt (bijv. indien er geen overlap is tussen invloedszone en stabiliteitszone, dan is er geen sprake van een sterktereductie).	<i>(verwerkt in schematisering faalmechanisme, bv. als scenario)</i>
Geen detectie en geen herstelmaatregel	De sterktereductie (vorige tak) betekent feitelijk dat de waterkering beschadigd is, in de zin dat het waterkerend vermogen is aangetast, wat niet noodzakelijkerwijs leidt tot overstroming. Deze tak betreft de kans dat een relevante (hoge) rivierwaterstand tijdens de herstelperiode optreedt.	$P_{hw NWO_f}$
Falen waterkering	'Falen waterkering' is vervolgens een conventionele analyse van een faalmechanisme, inclusief de geschematiseerde sterktereductie, al dan niet in vorm van een scenario. Een voorbeeld is de schematisering van een kering voor macrostabiliteit inclusief ontgrondingskuil door een ontwortelde boom. <i>Gezien het hier om falen binnen de detectie en herstelperiode gaat betreft het, in gevallen waar deze periode duidelijk korter is dan 1 jaar, niet de klassieke definitie van hoogwater waarbij de jaarmaxima van de hydraulische randvoorwaarden worden toegepast. Idealiter worden hier dus de hydraulische randvoorwaarden voor de detectie en herstelperiode toegepast. Omdat deze echter moeilijk te bepalen zijn kunnen de statistieken van de jaarmaxima als conservatieve benadering worden gebruikt.</i>	$P_{f hw,NWO_f}$

In formulevorm kan de gebeurtenissenboom als combinatie van de in Tabel 1 gedefinieerde overgangskansen worden weergegeven als:

$$P_f = P_{f|hw,NWO_f} * P_{hw|NWO_f} * P_{NWO_f} + P_{f|\overline{NWO_f}} * (1 - P_{NWO_f})$$

waarin $P_{f|\overline{NWO_f}}$ de conditionele faalkans van de waterkering is zonder invloed van falen van het NWO.

Dit veiligheidsraamwerk werkt de algemene werkwijze in het WBI uit door falen van het NWO expliciet als scenario te beschouwen, naast het scenario van de intacte NWO. De kansen op falen van het NWO en hoogwater tijdens de herstelperiode geven dan invulling aan de totale scenariokans. De sterktereductie maakt onderdeel uit van de schematisering en soms ook van de scenariokans.

De middels deze generieke gebeurtenissenboom uitgewerkte aanpak heeft betrekking op één direct faalmechanisme en wordt een faalpad-analyse genoemd. Afhankelijk van de faalgebeurtenis kan het nodig zijn om meerdere directe faalmechanismen te beschouwen, als het falen van het NWO hier invloed op heeft.

2.2 Aanpak faalpad-analyse

Het doel van deze faalpadanalyse dient vooraf vastgesteld te worden en luidt als volgt:

“Het onderbouwen (kwalitatief, zo nodig kwantitatief) van de faalkansbijdrage van het NWO t.o.v. reguliere directe faalmechanismen.”

In de afgelopen jaren is er binnen waterschap Rivierenland ten behoeve van een tweetal dijkversterkingsprojecten ervaring opgedaan met het uitvoeren van faalpad-analyses. Zo zijn er in het ontwerp voor dijkversterking Tiel-Waardenburg dergelijke analyses uitgevoerd [ref 10] om inzicht te krijgen in het effect van NWO's op het ontwerp. Op advies van onder andere het Adviesteam Dijkontwerp zijn meerdere faalpadanalyses uitgevoerd. Ook voor dijkversterking Wolferen-Sprok (WoS) is een dergelijke analyse uitgevoerd, n.a.v. de instabiliteit van de binnenwaartse stabiliteitsberm als gevolg van opdrukken/opdrijven van de achterliggende deklaag bij relatief lage rivierwaterstanden.

Een faalpadanalyse

Het uitwerken van een faalpadanalyse is op een gestructureerde manier in zes stappen uitgevoerd. Gezamenlijk zijn deze stappen in meerdere fasen doorlopen en vervolgens verder uitgewerkt. Daar waar nodig zijn meer gegevens verzameld en nadere analyses uitgevoerd om vervolgens weer een aantal stappen te kunnen doorlopen.

De methode, waarbij een faalpadanalyse grotendeels wordt gebaseerd op expertoordelen, is afkomstig uit de Verenigde Staten en is in samenwerking tussen Rijkswaterstaat en Deltares ontwikkeld tot een Deskundige Oordeel Toets op Maat (DOT) [ref 2].

Om tot een inschatting van de faalkans(bijdrage) van een object te komen, zijn de volgende stappen doorlopen:

1. Opstellen gebeurtenissenboom

De gebeurtenissenboom heeft veelal dezelfde structuur, beginnend bij het optreden van een hoogwaterperiode als gevolg van een hoge rivierafvoer, tot het uiteindelijk falen van de waterkering met het ontstaan van een bres en als gevolg een overstroming van het achterliggende gebied. Op basis van een aantal tussenstappen is het fysische proces verder beschreven en ontleed in een aantal gebeurtenissen ('knopen' in de gebeurtenissenboom).

2. Bepalen relevante knopen in de gebeurtenissenboom

Om de faalkans te bepalen, dienen alle overgangskansen (van de ene knoop naar de andere) met elkaar te worden vermenigvuldigd. Hierbij is de overgangskans gedefinieerd als de kans op optreden van het fysische proces behorende bij een knoop, gegeven dat alle voorgaande knopen zijn opgetreden.

Het exact bepalen van de overgangskans kan tijdrovend zijn en op basis van de huidige inzichten en het kennisniveau zelfs niet mogelijk zijn. Soms is het in detail vaststellen van de overgangskans niet nodig, omdat op basis van andere relevante knopen al gesteld kan worden dat de overstromingskans van de gebeurtenissenboom verwaarloosbaar klein is. In deze stap is dan ook bediscussieerd welke knopen naar verwachting maatgevend zijn en welke dus in ieder geval moeten worden bepaald.

3. Verzamelen informatie voor relevante knopen

Voorafgaande aan het bepalen van de overgangskansen in de volgende stap is alle relevante informatie zoveel mogelijk verzameld, geanalyseerd en overzichtelijk gepresenteerd. Relevante data omvat onder meer: geometrie van de kering, opbouw van de huidige kering, ontwerpmaatregelen, grondonderzoek en waterstandsdata (waterstandsfrequentielijn als ook inschatting van kansen op optreden van bepaalde golfoverslag gegeven een buitenwaterstand).

4. Bepalen overgangskansen per knoop

In deze stap is de verzamelde informatie gebruikt om een inschatting te kunnen geven van de overgangskans voor de relevante knopen en voor verschillende terugkeertijden van de rivierwaterstand. De inschatting is gedaan door het geven van een cijfer en bijbehorende kansomschrijving en uiteindelijk een overgangskans, zoals in tabel 2 is aangegeven.

Tabel 2 – Inschatting van overgangskans

cijfer	Omschrijving kans	Overgangskans [per keer]
1	Vrijwel zeker	0,999 (999/1.000)
2	Erg waarschijnlijk	0,99 (99/100)
3	Waarschijnlijk	0,9 (9/10)
4	Neutraal	0,5 (1/2)
5	Onwaarschijnlijk	0,1 (1/10)
6	Erg onwaarschijnlijk	0,01 (1/100)
7	Vrijwel onmogelijk	0,001 (1/1.000)

Naast de eerste inschatting (verwachtingswaarde) is de overgangskans ook uitgedrukt in een boven- en ondergrens. Hoe breder de bandbreedte, hoe minder zeker de expert is van de ingeschatte kans van optreden van de betreffende knoop.

Door kans-inschattingen van verschillende experts te verzamelen en samen te voegen, is een gemiddelde overgangskans en zijn gemiddelde boven- en ondergrenzen voor deze kansen bepaald.

5. Discussie en streven naar consensus

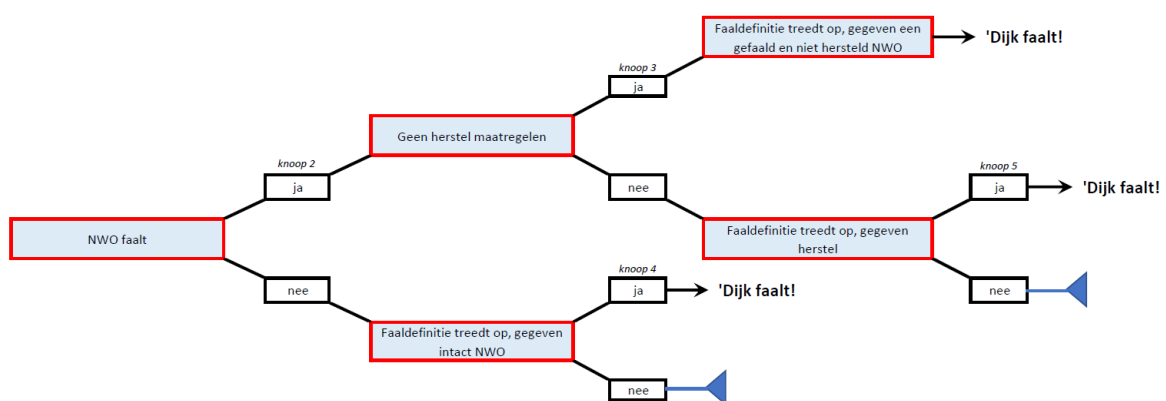
De schattingen van de verschillende experts kunnen zeer uiteenlopend zijn. Tijdens deze stap is het van belang dat de experts met elkaar in gesprek gaan over de overwegingen die ze hebben gevolgd, die tot hun inschatting hebben geleid. Dit gebeurt per knoop. Doel van deze discussie is dat experts elkaar van aanvullende informatie, inzichten en ervaringen kunnen voorzien. Dit kan tot een gezamenlijke bijstelling van de overgangskansen leiden. Mogelijk wordt er niet tot consensus gekomen. Dan dient rekening te worden gehouden met de ontstane bandbreedte. Ook kan uit de discussie volgen dat nadere informatie moet worden verzameld en/of analyses moeten worden uitgevoerd om tot een betere kansinschatting te kunnen komen.

6. Bepaling faalkansbijdrage

Als voor alle (relevante) knopen, bij een aantal kenmerkende rivierwaterstanden (bv. 1/100 tot 1/100.000 per jaar), de overgangskansen zijn bepaald, wordt de overstromingskans van het gehele faalproces (gebeurtenissenboom) bepaald door de overgangskansen met elkaar te combineren (vermenigvuldigen) en te integreren met de frequentie van de rivierwaterstand. Indien de overgangskansen van de relevante knopen al leiden tot een verwaarloosbare faalkans(bijdrage), dan hoeven de overige kansen voor de andere knopen niet meer (in detail) bepaald te worden.

In figuur 2 is een voorbeeld van een gebeurtenissenboom/faalpad aangegeven. In de basis komen de volgende knopen altijd terug:

- Hoogwater treedt op;
- NWO faalt;
- Detectie en herstel treedt niet op;
- Falen van de kering.



Figuur 2 – Principe van een gebeurtenissenboom/faalpad

Voor een bepaald faalmechanisme kan van elk faalpad de faalkanseis worden bepaald en met behulp van de formule uit het OI [ref 1] kan de bijbehorende vereiste betrouwbaarheidsindex ($\beta_{eis,dsn}$) worden afgeleid volgens:

$$\beta_{eis,dsn} = -\Phi^{-1}(P_{eis,dsn})$$

Waarin:

$\beta_{eis,dsn}$	<i>Eis van de betrouwbaarheidsindex op doorsnede niveau [-]</i>
Φ^{-1}	<i>Inverse van de standaardnormale verdeling [-]</i>
$P_{eis,dsn}$	<i>Faalkans eis op doorsnedeniveau voor het te beschouwen faalmechanisme [-]</i>

Met als uitgangspunt dat een falend NWO niet tot overschrijding van de faalkans eis op doorsnedeniveau ($P_{eis,dsn}$) van het betreffende faalmechanisme mag leiden.

De kansen bij een knoop kunnen bepaald worden op basis van DOT, Deskundig Oordeel Toets op maat. Verschillende experts hebben onafhankelijk kansen aan de knopen of aan combinatie van knopen toebedeeld met een mogelijke bandbreedte (verwachtingswaarde, boven- en ondergrens). Deze kansinschatting kan plaatsvinden op basis van analyses, berekeningen en op basis van expert-judgement. In onderling overleg/discussie kunnen deze kansinschattingen mogelijk nog worden afgestemd en aangepast.

Over alle scores kan vervolgens een gemiddelde bepaald worden of een op basis van consensus afgeleide overgangskans worden gedefinieerd. Deze overgangskansen kunnen vervolgens worden gecombineerd tot een faalkans.

Het oordeel wordt uitgedrukt in bèta en is op twee manieren benaderd vanuit de analyse:

- De **gemiddelde waarde** is direct afgeleid op basis van de ingevulde scores door de experts;
- De **consensus** is de waarde na evaluatie van het faalpad, waarbij de laagste kansinschatting is gebruikt.

3 Drie dimensies binnen de analyse

Zoals in de werkwijze (paragraaf 1.3) is aangegeven, zijn er meerdere dimensie van toepassing, als de invloed van NWO's op de waterveiligheid moet worden beschouwd. De drie dimensies, die in deze rapportage zijn toegepast zijn

- 1^{ste} dimensie: Typen NWO's en potentiële invloed op waterveiligheid;
- 2^{de} dimensie: zonerings (locatie van het object in het dwarsprofiel van de waterkering);
- 3^{de} dimensie: initieel faalmechanisme

Een niet-waterkerend object draagt in principe niet bij aan de functie waterveiligheid van deze kering.

Maar NWO's kunnen wel een positief als ook een negatief effect hebben op de sterkte van de waterkering, zie ter illustratie het voorbeeld in het tekstkader.

Conform het Wettelijke Beoordelingsinstrumentarium (WBI) valt de beoordeling van de NWO's onder de "indirecte mechanismen" (Rijkswaterstaat, 2017). Echter door het gebruik van een gebeurtenissenboom (faalpaden-analyse) kan de invloed van het mechanismen feitelijk direct worden meegenomen. Dit laatste is dan ook in de uitgevoerde analyses gedaan.

Voorbeeld van impact van begroeiing op waterveiligheid:

Een grasbekleding onder struiken of rondom een boom, die zich op het binnentalud van een kering bevindt, kan zich door gebrek aan licht vaak minder goed ontwikkelen. Hierdoor is de bekleding bij langsstromend water extra gevoelig voor erosie. Bovendien kan er naast begroeiing sprake zijn van stromingsconcentratie, waardoor lokaal grotere en turbulente stroming kan ontstaan. Ook hierdoor neemt de kans op erosie toe. Begroeiing heeft daardoor in veel gevallen een nadelig effect op de waterveiligheid van een waterkering.

Daarentegen fungeert een gezond wortelstelsel als een soort grondwapening, waardoor extra sterkte aan de grondmoot rondom de begroeiing kan worden toegekend. Dit heeft daarmee mogelijk een positief effect op de waterveiligheid. Echter kan dit positieve effect ook een nadelig bijeffect hebben doordat, bij ontworteling van een boom, een grotere grondmoot uit de waterkering kan worden 'weggenomen'.

In het vervolg van dit hoofdstuk zijn de drie dimensies in de aanpak verder uitgeschreven.

3.1 Typen NWO's en potentiële invloed op waterveiligheid

Een NWO heeft vaak een maatschappelijke functie (primair), maar maakt wel deel uit van de waterkering. De maatschappelijke functie is bijvoorbeeld een bijdrage aan infrastructuur, wonen, industrie, ecologie, recreatie, etc.

NWO's worden, bijvoorbeeld ook in het WBI2017, ingedeeld in de volgende vier types:

- Begroeiing (NWOb);
- Bebouwing (NWOb);
- Kabels en leidingen (NWOk);
- Overige constructies (NWOc).

3.1.1 Bomen / begroeiing

Begroeiing kan een positief effect hebben op de waterveiligheid, bijvoorbeeld door op het voorland of het binnentalud van de kering een deel van de golfbelasting op te nemen. Hierdoor wordt het binnentalud minder zwaar belast en vindt een lager overslagdebiet plaats. Dit heeft een gunstig effect op de belasting van de bekleding op kruin en het binnentalud. Ook kan het wortelgestel van begroeiing een gunstige werking hebben in de erosiebestendigheid van de dijkbekleding.

Echter het is ook bekend dat als gevolg van de schaduwwerking van bomen/begroeiing de ontwikkeling van de sterkte van een grasbekleding (wortelgestel van het gras) kan worden belemmerd. Ook leveren bomen/begroeiing een aanvullende belasting (bv. eigen gewicht en windbelasting) op de waterkering.

Bij de beschouwing van de effecten van bomen/begroeiing op de waterveiligheid is onderscheid gemaakt tussen een solitaire boom, boomgroep/rij en de overige begroeiing (hagen, struiken, e.d.). Ook is er onderscheid tussen gefaalde en niet gefaalde begroeiing. Onder het falen van een boom/begroeiing zijn de volgende drie manieren beschouwd: ontworteling, ontstaan van erosie door stromingsconcentratie en stambreuk.

Om uiteindelijk in te schatten of een boom of begroeiing impact heeft op de waterveiligheid moet een aantal uiterlijke kenmerken van de boom/begroeiing worden bepaald:

- Staat/gezondheid;
- Solitair of in een groep (omvang);
- Lengte van de boom (lage bomen en struiken vangen minder wind dan hoge bomen);
- Dikte van de stam;
- Breedte van kruin (als maat voor het wortelgestel).

Bomen/begroeiing zijn er in zeer veel verschillende typen, soorten en maten en combinaties daarvan. Deze fysieke verschillen leiden, afhankelijk van de plaats die ze hebben op de waterkering (zie par. 3.2), tot een ander effect op de waterkering.

3.1.2 Bebouwing

Voor de effecten op de waterveiligheid is er onderscheid gemaakt tussen losstaande bebouwing en geclusterde bebouwing. Bij geclusterde bebouwing en lintbebouwing is het effect op de waterveiligheid, door interactie tussen de panden, mogelijk groter.

Bij de beschouwing van de effecten van een pand op de waterveiligheid is onderscheid gemaakt tussen drie situaties:

- Gebouw aanwezig tijdens hoogwaterperiode (tak: NWO intact)
Als het gebouw aanwezig is en ook in goede staat verkeert, heeft het gebouw geen negatief effect op de stabiliteit of onderloopsheid. Door het gewicht van de bebouwing en constructieve elementen in de grond (fundering) zorgt dit in potentie voor extra veiligheid wat betreft de stabiliteit.
De panden hinderen echter wel het stromingsprofiel, zowel aan de buitenzijde als bij overslag aan de binnenzijde van de dijk. Er is daardoor een vergrote kans op een stromingsconcentratie en daardoor op erosie rondom de bebouwing.
- Gebouw gesloopt net voor hoogwaterperiode (tak: NWO faalt)
Door het slopen van het gebouw is feitelijk de bekleding van de waterkering verwijderd en mogelijk is het dwarsprofiel van de kering lokaal zwakker geworden, doordat het gebouw (incl. funering, kruipruimte en/of kelder) is weggehaald.
- Gebouw stort in tijdens hoogwaterperiode (tak: NWO faalt).
De bebouwing dient te voldoen aan de eisen met betrekking tot het Bouwbesluit. Gegevens opgenomen bij de bouwvergunning, zoals bouwtekeningen en in veel gevallen ook constructieve berekeningen, moeten dat kunnen aantonen. Daarmee heeft een gebouw ook een bepaalde betrouwbaarheid. Externe belastingen als wind, regen en sneeuw, eventueel gevolgd door grondvervormingen, leiden normaal gesproken niet tot het bezwijken van een gebouw.

Om uiteindelijk in te kunnen schatten of bebouwing impact heeft op de waterveiligheid moet een aantal kenmerken van de bebouwing worden bepaald, zoals:

- Alleenstaande, geclusterde of lintbebouwing;
- Afmetingen (oppervlakte, vloerpeil);
- Staat van onderhoud;
- Funderingstype: op staal of op palen;
- Wel / geen kruipruimte (en bijbehorende niveau's);
- Wel / geen kelder (en bijbehorende afmetingen, materialisatie en niveau's).

3.1.3 Kabels en leidingen

Waterschap Rivierenland is nauw betrokken geweest bij de POV Kabels en Leidingen. Dit project heeft geresulteerd in diverse rapporten, deels specifiek voor bepaalde leidingen en deels algemeen voor de aanpak. Zie voor de rapportages <https://www.povkabelsenleidingen.nl/>

Aan een specifiek kader voor berekeningen bij leidingen wordt binnen WSRL buiten de context van dit rapport gewerkt.

Kabels zijn in dit rapport niet nader beschouwd vanwege een algemeen beheerfilter. Voor Kabels geldt dat 'NWO faalt', dus kabelbreuk, geen directe veiligheidsrisico's met zich meebrengt en dat de graafwerkzaamheden die noodzakelijk zijn om de kabelbreuk te herstellen resulteren in een 'gat in de kering'. Zoals beschreven in paragraaf 5.4.1 wordt met een nageleefde Keur en crisisbestrijdingsplan de kans verwaarloosbaar klein geacht dat er, in aanloop naar een hoogwater, 'gaten' in de waterkering aanwezig zijn welke de waterveiligheid in het geding kunnen brengen.

3.1.4 Overige objecten

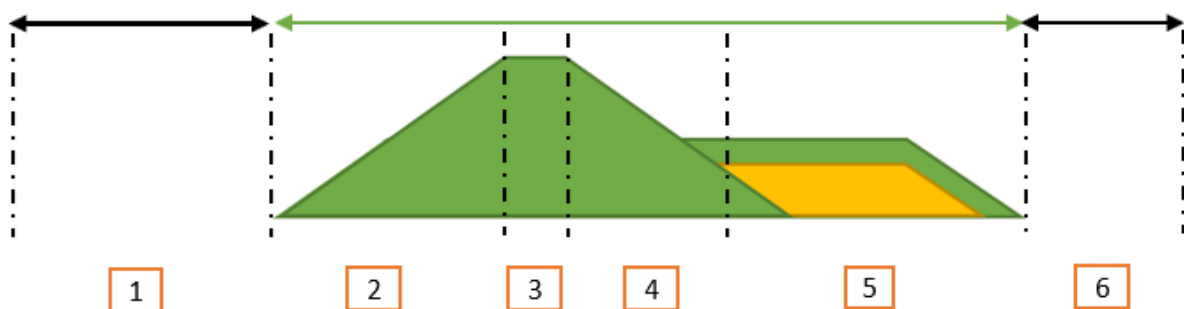
Bij de beschouwing van de effecten van overige objecten op de waterveiligheid is onderscheid gemaakt in kleine objecten zoals dijk- en wegmeubilair (dijktrappen, geleiderail, hekwerk, verkeersbord, -lichten, dijkpalen etc.) en specifieke objecten (grote elektriciteitsmasten, kunstobjecten etc.). Wegen, en daarmee ook op- en afritten van een dijk, kunnen ook als niet-waterkerende objecten van een kering worden gezien.

Voor de kleine objecten kan vanuit de diverse leidraden al gesteld worden dat, in geval deze een oppervlakte hebben kleiner dan 15 m², deze geen negatieve faalkansbijdrage hebben op de waterveiligheid.

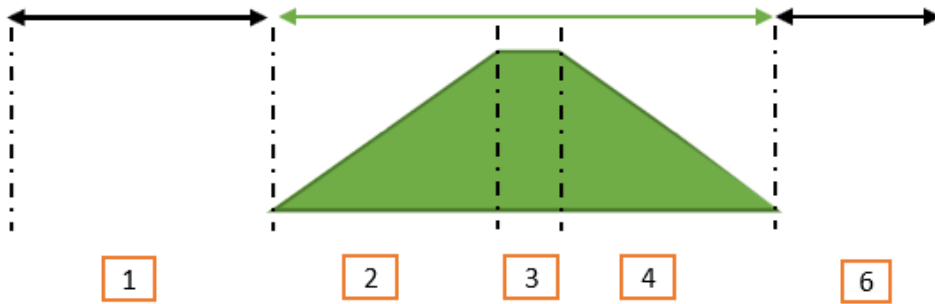
Grote specifieke objecten zijn niet als aparte categorie in deze analyse meegenomen. Wel kunnen hiervoor dezelfde analyses en redeneringen worden gebruikt als voor de bomen en/of bebouwing.

3.2 Zonering

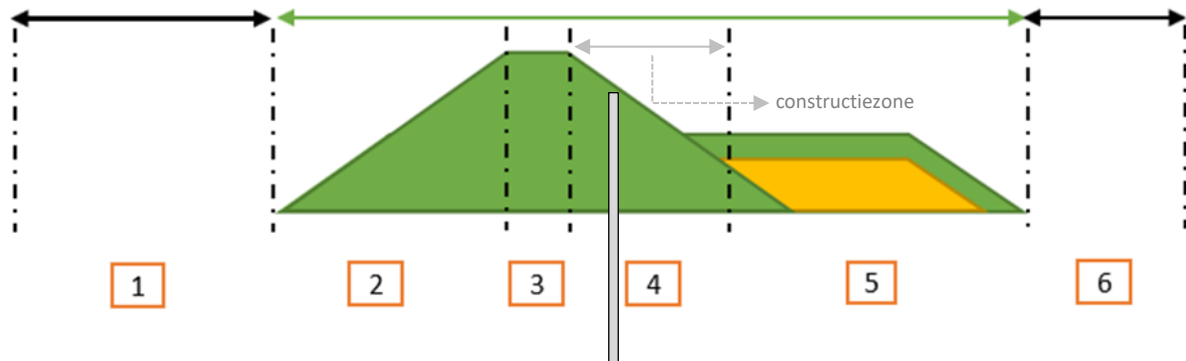
Om op een eenduidige manier het effect van een NWO op de verschillende faalmechanismen te kunnen beoordelen is het waterkeringsprofiel van een waterkering met/zonder berm en met/zonder constructieve maatregel opgedeeld in een zestal zones. De scheiding tussen de zones komt grofweg overeen met de overgang naar een ander type faalproces van de in par. 3.3 beschreven faalmechanismen van een waterkering.



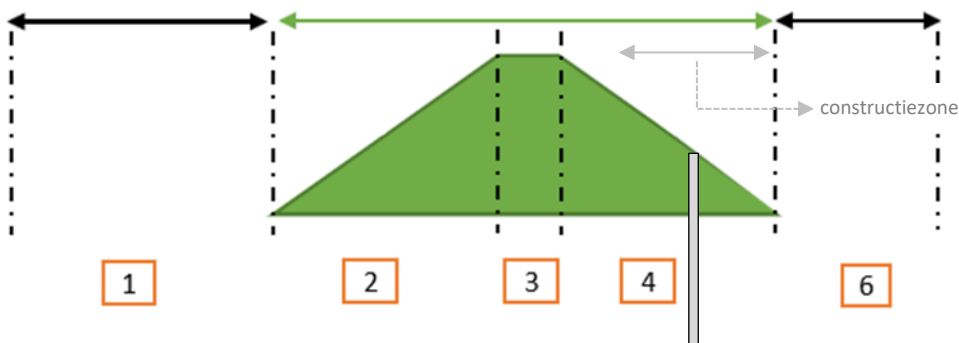
Figuur 3 – Zonering bij een waterkering met binnenberm



Figuur 4 – Zonering bij een waterkering zonder binnenberm



Figuur 5 – Zonering bij een waterkering met constructie met bestaande of aan te leggen berm



Figuur 6 – Zonering bij een waterkering met constructie zonder berm

Een overzicht van de verschillende zones met beschrijving is weergegeven in Tabel 3 en is daaronder kort toegelicht. De in de tabel opgenomen zonering is in de analyses gebruikt en kan als richtinggevend worden gezien. Project- of locatiespecifieke situaties kunnen aanleiding geven van deze zonering en afstanden af te wijken.

Tabel 3 - Zonering en invloed op mechanisme

Zonering	Beschrijving
0	Aanwezige objecten worden niet beschouwd*
1	Voorland tot maximaal 25 m uit de buitenteen.
2	Buitentalud
3	Kruin
4	Binnentalud tot en met 5 m berm vanaf insteek berm
5	Berm vanaf 5 m insteek tot aan de binnenteen
6	Binnenteen tot uittredepunt maatgevend glijvlak inclusief verstoringsprofiel (verstoringsprofiel doorsnijdt de invloedzone STBI).
7	Aanwezige objecten worden niet beschouwd*

Zone 0 (voorland)

In generieke zin wordt aangenomen dat NWO's die verder dan 25 m uit de buitenteen liggen geen (of een verwaarloosbare) faalkansbijdrage hebben. Deze afstand is een pragmatische keuze omdat op deze afstand in veel gevallen strangen, killen en/of andere waterplassen in het voorland aanwezig zijn.

NWO's buiten deze zone hebben bij bezwijken geen effect op macrostabiliteit (buitenwaarts), omdat de invloedslijn van deze glijvlakken, vanwege de dijkgeometrie van het buitentalud, niet zover in het voorland reikt.

Vanuit het mechanisme opbarsten en piping is bekend dat de aanwezigheid van voorland (en weerstand daarvan) een groot effect heeft op de veiligheid voor dit mechanisme. De lokale verstoring van de weerstand in het voorland, veroorzaakt door ontworteling van een boom heeft echter een verwaarloosbare klein effect op de weerstand van het totale voorland is. Als er al weinig weerstand aanwezig is, vanwege het ontbreken van minder doorlatende klei- en/of veenlagen, dan heeft een extra verstoring in het voorland ook geen extra nadelig effect. Erosie van de deklaag kan feitelijk niet voorkomen, vanwege lage stroomsnelheden en het onder water staan van het voorland bij hoogwaterperioden.

Zone 1 (Voorland)

Deze zone in het voorland strekt zich uit vanaf de buitenteen van de waterkering tot 25 m uit de buitenteen. In deze zone speelt met name het optreden van een ontgroning een grote rol voor de waterveiligheid. De hieraan gerelateerde faalmechanismen zijn macrostabiliteit buitenwaarts (STBU) en piping/heave (STPH).

Zone 2 (Buitentalud)

Zone 2 betreft het buitentalud van de kering. In deze zone hebben de NWO's invloed op het faalmechanisme buitenwaartse macrostabiliteit en de erosiebestendigheid van de bekleding. In theorie kan een ontgrondingskuil aan de onderzijde van het buitentalud tot een intredepunt voor piping leiden. Echter is hier veelal sprake van een dikke deklaag (kleibekleding of de kleikern), waardoor de kans op het lokaal ontbreken van weerstand verwaarloosbaar klein wordt verondersteld. Mocht een mogelijk intredepunt niet kunnen worden uitgesloten, dan dient ook de invloed hiervan op het mechanisme piping/heave (STPH) te worden beschouwd.

Zone 3 (Kruin)

Zone 3 betreft de kruin van de kering. Binnen deze zone zijn weinig NWO's aanwezig omdat er op het overgrote gedeelte van de kering een asfaltbekleding (weg of fietspad) op de kruin aanwezig is en dus geen ruimte is voor een NWO (anders dan mogelijk wegmeubilair, zie paragraaf 2.1.4). Als het falen van een NWO hier tot een ontgroning leidt, heeft dit voornamelijk en nagenoeg direct gevolgen voor het mechanisme GEKB.. Dit negatieve effect kan ontstaan als er, als gevolg van golfoverslag, meer en makkelijker water in de kern van de waterkering infiltreert. Als gevolg van het reduceren van het aandrijvende gewicht, is er geen nadelig effect op macrostabiliteit binnenwaarts (STBI) te verwachten. Ook is het niet gebruikelijk om de mogelijk positieve invloed in dit mechanisme mee te nemen.

Zone 4 (Binnentalud)

Zone 4 betreft het binnentalud van de kering, vanaf binnenkruinlijn tot 5 m voorbij de insteek van de eventuele steunberm (= gelijk aan de zone die gereserveerd wordt voor de beheerstrook). In deze zone dient de binnenwaartse stabiliteit en de erosiebestendigheid van de kering te worden beschouwd.

Zone 5 (Steunberm)

Zone 5 betreft de binnenwaartse steunberm vanaf einde beheerstrook (5 m uit insteek van de binnenberm) tot de binnenteen (einde berm). Deze zone is alleen van toepassing bij een dijk met een

binnenwaartse steunberm. Anders hoeft zone 5 niet te worden beschouwd. In deze zone worden, net als in zone 4, macrostabiliteit binnenwaarts (STBI) en de erosieprocessen beschouwd. Het mechanisme piping zal zich normaal gesproken niet voordoen, omdat opbarsten van berm niet zal kunnen optreden voordat de deklaag in het achterland als is opgebarsten.

Zone 6 (Achterland)

In generieke zin wordt aangenomen dat NWO's die verder dan circa 15 m uit de binnenteen liggen geen faalkansbijdrage hebben. In deze zone zijn de meeste faalmechanismen gebundeld. Hier dient zowel op opbarsten en piping (STPH), macrostabiliteit (STBI) als erosieprocessen te worden beschouwd.

Zone 7 (achterland)

In het achterland is uitgegaan dat de invloedzone tot circa 15 m uit de (toekomstige) binnenteen ligt. Alle NWO's verder dan circa 15 m vanuit de nieuwe binnenteen vormen veelal geen interactie met een van de faalmechanismen.

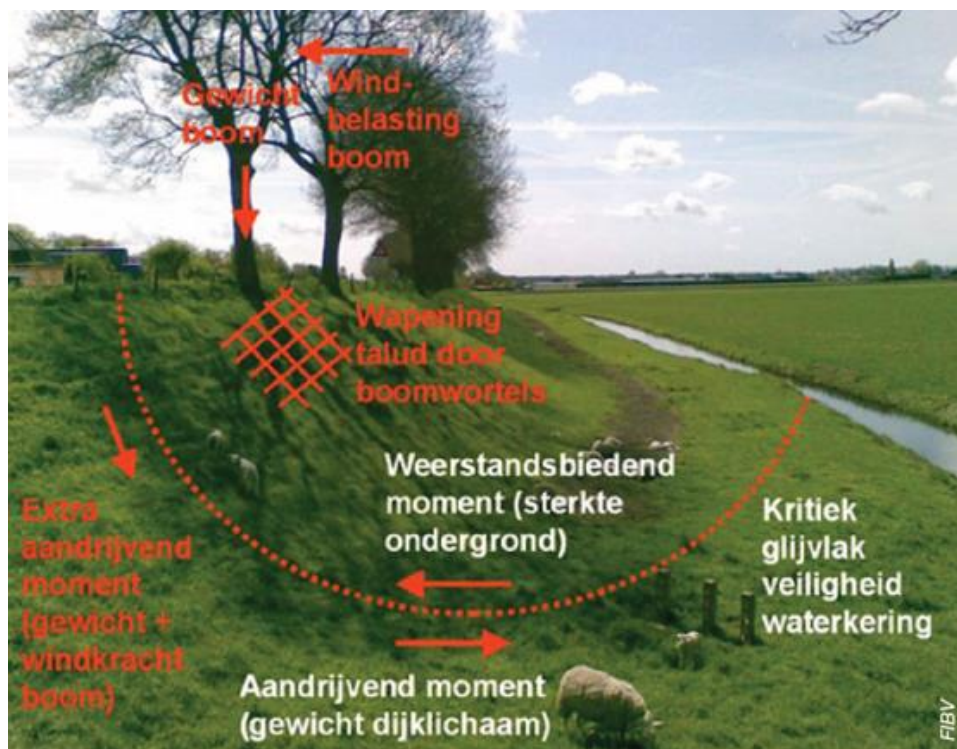
3.3 Initieel faalmechanismen

Elk NWO heeft een eigen verstoringszone, die een interactie kan vormen met één of meerdere faalmechanismen als het object faalt of aanwezig is in aanloop naar of tijdens een hoogwaterperiode. In deze paragraaf zijn de verschillende faalmechanismen doorlopen en is beschreven in welke delen van de kering dit faalmechanisme speelt. Uiteindelijk is dit de basis voor de toegepaste zonering, zoals in paragraaf 3.2 is opgenomen. De faalmechanismen zijn onderverdeeld in drie sporen:

- Macrostabiliteit;
- Opbarsten en piping;
- Erosieprocessen, zoals:
 - Bekleding Kruin en Binnentalud, wat vanuit waterveiligheid o.a. beschreven wordt in de faalmechanismen GEKB, STMI en GABI;
 - Bekleding Buitentalud, wat vanuit waterveiligheid o.a. beschreven wordt in de faalmechanismen GEBU en GABU.

3.3.1 Macrostabiliteit

In aanloop na en tijdens hoogwater nemen de waterspanningen toe, omdat er sprake is van stijging van het freatisch vlak in de dijk en van de stijghoogte in de ondergrond. Daardoor neemt de mobiliseerbare schuifsterkte van de grond af. Tegelijk wordt het aandrijvende moment vergroot. Hierdoor is het momentenevenwicht verstoord. Indien de passieve weerstand (tegenwerkende deel van het glijvlak) extra wordt verzwakt, door extra belasting of falen van een NWO, kan de waterkering mogelijk niet meer aan de vereiste veiligheid voldoen. Dit proces kan uiteindelijk leiden tot een bres in de kering, waardoor de waterkering faalt en er een overstroming plaatsvindt. Afhankelijk van de geometrie van de waterkering en het type en de ligging van het NWO heeft dit een nadelig effect op de stabiliteit. Een NWO in het buitentalud of voorland heeft mogelijk effect op de buitenwaartse stabiliteit en een NWO op binnentalud, binnenberm of achterland heeft mogelijk effect op de binnenwaartse stabiliteit van de waterkering. Een NWO op de kruin kan zowel op de binnenwaartse als buitenwaartse stabiliteit effect hebben.



Figuur 7 – Interactie: verstoringszone NWO doorkruist de invloedzone STBI

3.3.2 Piping, heave, opbarsten (STPH) [ref 6]

Piping kan optreden als er sprake is van een erosiegevoelige en watervoerende laag onder de waterkering met daarboven een relatief dun pakket van samendrukbare klei- of veenlagen, de zogenaamde deklaag. Piping betreft het totaal van deelprocessen, van opbarsten, via heave tot de terugschrijdende interne erosie.

Voordat een pipe kan ontstaan moet eerst de deklaag opbarsten waardoor een open verbinding van de watervoerende zandlaag naar het maaiveld toe kan ontstaan, het zogenaamde uittredepunt. De toestroom van water naar het opbarstkanaal zorgt voor hoge stroomsnelheden nabij het uittredepunt. In deze kwelstroming worden zanddeeltjes vanuit de watervoerende laag naar het uittredepunt omhoog getransporteerd (heave). Dit kan leiden tot een verdichting van het uittredepunt waardoor het erosieproces stopt en er een wel ontstaat die schoon water levert. Echter bij een voldoende groot verticaal verhang, waarbij het zand omhoog wordt gespoeld, kan zich een erosiekanaal onder de deklaag en dijk vormen die steeds verder groeit en langer wordt. Als het pipingkanaal het intredepunt van het water bereikt ontstaat een open verbinding tussen buitenwater en wel, en treedt dus kortsluiting op. Stroomsnelheid en erosie nemen daardoor in het kanaal toe. Het kanaal verbreedt en verdiept zich dan in de richting van het uittredepunt, dus binnendijks. Als gevolg hiervan wordt de dijk langzaam onderspoeld en ontstaan holle ruimten onder de kering. Na verloop van tijd storten deze ruimten in en treedt verzakking van de kruin op, het dijklichaam bezwijkt. Indien de buitenwaterstand daardoor hoger wordt dan de kruinhoogte treedt overloop en daarmee bresgroei op: de waterkering faalt.

Een NWO kan ertoe bijdragen dat de deklaagdikte lokaal gereduceerd wordt en daardoor een intredepunt ontstaat (bij bijvoorbeeld een NWO in het voorland van de kering) of dat deze deklaag gemakkelijker opbarst (bij bijvoorbeeld een NWO in binnenteen/achterland van de kering). Ook het submechanisme heave kan dan bij een kleiner verval over de kering optreden.

3.3.3 Bekleding kruin en binnentalud

Onder invloed van stroming en golven en mogelijk golfoverslag wordt de bekleding op de waterkering blootgesteld aan sterk wisselende waterdrukken, waardoor de bekleding kan eroderen. De bekleding faalt in eerste instantie als er een gat in de graszode ontstaat. Rondom NWO's is de bekleding veelal zwakker (lagere kwaliteit grasbekleding rondom bomen en struiken, aanwezigheid tuinen rondom bebouwing) waardoor bij lagere belastingen erosieprocessen op gang kunnen komen. Een initieel ontstane erosiekuil kan bij gelijkblijvende of groter wordende belasting, als gevolg van terugschrijdende erosie, migreren naar de kruin van de kering. Dit erosieproces kan uiteindelijk leiden tot een bres in de kering, waardoor de waterkering faalt en er een overstroming plaatsvindt.

Voor de beschouwing van de bekleding wordt uitgegaan van een grasbekleding. Dit is de meest voorkomende bekleding binnen Waterschap Rivierenland en ook de meest kwetsbare.

Indien er een andere vorm van bekleding aanwezig is wordt dit gebundeld met de term 'harde bekleding'. In het geval een NWO is omringd door harde bekleding wordt uitgegaan dat de bekleding hier o.a. aanwezig is om erosie rondom het NWO te voorkomen.

4 Gebeurtenissenboom per type NWO en per faalmechanisme

In dit hoofdstuk zijn de resultaten van de uitgevoerde analyses voor zowel de bomen/begroeiing als ook voor de bebouwing weergegeven. Dit betreft een samenvatting op hoofdlijnen. In Bijlage 1 is voor alle vakken in het meerdimensionale raamwerk op hoofdlijnen aangegeven of het NWO, gelegen in een bepaalde zone en voor één of meerdere faalmechanismen, wel of geen effect heeft op de faalkans.

Bij het beschouwen van deze vakken is vaak gebruik gemaakt van een aantal kwalitatieve overwegingen. Deze overwegingen hebben tot een aantal filters (voorwaarden en eigenschappen) geleid, die inzichtelijk maken of een bepaalde gebeurtenis wel of geen bijdrage levert aan de faalkans. Deze filters kunnen worden onderscheiden in:

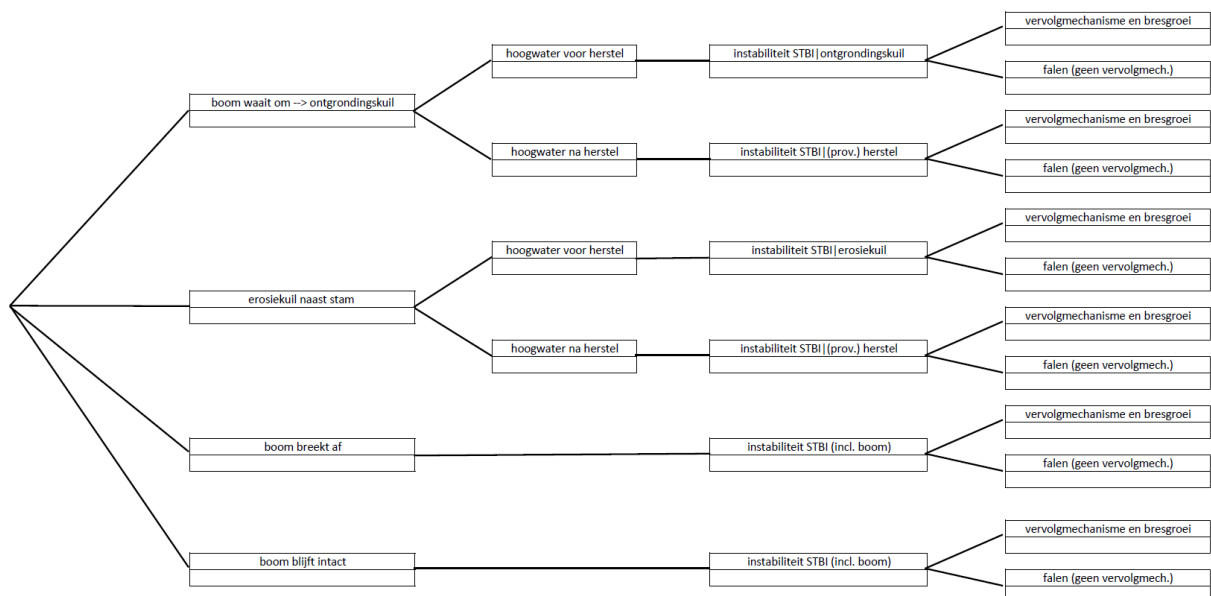
- Generieke filters;
- Beheerfilters;
- Technische filters.

Generieke filters gelden voor het hele beheergebied en wellicht zelfs voor heel Nederland. Voorbeeld van een generiek filter is de kans op de ontworteling van een boom. Beheerfilters volgen onder andere uit het beleid van WSRL op het gebied van zorgplicht en crisisbeheersing, zoals bijvoorbeeld vastgelegd in het calamiteitenbestrijdingsplan. Onder beheerfilter wordt onder andere de kans op herstel (hoogwater voor of na herstel) verstaan, deze zijn verder uitgewerkt in hoofdstuk 5.

Technische filters zijn verschillende voorwaarden vanuit een technisch perspectief, waarmee de kansbijdrage kan worden ingeschat. Bijvoorbeeld dat het effect van een deels of geheel bezweken object op de waterveiligheid als verwaarloosbaar kan worden aangemerkt. Een ander voorbeeld van een technisch filter is het feit dat de weerstand van het voorland niet reduceert als de deklaag in het voorland aanzienlijk (lees: meer dan enkele meters) dikker is dan de diepte van een erosie- of ontgrondingskuil.

4.1 Bomen en begroeiing

Het falen van de kering als gevolg van de aanwezigheid van bomen en begroeiing kan inzichtelijk worden gemaakt met behulp van de volgende gebeurtenissenboom, zie onderstaande figuur.



Figuur 8 – Gebeurtenissenboom voor NWO: boom / begroeiing

Samengevat kunnen de volgende opeenvolgende gebeurtenissen worden gezien:

1. De boom waait om, erosiekuil naast stam, boom breekt af of boom blijft intact;
2. De mogelijkheid om (provisoirisch) herstel uit te voeren voorafgaand of tijdens hoogwater;
3. Kans op instabiliteit of erosie gegeven de voorgaande gebeurtenissen;
4. Tenslotte, afhankelijk van de locatie van de boom, het eventueel optreden van vervolgmecanismen, bresgroei en uiteindelijk het falen van de waterkering.

Hieronder en in de navolgende paragrafen zijn deze gebeurtenissen uitgebreider beschreven in relatie tot de directe faalmechanismen. En daarnaast is een inschatting gemaakt van de kans van optreden.

Initiële gebeurtenis: De boom waait om, leidt tot een erosiekuil, boom breekt af of boom blijft intact

Voor bomen zijn vier situaties gedefinieerd die als initiële gebeurtenis kunnen optreden en uiteindelijk tot falen van de kering kunnen leiden:

a) Boom blijft intact.

In dit geval wordt uitgegaan van de reguliere veiligheidsbeoordeling of ontwerpschematisatie, waarin moet worden meegenomen dat de boom zowel een positief als negatieve impact op de waterveiligheid kan hebben. De kans dat de boom intact blijft is gedefinieerd als:

$$P_{\text{boom, intact}} = 1 - P_{\text{boom, faalt}} = 1 - (P_{\text{omwaaien}} + P_{\text{erosiekuil}} + P_{\text{afbreken}})$$

Naast de schematisatie binnen de reguliere beoordeling of het ontwerp dient in een dergelijke situatie ook het eigen gewicht en de zijwaartse windbelasting te worden meegenomen, tenzij er voor de betreffende locatie geen grote correlatie is tussen hevige wind en hoogwater. Een boom die aanwezig is tijdens een hoogwaterperiode heeft dus alleen invloed op het faalmechanismen macrostabiliteit en is in paragraaf 4.1.1 verder beschreven.

b) Boom faalt – erosiekuil

Het ontstaan van een erosiekuil naast een boomstam, als gevolg van grote hoeveelheden snelstromend water langs de stam, kan alleen optreden in het voorland als gevolg van langsstromend rivierwater (turbulente stroming) of op de kruin, binnentalud of in het achterland als gevolg van overslaand water. Op het buitentalud of in het achterland wordt verwacht dat het water niet snel genoeg stroomt om tot een erosiekuil te kunnen leiden (*generiek filter*). In het voorland is een effect op de waterkering als gevolg van een erosiekuil hypothetisch mogelijk door kortsluiting met daardoor een hogere stijghoogte in een onderliggend watervoerend pakket. Echter is het geohydrologische effect van een enkele erosiekuil in het voorland op de stijghoogte ter plaatse van de waterkering zeer klein en bovendien slibt de ontstane erosiekuil zeer snel weer dicht, waardoor weerstand weer snel zal toenemen (*generiek filter*). Tenslotte kan deze gebeurtenis alleen optreden in geval er wel een deklaag is, maar deze dunner is dan circa 2,0 m (*technisch filter*). Bij dunnere dekragen is er al sprake van een zeer beperkte aanwezige weerstand, die door het ontstaan van een erosiekuil niet verder afneemt. Het ontstaan van erosiekuilen op de kruin, binnentalud of binnenberm kan ontstaan als gevolg van extreme neerslag of zeer grote golfoverslag. Als dit ontstaat zijn, net als bij het ontstaan van een ontgrondingskuil, vervolgmecanismen (erosie van onderlagen en dijk kern) nodig zijn om tot falen van de kering te komen. Het faalpad is (na het initiële mechanisme) dan ook gelijk aan dat van ontworteling van een boom, zie paragraaf 4.1.4.

c) Boom faalt – boom breekt af

Het afbreken van een boom, als gevolg van hevige wind en een slechte staat van een boom, heeft geen negatief effect op de waterkering (*generiek filter*). Het aanwezige wortelgestel zorgt mogelijk juist voor een positieve bijdrage aan de waterveiligheid. Ook heeft een afgebroken boom geen nadelig effect op bijvoorbeeld macrostabiliteit omdat zowel het gewicht als ook de windbelasting is afgenomen. Daarom is deze gebeurtenis aangemerkt als een verwaarloosbaar effect op de waterveiligheid en niet verder uitgewerkt in deze rapportage.

Wel wordt door de waterkeringbeheerders aangegeven dat afbrekende takken bij hun val diep in de bekleding kunnen dringen en dat bij het verwijderen van afgebroken takken de bekleding (indien noodzakelijk) lokaal wordt hersteld (*beheerfilter*).

d) Boom faalt - waait om.

De kans op het falen van een boom wordt het grootst ingeschat voor het omwaaien van een boom. Het ontstaan van een ontgrondingskuil heeft potentieel het grootste negatieve effect op de waterveiligheid. Deze gebeurtenis wordt daarom direct hieronder en ook verder in de paragrafen 4.1.2 t/m 4.1.4 per faalmechanisme uitgewerkt.

De kans dat een enkele boom faalt als gevolg van een windworp bij extreme windbelasting (storm) is conform de literatuur 1/20 tot 1/500 per jaar [ref 9] (*generiek filter*). Doordat er in het (boven)rivierengebied geen sterke correlatie is tussen hoge rivierafvoeren en wind is in eerste instantie een kans van 1/100 per jaar aangehouden. De kans op windworp in het stormhalfjaar tijdens een periode van hoogwater op de rivier is daarmee $1/100 * 1/26 = 1/2.600$ per keer. Indien de kans op geen tijdig herstel op 1/10 per keer wordt aangenomen (*beheerfilter*), deze gecombineerd wordt met de kans dat een solitaire boom omwaait tijdens het stormhalfjaar, en er geen tijdig herstel kan plaatsvinden, dan leidt dit tot een zeer kleine gecombineerde kans ($1/2.600 * 1/10 = 1/26.000$ per keer). De kans dat een (groot deel van een) groep bomen tegelijkertijd omwaait tijdens een hoogwaterperiode, en er geen tijdig herstel kan plaatsvinden, is nog kleiner.

4.1.1 Macrostabieleit binnenwaarts (STBI) met boom intact

Als bomen/begroeiing aanwezig zijn tijdens een hoogwaterperiode leveren deze een extra belasting op de waterkering door het eigen gewicht van de bomen/begroeiing en doordat de bomen/begroeiing wind vangen en deze belasting via de takken en de stam naar de ondergrond afdragen. Vanwege de beperkte hoogte en het gewicht van begroeiing kan gesteld worden dat alleen bomen een mogelijk negatieve bijdrage aan de waterveiligheid kunnen hebben.

Ook heeft een solitaire boom op het geheel van een te ontwikkelen glijvlak een verwaarloosbare negatieve invloed. Daarom worden alleen boomgroepen en met name boomrijen beschouwd.

Een boomgroep of bomenrij op het voor- en achterland of op het buitentalud (zone 1, 2 en 6) heeft geen faalkansbijdrage op de stabiliteit van het binnentalud. Van bomen op de kruin, het binnentalud en eventueel aanwezig binnenberm (zone 3, 4 en 5) moet dit worden beschouwd.

In de programmatuur die voor een stabiliteitsanalyse kan worden gebruikt (bv. DGeostability), kan de belasting van de bomen (door eigengewicht en wind) worden gemodelleerd en kan het effect hiervan op de stabiliteitsfactor worden bepaald. Opgemerkt wordt dat bij de bepaling van de faalkansbijdrage de kans op extreme wind gecombineerd met het optreden van een hoogwatersituatie moet worden meegenomen. Uiteindelijk kan de extra belasting als gevolg van de bomen bijvoorbeeld als scenario (met een bepaalde kans van voorkomen) meegenomen worden in de veiligheidsbeschouwing voor het mechanisme macrostabieleit.

4.1.2 Macrostabieleit binnenwaarts (STBI) met ontgrondingskuil

Het omwaaien van een boom of een groep bomen kan plaatsvinden in verschillende zones ten opzichte van de waterkering, zie par. 3.2.

In het voorland geldt dezelfde redenering als voor de erosiekuil, namelijk dat een effect van een ontgrondingskuil op STBI alleen mogelijk is door kortsluiting met en daardoor een hogere stijghoogte in een onderliggend watervoerend pakket. Het geohydrologische effect van een enkele ontgrondingskuil in het voorland op de stijghoogte ter plaatse van de waterkering is echter zeer klein en bovendien slibt de ontstane ontgrondingskuil zeer snel weer dicht (*generiek filter*).

Voor het buitentalud geldt dat deze doorgaans als gevolg van allerlei invloeden is gestructureerd en goed doorlatend is [ref 8]. Een ontgrondingskuil in het buitentalud heeft daarmee slechts een klein effect op de ligging van de freatische lijn in de kering en op het kweldebiet door de kering en daarmee eveneens een verwaarloosbaar effect op het mechanisme macrostabieleit.

Een ontgrondingskuil op de kruin leidt tot een kleiner aandrijvend gewicht en heeft daarmee een gering positief effect op macrostabiliteit. Dit positieve effect wordt in de praktijk niet in rekening gebracht.

Op binnentalud, -berm en achterland zorgen ontwortelde bomen in eerste instantie niet voor minder gewicht op het maaiveld (grond en bomen zijn niet verdwenen). Het is zeer onwaarschijnlijk dat de bomen vervolgens weggehaald worden, zonder dat daarbij eventueel ontstane ontgrondingskuilen worden aangevuld en het maaiveld (indien noodzakelijk zelfs met krammatten) wordt verstevigd (*beheerfilter*). Aanvullend wordt daarbij opgemerkt dat, vanwege 3D-werking, een ontgrondingskuil van een solitaire boom (doorsnede orde grootte 6 m met diepte van circa 1,0 m) geen effect heeft op een groot afschuifvlak (lengte evenwijdig aan kering van 25 tot 50 m).

Geconcludeerd wordt dat de faalkansbijdrage voor STBI als gevolg van het omwaaien van een solitaire boom heel erg klein is. In de situatie van een boomgroep, welke aanwezig zijn in de zones 4, 5 en 6, zou grootschalige ontworteling met ontgroning tot gevolg een negatief effect kunnen hebben op macrostabiliteit. Opgemerkt wordt dat in de bepaling van de faalkansbijdrage de zeer kleine kans op omwaaien gecombineerd met het optreden van een hoogwatersituatie èn geen tijdig herstel moet worden meegenomen.

4.1.3 Piping, opbarsten en heave (STPH) met ontgrondingskuil

Het omwaaien van een boom of een groep bomen in het voor- of achterland kan een effect hebben op het faalmechanisme piping, opbarsten of heave (STPH). Op het buitentalud, kruin, binnentalud of binnenberm worden, als gevolg van het omwaaien van een boom en een daardoor ontstane ontgrondingskuil, geen effecten op het faalmechanisme piping verwacht (*generiek filter*).

In het voorland kan het omwaaien van een boom leiden tot een ontgrondingskuil en daarmee tot kortsluiting tussen het buitenwater en de onderliggende watervoerende zandlaag. Hierdoor kan een hogere stijghoogte in een onderliggend watervoerend zandlaag ontstaan. Voorwaarden hiervoor zijn dat er sprake moet zijn van een deklaag en dat deze deklaag dunner moet zijn dan circa 2,0 m (*technisch filter*). Zoals reeds opgemerkt is echter het geohydrologische effect van een enkele erosie- of ontgrondingskuil in het voorland bij dunne deklagen op de stijghoogte ter plaatse van de waterkering zeer klein, ook omdat de ontstane erosiekuil zeer snel weer dichtslibt (*generiek/technisch filter*).

In het achterland kan het omwaaien van een boom leiden tot een ontgrondingskuil en daarmee tot een verminderde weerstand voor opbarsten. Als er geen deklaag aanwezig is, is er geen sprake van weerstand en heeft het ontstaan van een ontgrondingskuil geen negatief effect (*technisch filter*). Als er een dikke deklaag aanwezig is (groter dan bijvoorbeeld 4 m) heeft een ontgrondingskuil een verwaarloosbaar effect op de opbarstveiligheid (*technisch filter*). Is de deklaag kleiner dan bijvoorbeeld 4 m en staat de boom dicht bij de kering, zodat deze de opbarstlocatie bepaalt, dan dient het potentiële negatieve effect van de ontgrondingskuil op piping nader te worden beschouwd. Hierbij dient ook de zeer kleine gecombineerde kans op omwaaien én geen tijdig herstel te worden meegenomen in de bepaling van de faalkansbijdrage.

4.1.4 Erosie kruin, buiten- en binnentalud met erosie- of ontgrondingskuil

Het omwaaien van een boom of een groep bomen op de kruin, buiten- of binnentalud of binnenberm heeft mogelijk een effect op erosieprocessen en daarmee op de faalmechanismen GEKB, GABI, STMI en GEBU. In het voorland of het achterland is een ontgrondingskuil zover van de kering verwijderd dat de lokale schade niet tot doorgaande erosie richting de dijk kan leiden (*technisch filter*). Bomen in het voor- en achterland hebben dan ook geen negatief effect op de waterveiligheid voor wat betreft erosieprocessen en zijn daarom niet nader beschouwd (*technisch filter*).

Op de kruin, buiten- of binnentalud of binnenberm kan een ontgrondingskuil, in combinatie met grote hoeveelheden langstromend water, leiden tot meer erosie. Hierdoor kan de ontgrondingskuil zich uitbreiden richting de waterkering (buitenkruin) en uiteindelijk direct of indirect leiden tot bresgroei en falen van de kering. Daarbij geldt dat hoe groter de afstand tussen boom (ontgrondingskuil) en buitenkruin, hoe kleiner de kans op falen, omdat meer voortschrijdende (heatcut) erosie moet plaatsvinden voordat de kering is gefaald (*technisch filter*).

Aspecten die invloed hebben op de snelheid van erosie en/of de mate van invloed van een ontgrondingskuil zijn:

- (Rest)breedte kruin;
- Wel/geen wegverharding op kruin;
- Grootte en kans van optreden van overslagdebiet;
- Erosiebestendigheid van toplaag en dijksmateriaal (kernmateriaal).

Al deze aspecten (*technische filters*) dienen integraal te worden beschouwd, waarbij ook de zeer kleine gecombineerde kans op omwaaien én geen tijdig herstel (*beheer filter*) moet worden meegenomen in de bepaling van de faalkansbijdrage.

Overwegingen daarbij zijn:

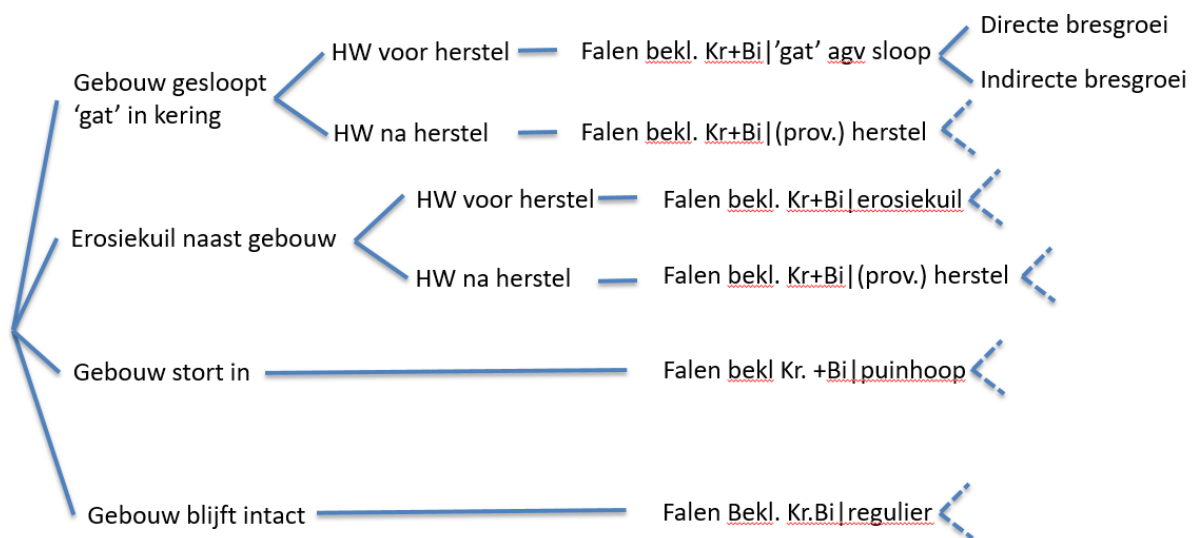
- Indien er sprake is van een volledige kleidijk wordt verwacht dat voortschrijdende (heatcut) erosie van binnentalud of buitenteen tot aan buitenkruin een langdurig proces betreft. De kans dat dit optreedt gedurende één hoogwaterperiode (stormduur max. 12 uur tijdens hoogwaterperiode op bovenrivierengebied) is klein (*technisch filter*);
- Indien er sprake is van bomen op de kruin, binnentalud of -berm maar ook met een voldoende hoge kering, waardoor de grootte en kans op overslagdebiet zeer klein is (bijvoorbeeld kleiner dan 1 l/s/m tijdens maatgevende omstandigheden (omstandigheden met kans van voorkomen gelijk aan doorsnede-eis voor GEKB)), kan op basis daarvan worden geconcludeerd dat op deze locatie de potentiële invloed van een ontgrondingskuil op het faalmechanisme GEKB zeer klein is (*technisch filter*).

Het is de verwachting dat het wel of niet ontstaan van erosie sterk afhankelijk is van de lokale condities. In de literatuur zijn handvatten gegeven waarmee de mate van terugschrijdende erosie (migratielengte), afhankelijk van golfoverslag (golfhoogte), overslagduur en aanwezige grondlagen, kunnen worden afgeleid (zie onder andere [ref 3] en [ref 4]).

4.2 Bebouwing

Voor de bebouwing zijn enkele initiële gebeurtenissen gedefinieerd, die uiteindelijk kunnen leiden tot het falen van de kering. Deze gebeurtenissen zijn:

- Gebouw stort in (voor of tijdens hoogwaterperiode);
- Er ontstaat erosiekuil naast gebouw (tijdens hoogwaterperiode);
- Gebouw gesloopt en daardoor 'gat' in de kering (voorafgaand aan hoogwaterperiode);
- Gebouw blijft intact.



Figuur 9 – Gebeurtenissenboom voor NWO: bebouwing

Indien een gebouw aanwezig is tijdens een hoogwaterperiode heeft deze mogelijk een negatieve invloed op de waterveiligheid doordat er in of onder de woning 'open ruimten' zoals kelders (zonder vloer) of kruipruimten aanwezig zijn. Deze kunnen effect hebben op het mechanisme opbarsten en piping. Daarentegen heeft bebouwing met vaste (kelder)vloeren geen faalkansbijdrage voor dit mechanisme. Ook is rondom bebouwing veelal een andere bekleding aanwezig, zoals tuinen, hagen en overige begroeiing wat een nadelig effect heeft op de erosieprocessen van de bekleding. In navolgende paragrafen zijn deze aspecten verder uitgewerkt.

Van een aantal gebeurtenissen kan middels een 'beheerfilter' (voor WSRL in het bijzonder en wellicht ook andere beheerders en daardoor meer generiek) gesteld worden dat deze een verwaarloosbaar kleine bijdrage hebben op de overstromingskans van de waterkering.

De kans dat een gebouw gesloopt is en daardoor een 'gat' in de kering aanwezig is, is verwaarloosbaar klein omdat (*beheerfilters*):

- Bouw en sloopwerkzaamheden binnen het waterstaatswerk, dienen volgens de Keur en legger te worden vergund door het waterschap;
- In de vergunning wordt aangegeven dat er (in principe) niet tijdens het hoogwaterseizoen in de kering gegraven mag worden. Daarnaast wordt per aanvraag in overige bepalingen gesteld dat een 'gat' in de kering zo kort mogelijk aanwezig mag zijn en dat deze, op verzoek van het waterschap als gevolg van aankomend hoogwater, binnen korte termijn (tijdelijk) aangevuld moet worden;
- Een hoogwaterperiode dient zich enige tijd van te voren aan (hierbij is er verschil met boven- en rivierengebied en ook tussen de verschillende riviertakken Maas vs. Rijn);
- Regulier worden de dijken elke twee weken geïnspecteerd en vanaf een bepaalde rivierwaterstand wordt de dijkwacht/dijkpatrouille ingezet. Hierdoor worden (voor het waterschap onbekende) bouw- en sloopwerkzaamheden vroegtijdig opgemerkt;
- Er is tijd om (provisorische) herstelwerkzaamheden uit te voeren nadat tekortkoming in waterstaatswerk is geconstateerd. De benodigde tijd voor deze herstelwerkzaamheden (in geval van een aanstaande hoogwaterperiode), is veelal beperkt (aantal uur).

De kans dat een gebouw instort voorafgaand of tijdens een hoogwaterperiode is verwaarloosbaar klein omdat (*technische filters*):

- Het gebouw voldoet aan eisen uit bouwbesluit (eisen vanuit welstand/gemeente) en heeft daarmee een zekere betrouwbaarheid;

-
- Indien gebouw net voor of tijdens hoogwater (door extreme belasting) toch bezwijkt, resteert een puinhoop. Deze puinhoop heeft geen negatief effect op falen van waterkering. Mogelijke (extra) stromingsconcentratie resulteert in een erosiekuil maar dat is een andere initiële gebeurtenis. Vanuit het overleg met beheerders blijkt dat in dit geval ervoor wordt gekozen om deze puinhoop pas na de hoogwaterperiode weg (te laten) halen (*beheerfilter*).

Kortom naast het meenemen van een intact gebouw is de enige initiële gebeurtenis die kan bijdragen aan het falen van de waterkering het ontstaan van een erosiekuil rondom een gebouw voor en/of tijdens een hoogwaterperiode. Van de takken 'gebouw gesloopt' en 'gebouw stort in' kan op basis van bovenstaande redeneringen worden gesteld dat deze geen faalkansbijdrage hebben vanuit het oogpunt van waterveiligheid. In de paragrafen 4.2.1, 4.2.3 en 4.2.4 is het ontstaan van een erosiekuil rondom bebouwing voor de drie mechanismen verder uitgeschreven.

4.2.1 Macrostabieleit binnenwaarts met erosiekuil rond bebouwing

De gebeurtenissenboom voor het falen van de waterkering op het faalmechanisme macrostabieleit binnenwaarts met mogelijke faalkansbijdrage van een erosiekuil rond bebouwing is in de inleiding van deze paragraaf aangegeven. Kort samengevat kunnen de gebeurtenissen worden gezien volgens:

1. Als gevolg van stroming van water ontstaat in aanloop naar of tijdens een hoogwaterperiode een erosiekuil rond een gebouw;
2. Er is een mogelijkheid om (provisorisch) herstel uit te voeren;
3. Kans op ontstaan van macro-instabiliteit gegeven de voorgaande gebeurtenissen;
4. Tenslotte, afhankelijk van de locatie van het gebouw ten opzichte van de waterkering, het eventueel optreden van vervolgmecanismen, bresgroei en uiteindelijk het falen van de waterkering.

Een erosiekuil die rondom bebouwing op het binnentalud/ -berm of in het achterland ontstaat zorgt niet voor een grote achteruitgang van de faalkans op macrostabieleit omdat een dergelijke kuil slechts een zeer beperkt effect heeft op een potentieel afschuifvlak. Een dergelijk glijvlak is voor primaire keringen namelijk al snel 25 – 50 m lang (in lengte richting van de kering). Een reductie van het passieve weerstand van een erosiekuil (slechts een beperkte hoeveelheid grond) kan daarin niet of nauwelijks tot een faalkansvergroting zorgen (*technisch filter*). Een erosiekuil die op de kruin van de kering ontstaat heeft in potentie, voor wat betreft het macrostabieleit binnenwaarts, een gunstig effect, maar wordt in de praktijk nooit meegenomen (*technisch filter*).

In het voorland kan het ontstaan van een erosiekuil leiden tot kortsluiting en daardoor een hogere stijghoogte in een onderliggend watervoerend pakket. Voorwaarden hiervoor zijn dat er sprake moet zijn van een deklaag en dat deze deklaag dunner moet zijn dan circa 2,0 m. Zoals reeds opgemerkt is echter het geohydrologische effect van een enkele erosie- of ontgrondingskuil in het voorland bij dunne deklagen op de stijghoogte ter plaatse van de waterkering zeer klein en bovendien slibt de ontstane erosiekuil zeer snel weer dicht. Hierdoor heeft ook een erosiekuil rondom bebouwing op het voorland geen effect op macro-instabiliteit van het binnentalud (*technisch filter*).

Voor het buitentalud geldt dat deze, als gevolg van allerlei invloeden, is verweerd, gestructureerd en goed doorlatend is [Handreiking Dijkbekledingen Deel 5: Grasbekledingen]. Een erosiekuil in het buitentalud heeft daarmee slechts een zeer klein effect op de ligging van de freatische lijn in de kering en op het kweldebiet door de kering en daarmee op het mechanisme macrostabieleit (*technisch filter*).

4.2.2 Opbarsten en piping met bebouwing intact

Bebouwing met 'open ruimten zonder vaste vloer', welke aanwezig zijn tijdens een periode van hoogwater kunnen een negatief effect hebben op het mechanisme opbarsten en piping doordat er zicht een intredepunt ontstaat aan de buitenzijde van de kering of wel een opbarstlocatie, danwel uittredepunt ontstaat aan de binnenzijde van de kering.

Voor het voorland geldt net als voor het mechanisme macrostabiliteit dat het geohydrologische effect van een een lokaal verstoorde deklaag bij dunne deklagen (naast de bebouwing) op de stijghoogte ter plaatse van de waterkering zeer klein is. Hierdoor heeft ook bebouwing op het voorland geen effect op het optreden van piping en heave (*technisch filter*).

Een erosiekuil op het buitentalud, de kruin, binnentalud, binnenberm van de kering heeft geen effect op het mechanisme, omdat zowel de opbarstlocatie als ook het intrede- als het uittredepunt van de kwelweglengte niet in deze zones liggen of komen te liggen. In theorie zouden er zodanig hoge stijghoogten onder het binnentalud/binnenberm kunnen ontstaan, die tot opbarsten zouden kunnen leiden, maar in die gevallen zal er sprake moeten zijn van hele dikke deklagen (>4 m) waardoor er kelders aanwezige moeten zijn van meerdere verdiepingen. Het is uitgesloten dat deze kelders geen vaste vloer hebben.

Gebouwen in de binnenteen en achterland (klein deel van zone 5 en zone 6) geldt dat deze bij dunne deklagen (kleiner dan enkele meters) wel een potentiële locatie voor opbarsten en het uittredepunt voor de kwelweglengte moeten worden aangemerkt en beschouwd. Daarentegen zal bij dunne deklagen de kans ook groot zijn dat er naast de bebouwing opbarsten optreedt. Ook zal de kruipruimte na opbarsten vol met water lopen (de wel kist zich, als het ware, zelf op) waardoor de overstromingskans door piping nauwelijks wordt beïnvloed door de bebouwing. Echter dit kan niet op voorhand worden uitgesloten en daardoor zal bebouwing in binnenteen en het achterland moeten worden beschouwd.

4.2.3 Opbarsten en piping met erosiekuil rondom bebouwing

De gebeurtenissenboom voor het falen van de waterkering op het faalmechanisme opbarsten en piping met mogelijke faalkansbijdrage van een erosiekuil rond bebouwing is in de inleiding van deze paragraaf aangegeven. Kort samengevat kunnen de gebeurtenissen worden gezien volgens:

1. Als gevolg van stroming van water ontstaat in aanloop naar of tijdens een hoogwaterperiode een erosiekuil rond een gebouw;
2. Er is een mogelijkheid om (provisorisch) herstel uit te voeren;
3. Er is een kans op het ontstaan van opbarste van de deklaag gevolgd door piping gegeven de voorgaande gebeurtenissen;
4. Tenslotte, afhankelijk van de locatie van het gebouw, het eventueel optreden van vervolgebeurtenissen, bresgroei en uiteindelijk het falen van de waterkering.

Een erosiekuil op het buitentalud, de kruin, binnentalud, binnenberm van de kering heeft geen effect op het mechanisme, omdat zowel de opbarstlocatie als ook het intrede- als het uittredepunt van de kwelweglengte niet in deze zones liggen of komen te liggen (*technisch filter*).

Voor het voorland geldt net als voor het mechanisme macrostabiliteit dat het geohydrologische effect van een enkele erosie- of ontgrondingskuil in het voorland bij dunne deklagen op de stijghoogte ter plaatse van de waterkering zeer klein is dat bovendien de ontstane erosiekuil zeer snel weer dichtslibt. Hierdoor heeft ook bebouwing op het voorland geen effect op het optreden van piping en heave (*technisch filter*).

Een erosiekuil rondom een gebouw in het achterland als gevolg van overslaand water zal niet kunnen optreden, omdat de stroomsnelheden zeer laag zijn en er geen sprake meer is van steile taludhellingen. Anders gezegd moet het overslagdebiet heel groot zijn om op deze locatie een erosiekuil te laten ontstaan. Daarbij is het in situaties met een dikke deklaag onwaarschijnlijk dat er opbarsten als gevolg van een erosiekuil plaatsvindt (*technisch filter*).

Bij een dunne deklaag vindt er op andere locaties, dicht bij de binnenteen, eerder opbarsten plaats waardoor ook hier een erosiekuil niet tot falen van de kering leidt (*technisch filter*). Tenslotte kan bij

afwezigheid van een deklaag geen opbarsten en daarmee geen piping ter plaatse van het gebouw plaatsvinden (*technisch filter*).

Op basis van bovenstaande redeneringen wordt geconcludeerd dat in geen van de genoemde zones een erosiekuil naast bebouwing een faalkansbijdrage heeft in relatie tot het reguliere veiligheidsoordeel voor het faalmechanisme opbarsten en piping.

4.2.4 Erosie van bekleding rondom bebouwing

De gebeurtenissenboom voor het falen van de waterkering vanuit het faalmechanisme erosie van de bekleding als gevolg van een erosiekuil rond bebouwing is in de inleiding van deze paragraaf aangegeven. Kort samengevat kunnen de gebeurtenissen worden gezien volgens:

1. Als gevolg van stroming van water ontstaat in aanloop naar of tijdens een hoogwaterperiode een erosiekuil rond een gebouw;
2. Er is een mogelijkheid om (provisorisch) herstel uit te voeren;
3. Kans op ontstaan van schade en erosie van bekleding gegeven de voorgaande gebeurtenissen;
4. Tenslotte, afhankelijk van de locatie van het gebouw, het eventueel optreden van vervolgmechanismen, bresgroei en uiteindelijk het falen van de waterkering.

Het ontstaan van een erosiekuil op het voorland is vanwege de geringe belasting (combinatie van stroming en golven) zeer gering. Eventuele beschadiging van de bekleding ontwikkelt zich niet richting de waterkering maar meer in de stromingsrichting van het buitenwater. Hierdoor leidt een erosiekuil in het voorland niet tot falen van de bekleding op erosiesporen (bv. GEBU en GABU) (*generiek filter*).

Een erosiekuil op het buitentalud kan, als gevolg van toenemende belastingen (combinatie van stroming en golven), groeien. Het effect van golven zorgt voor de grootste belasting. Hierdoor treedt bij een erosiekuil, welke zich steeds verder onder water bevindt, geen doorgaande erosie op. Bij een dijk met zandkern kan een erosiekuil op het buitentalud een hogere freatische waterstand en daarmee mogelijk STBI en/of GABI initiëren. Voor deze mechanismen dient bebouwing op het buitentalud dan ook nader te worden beschouwd.

Het ontstaan van een erosiekuil in de kruin, buiten- of binnentalud of binnenberm heeft, net als bij een ontgrondingskuil van een boom, mogelijk een effect op faalmechanismen door erosieprocessen (GEKB, GABI, STMI en GEBU). Op de kruin, buiten- of binnentalud of binnenberm kan een erosiekuil, in combinatie met grote hoeveelheden langsstromend water, leiden tot meer erosie. Hierdoor kan de schade zich uitbreiden richting de waterkering (buitenkruin) en uiteindelijk direct of indirect leiden tot bresgroei en falen van de kering. Daarbij geldt dat hoe groter de afstand tussen de erosiekuil en buitenkruin, hoe kleiner de kans op falen, omdat meer voortschrijdende (heatcut) erosie moet plaatsvinden voordat de dijk is gefaald.

Aspecten die invloed hebben op de snelheid van erosie en/of de mate van invloed van een ontgrondingskuil zijn opgesomd in paragraaf 4.1.4.

5 Omgang met NWO's binnen waterschap Rivierenland

Waterschap Rivierenland heeft langs een groot deel van de grote rivieren van Nederland in zowel het bovenrivieren- als het benedenrivierengebied primaire waterkeringen. Voor het bovenrivierengebied komt de belasting op de keringen met name vanuit de hoge rivierafvoeren van de Rijn (Nederrijn en Waal) en de Maas. Voor het benedenrivierengebied wordt de belasting bepaald door een combinatie van een hoge rivierafvoer, een hoge zeespiegel, storm en het wel of niet sluiten van de stormvloedkeringen. De hoge zeespiegel wordt veroorzaakt door een combinatie van getij en wind op de Noordzee. Hierdoor is er in het benedenrivierengebied sprake van een positieve correlatie tussen de kansen van optreden van hoge waterstanden, golfbelasting en de windbelasting op aanwezige NWO's zoals bomen.

In het najaar van 2020 is in een tweetal overleggen met enkele keringbeheerders (Wim Cornelissen, Tom Veenhoff en Hans Knotter) en beleidsmedewerkers (Evert Hazenoot en Marike Olieman) de gang van zaken met betrekking tot ervaring met NWO's op de primaire waterkeringen besproken.

In dit hoofdstuk zijn met name de aspecten ten aanzien van het beleid (Keur) het dagelijks beheer en onderhoud (zorgplicht) en de calamiteitenbestrijding (Calamiteiten Bestrijdingsplan) rondom NWO's weergegeven.

5.1 Verordeningen en kaders vanuit beleid (Keur)

Binnen WSRL is een aantal verordeningen en kaders beschikbaar waarmee regels gegeven worden over het (mede)gebruik van de beschikbare ruimte op en rondom de primaire waterkeringen, namelijk de waterschapskeur en de legger (waterkeringen). Hierin zijn onder andere voorwaarden opgenomen voor het gebruik van waterstaatswerken en beschermingszones (hoofdstuk 3 van Keur). Zo is aangegeven dat het verboden is om zonder watervergunning op het waterstaatswerk werken aan te leggen, te laten staan, te vervangen, te verwijderen en te vervoeren. Daarmee is zowel het amoveren als bouwen van gebouwen vergunningplichtig.

Ook mogen er zonder vergunning geen bomen worden geplant in een waterkering en/of in de bijbehorende beschermingszone (zie onder andere WT10 van algemene regels bij de Keur).

Ook voor veel andere elementen zijn in de Keur voorwaarden en verplichtingen aangegeven, zoals voor het aanleggen en behouden van kabels en leidingen, beplanting, hekwerken, tijdelijke objecten en handmatig eenvoudig demontabele objecten, erfverharding, interne verbouwingen en dakkapellen.

5.2 Dagelijks beheer en onderhoud (zorgplicht)

Het dagelijks beheer en onderhoud van de kering is gericht op het in zo goed mogelijke conditie houden van de waterkering, zodat deze haar waterkerende functie te allen tijd zo goed mogelijk kan vervullen. Onder deze werkzaamheden vallen onder andere:

- Onderhoud van dijkbekleding (maaïen van gras, instandhouden van steenbekleding, verwijderen van opschot, verwijderen van drijfvuil, opruimen van afgevallen of kapotgewaaide boom(takken) en ontwortelde bomen);
- Voor- en najaarschouw van de waterkering (situatie voorafgaand en na hoogwater inspecteren)
- Inspecteren of andere functies niet conflicteren met de functie waterveiligheid en met vergunde situaties, zoals werkzaamheden binnen de verschillende zones, zonder dat daarbij vergunning en/of meldingen zijn gemaakt bij het waterschap.

Uit de gesprekken met de keringbeheerders blijkt dat dergelijke werkzaamheden uitgevoerd worden met in achtneming van een aantal generieke en ook locatiespecifieke overwegingen, zoals (niet uitputtend):

- Indien er gebreken en/of onvolkomenheden worden geconstateerd bij dreigend hoog water wordt altijd actie ondernomen, ongeacht de omstandigheden;
- Indien er gebreken en/of onvolkomenheden worden geconstateerd in het voorjaar en/of de zomer dan wordt afgewogen of het nodig is om direct of op een later tijdstip actie te ondernemen. Aspecten als begaanbaarheid van het dijktralud (bv. in extreme natte periode: “rijden we meer schade aan de grasmat, dan dat we kunnen repareren”) of het broedseizoen van vogels worden dan meegenomen in de overweging om eventueel op een later tijdstip, maar altijd voor het komende hoogwaterseizoen, actie te ondernemen.

5.3 Crisisbestrijdingsplan ‘hoogwater’

Bij verwachte hoge buitenwaterstanden op de rivier wordt in een aantal fasen het crisisbestrijdingsplan (CPB) Hoogwater [ref 5] gevolgd. In dit plan is een aantal momenten van opschalen (overeenkomend met een fase) gedefinieerd. De fasen zijn gekoppeld op de verwachte waterstanden bij onder andere Lobith, Mook en Hoek van Holland.

In het CBP is binnen de fasen aangegeven hoe omgegaan wordt met inspectie van de waterkeringen en de omgang met geconstateerde gebreken. Het is bijvoorbeeld in het beheergebied bekend dat er bij bepaalde buitenwaterstanden op diverse locaties (zandmeevoerende) wellen ontstaan. Deze wellen worden dan ook preventief gecontroleerd en waar nodig opgekist.

Tijdens de gesprekken met de keringbeheerders zijn een aantal situaties geschetst en doorgesproken, zoals ontworteling van een boom in aanloop naar een hoogwater en/of het ontstaan van erosiekuilen langs bebouwing op het binnentalud als gevolg van een periode van golfoverslag. Uit deze gesprekken bleek dat voor de verschillende fasen van het CBP duidelijke processen zijn vastgesteld, waarin de volgende stappen worden doorlopen:

- Signalering/alarmering van calamiteit (en opnemen in het programma Vizier);
- Beoordeling van de gesignaleerde calamiteit;
- Mobilisatie van aannemer;
- Uitvoering door aannemer;
- Beoordeling van herstelwerkzaamheden (en afmelding in het programma Vizier).

Uit de gesprekken blijkt dat er tijdens een (aankomend) hoogwater, afhankelijk van de fase uit het crisisbestrijdingsplan, op dagelijkse basis danwel volcontinu dijkinspecties worden uitgevoerd. Deze inspecties vinden vervolgens altijd doorgang totdat het hoogwater weer gedaald is. De enige uitzondering op het uitvoeren van deze inspecties is in perioden met harde wind (storm) en de mogelijk hieraan gekoppelde periode met grote golfoverslag, waardoor de kruin van de waterkering niet meer bereik- en berijdbaar is. Daarom kan gesteld worden, dat signalering van een calamiteit bij hoger wordende rivierwaterstanden steeds sneller plaatsvindt, met een maximale signaleringsduur van ergens tussen de 6 en 12 uur.

De gemelde schade wordt opgenomen in het programma Vizier en wordt binnen een 1 tot 2 uur doorgegeven, besproken bij het WOT en op urgentie geprioriteerd. Calamiteiten waarop direct actie moet worden ondernomen worden gelijk, via de dijkcommandant, naar de uitvoerende aannemer gestuurd.

Deze aannemers zijn lokale bedrijven, die het gebied goed kennen en binnen zeer korte tijd ter plaatse kunnen zijn met de juiste mensen, materieel en materialen. Afhankelijk van de grootte van de constateerde schade / calamiteit is een uitvoeringsduur van maximaal 4 – 6 uur nodig. Schade als gevolg van calamiteiten die zich kunnen voordoen rondom NWO's, zoals erosiekuilen langs een gebouw, een hypothetisch gat als gevolg van een geamoveerd gebouw of een ontgrondingskuil als

gevolg van een omgewaaide boom, is volgens opgave van de beheerder binnen orde grootte 1 dag hersteld. Tijdens het uitvoeren van de maatregelen wordt de dijkbewaking gecontinueerd en wordt de voortgang de werkzaamheden gevolgd. Als de werkzaamheden zijn afgerond wordt de maatregel door de dijkcommandant beoordeeld en bij goedkeuren worden deze afgemeld in Vizier. De dijkwacht controleert vervolgens periodiek of de maatregel afdoende heeft gewerkt en intact blijft.

5.4 Beheerfilters in omgang met NWO's

Zoals al in hoofdstuk 4 aangegeven zijn er voor waterschap Rivierenland enkele specifieke beheerfilters af te leiden, deze zijn hebben betrekking op de volgende gebeurtenissen uit de gebeurtenissenboom:

- 'gat' in kering;
- kans op herstel
 - gegeven een ontworteling of afgewaaide delen van bomen;
 - gegeven een erosiekuil rondom object
 - gegeven gesloopt gebouw
 - gegeven ingestort object

5.4.1 'Gat' in kering

Door de keringbeheerders wordt aangegeven, dat zij bekend zijn met moment en aard van werkzaamheden op en rondom de waterkering, binnen hun beheergebied. Dit kunnen werkzaamheden zijn die worden uitgevoerd door eigen organisatie (zoals dijkverbetering, onderhoudswerkzaamheden) als ook werkzaamheden die door derden (ingezetenen, provincie en/of gemeente) worden uitgevoerd, zoals wegwerkzaamheden, sloop- en/of bouwwerkzaamheden). Bij een dreigend hoogwater worden werkzaamheden, conform de afgegeven vergunning, indien noodzakelijk tijdelijk gestaakt. Ook kan het voorkomen dat tijdelijke maatregelen moeten worden genomen, conform een hoogwateractieplan, zodat de waterkering haar functie op een goede manier kan vervullen.

Ruim voordat de hoogste rivierwaterstand is bereikt is, vanuit de verschillende fasen van het CBP, de waterkering al meerdere keren geïnspecteerd. De uitvoering van werkzaamheden binnen het waterstaatswerk zijn daarmee gecontroleerd en waar nodig kunnen aanvullende maatregelen worden uitgevoerd. Voor het bovenrivierengebied is hiervoor grofweg een periode van ruim een week beschikbaar. Voor het benedenrivierengebied is dit minimaal enkele dagen.

Met een nageleefde Keur en crisisbestrijdingsplan is de kans daarom verwaarloosbaar klein dat er, in aanloop naar een hoogwater, 'gaten' in de waterkering aanwezig zijn welke de waterveiligheid in het geding kunnen brengen.

5.4.2 Kans op herstel, gegeven ontworteling of afgewaaide delen van bomen

De kans dat een boom ontwortelt is zeer gering volgens de ervaring van het waterschap. Wel is er een aantal situaties bekend waarbij, tijdens een storm en in aanloop naar een hoogwater, een of meerdere bomen zijn ontworteld. De ondergrond was enigszins verzadigd geraakt, waarna ontworteling plaatsvond. Vanuit de literatuur is bekend dat de kans op ontworteling (gegeven extreme stormomstandigheden) ergens tussen 1/20 tot 1/500 per jaar bedraagt. In overleg met en op basis van de kennis van de beheerders is de kans op ontworteling van een solitaire boom in het beheersgebied van WSRL ingeschat op 1/500 per jaar gegeven hoogwateromstandigheden. Er is onvoldoende data beschikbaar om ook een kans op ontgronding van een cluster van bomen te kunnen bepalen. Na verwachting ligt deze kans lager. Vooral nog wordt voorgesteld om hier eenzelfde kans (1/500 per jaar) voor aan te houden.

Door de beheerders is aangegeven dat er na een grote storm relatief gezien vaker grote takken uit een boom waaien. Vanuit onder andere verkeersveiligheid worden deze takken zo snel mogelijk weggezaagd en opgeruimd. Indien daarbij de dijkbekleding wordt beschadigd wordt deze hersteld.

Indien deze beschadiging in het hoogwaterseizoen plaatsvindt worden, afhankelijk van de grootte van de schade, mitigerende maatregelen in de vorm van krammatten aangelegd. De grasbekleding kan dan na het hoogwaterseizoen herstellen.

5.4.3 Kans op herstel, gegeven erosiekuil rondom object

Een erosiekuil rondom een object op de kruin, het binnentalud of in het achterland, wordt in veel gevallen geïnitieerd door stroming van water langs een object. Ervaring van effecten van stroming als gevolg van hoge waterstanden in combinatie met golfoverslag zijn in het beheergebied van Rivierenland niet bekend. Wel zijn schades in het voorland (instroming rondom inlaten in en rondom voorliggende zomerkade) bekend.

De grootte van de kans op herstel is alleen van invloed als de initiële erosie niet direct tot falen van de waterkering leidt.

Uit gesprekken met de beheerders is geconstateerd dat een ontgrondingskuil rondom een object op de kruin, het binnentalud of in het achterland, gegeven dat deze gesignaleerd is, zeer snel (binnen aantal uren) is hersteld, zoals reeds in paragraaf 5.3 is aangegeven.

5.4.4 Kans op herstel, gegeven ingestort object

Een (deels) bezweten NWO kan afhankelijk van de plaats waar het object staat een grote of kleine negatieve bijdragen hebben aan de waterveiligheid.

De kans dat een gebouw tijdens hoogwater omstandigheden instort is verwaarloosbaar klein, omdat het bouwwerk moet voldoen aan eisen uit het Bouwbesluit. Dit bouwwerk heeft daardoor zekere betrouwbaarheid (zie technisch filter in paragraaf 4.2). Daarnaast ontstaat bij het instorten van een gebouw een puinhoop welke niet direct een negatief effect heeft op de waterkering (zie beheerfilter in paragraaf 4.2). Uit het overleg met beheerders blijkt dat ook zij de overweging maken om dergelijk ingestort en/of uitgebrand gebouw niet weg (te laten) halen, maar hooguit de restanten op een hoop laten schuiven.

6 Vaststellen van takken van de boom voor WSRL

Op basis van de uitgewerkte gebeurtenissenbomen (zie hoofdstuk 4 en bijbehorende Bijlage 1) en de generieke, technische en beheerfilters (zie hoofdstuk 5) is vastgesteld dat in onderstaande tabellen de groene 'takken' (combinaties van initiële gebeurtenis in zone per faalmechanisme) geen faalkansbijdrage hebben. Zo is geconcludeerd dat een erosiekuil of een ontwortelingskuil geen effect heeft op het faalmechanisme macrostabiliteit. Ook is in overleg met de dijkbeheerders vastgesteld dat het instorten van een gebouw of een gesloopt gebouw binnen het beheergebied een te verwaarlozen kans van voorkomen heeft. Voor de overige takken (oranje) geldt dat deze mogelijk wel een faalkansbijdrage op de waterveiligheid hebben en daarom nader moeten worden beschouwd.

Tabel 4 *Samenvatting resterende gebeurtenissen bij NWO's intact*

Zone	Boom intact			Bebouwing intact		
	STBI	STPH	Erosie bekl.	STBI	STPH	Erosie bekl.
1						
2						
3	(groep)					
4	(groep)					
5	(groep)					
6						

Tabel 5 *Samenvatting resterende gebeurtenissen na initiele schade*

Zone	Ontgrondingskuil boom			Erosiekuil naast bebouwing		
	STBI	STPH	Erosie bekl.	STBI	STPH	Erosie bekl.
1						
2						
3						
4	(groep)					
5	(groep)					
6	(groep)					

Geen tot verwaarloosbare faalkansbijdrage
Mogelijk faalkansbijdrage, nadere analyse nodig

Uit de analyse blijkt dat voor het mechanisme macrostabiliteit binnenwaarts wel clusters van bomen (boomgroepen) op het binnentalud, de berm en/of direct achter de kering in het achterland moeten worden beschouwd als deze intact zijn, vanwege de extra belasting als ook als deze door windworp zijn ontgrond (door mogelijk falen door vervolgmecanismen). Over solitaire bomen is gesteld dat deze geen tot een verwaarloosbare faalkansbijdrage hebben voor macrostabiliteit binnenwaarts, omdat deze maar een zeer gering effect hebben op het ontwikkelen van een groot afschuifvlak.

Het ontstaan van een ontgrondings- en erosiekuil rondom bomen en/of bebouwing op de kruin tot en met de binnenberm dient daarentegen wel te worden beschouwd voor de erosieprocessen op de kruin en binnentalud en dus voor de mechanisme GEKB (Graserosie kruin en binnentalud) en GABI (Gras afschuiven binnentalud). Daarbij moet ook het ontstaan van een erosiekuil als gevolg van een boom of gebouw in het buitentalud worden beoordeeld. Tenslotte moet het ontstaan van een ontgrondingskuil door een boom in het achterland nader worden beschouwd voor het mechanisme piping.

Voor bebouwing in de binnenteen en achterland die geen vaste vloer in hun kelder dan wel kruipruimte hebben, dient te worden beschouwd of deze een nadelig effect hebben op het mechanisme opbarsten en piping. Naast de eigenschappen van het gebouw is daarin met name de dikte van de aanwezige deklaag van belang. Bij een relatief dikke deklaag (> 4,0 m) zal het gebouw geen effect hebben op de mogelijke opbarstlocatie. Bij hele dunne deklaagen zal opbarsten ook naast het gebouw kunnen ontstaan, waarbij het gebouw dus nagenoeg geen invloed heeft op de overstromingskans voor dit mechanisme.

6.1 Opstellen aanpak om te komen tot project/proces specifieke uitwerking

Om de faalkans(bijdrage) aan de waterveiligheid kwantitatief te kunnen bepalen kan gebruik worden gemaakt van een faalpadanalyse, zie ook paragraaf 2.2.

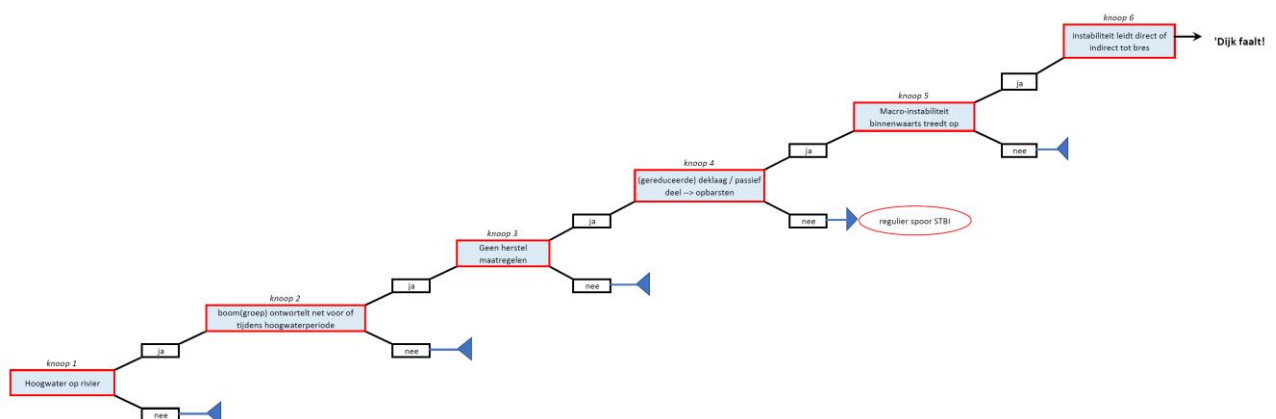
Dergelijke analyses kunnen zowel in de beoordeling als in het ontwerp van dijkversterkingen worden toegepast. In de beoordeling moet de huidige situaties met de aanwezige NWO's op of in de in tabel 3 weergegeven zones worden beschouwd.

In het ontwerp moeten de NWO's die na dijkversterking in deze zones aanwezig zijn, en dus gespaard worden bij de dijkversterking, worden beschouwd. Hierbij moeten de verwachte toekomstige afmetingen (bv. kruinhoogte) en eigenschappen (bv. opbouw/materialisatie) van de waterkering worden meegenomen.

6.1.1 Boomgroep op binnentalud, -berm of achterland i.r.t. macro-instabiliteit (STBI)

Voor een cluster van bomen (boomgroep) i.r.t. het mechanisme macrostabiliteit (STBI) is het in figuur 10 opgenomen faalpad leidend. Achtereenvolgens dienen de volgende stappen (knoepen) op te treden voordat er sprake is van het falen van de waterkering als gevolg van de initiële gebeurtenis: ontworteling van (groot deel van) boomgroep.

1. Hoogwater op rivier (*technisch filter*);
2. Boomgroep ontwortelt net voor of tijdens hoogwaterperiode (*generiek filter*);
3. Er worden geen herstelmaatregelen getroffen (*beheerfilter*);
4. Ontworteling leidt tot gereduceerde deklaag of afname passieve deel van mogelijk glijvlak → opbarsten (*technisch filter*);
5. Macrostabiliteit binnenwaarts treedt op (*technisch filter*);
6. Instabiliteit leidt direct of indirect tot bres (*technisch filter*).



Figuur 10 – Faalpad: Ontgroning van boomgroep i.r.t. mechanisme macrostabiliteit (STBI)

Voor knoop 2 (boomgroep ontworteld) dient binnen de faalpadanalyse rekening gehouden te worden met een overgangskans van 1/500 per jaar, zie paragraaf 5.4.2. Indien gewenst kan op basis van nadere onderzoek voor een specifieke locatie met specifieke kenmerken van de boomgroep (type bomen, afmetingen, leeftijd, toestand en dergelijke) bepaald worden of deze overgangskans kan worden aangepast.

In knoop 3 dient ingeschat te worden of er mogelijkheden voor herstel zijn voordat de belastingsituatie (hoogwater) kan optreden. Dit is een beheerfilter. Op basis van de gesprekken met dijkbeheerders en de calamiteitenorganisatie is geconstateerd dat in het stormseizoen de schade zeer snel (binnen enkele uren na signalering) wordt hersteld. Het is daarmee zeer waarschijnlijk dat het herstel heeft plaatsgevonden voordat de belastingsituatie optreedt. In bijzondere situaties, zoals slecht bereikbare

locaties of locaties met beperkte signalering, wordt aanbevolen om bij de dijkbeheerder na te gaan hoe de kans op herstel in die situatie moet worden ingeschat.

Knoop 4 is een technisch filter waarin geanalyseerd wordt wat het effect van de ontgrondingskuil is op de grootte van de passieve weerstand en/of de kans van opbarsten. Een groep bomen op binnentalud of binnenberm komt binnen het beheergebied van WSRL niet veel voor, tenzij in combinatie met een leeflaag (overhoogte). Dit dient bij deze knoop geverifieerd te worden. Is er een leeflaag (overhoogte), dan heeft een ontgrondingskuil geen effect op STBI en kan het reguliere toetsspoor verder worden gevolgd. Bij geen leeflaag is de kans op een ontgrondingskuil in binnentalud of berm 1 (kans gelijk aan 100%) en dient dit te worden meegenomen in de schematisatie ten behoeve van knoop 5. In geval van een groep bomen in het achterland dient de kans op opbarsten of opdrijven te worden bepaald gegeven omwaaien, geen herstel en daarmee reductie van de deklaag.

In knoop 5 wordt de kans op macro-instabiliteit van de waterkering en daarmee optreden van een afschuiving bepaald, uitgaande van het optreden van hoogwater, het omwaaien van een groep bomen, geen herstel en reductie van passieve weerstand of deklaagdikte. Deze kans wordt in knoop 5 bepaald door in de stabiliteitsberekening de ontgrondingskuil te schematiseren en hierop het stijghoogteverloop aan te passen.

De grootte van het glijvlak bepaalt daarbij of direct falen van de waterkering optreedt of dat er nog vervolgmecanismen (knoop 6) moeten optreden om tot een bres (falen) te leiden.

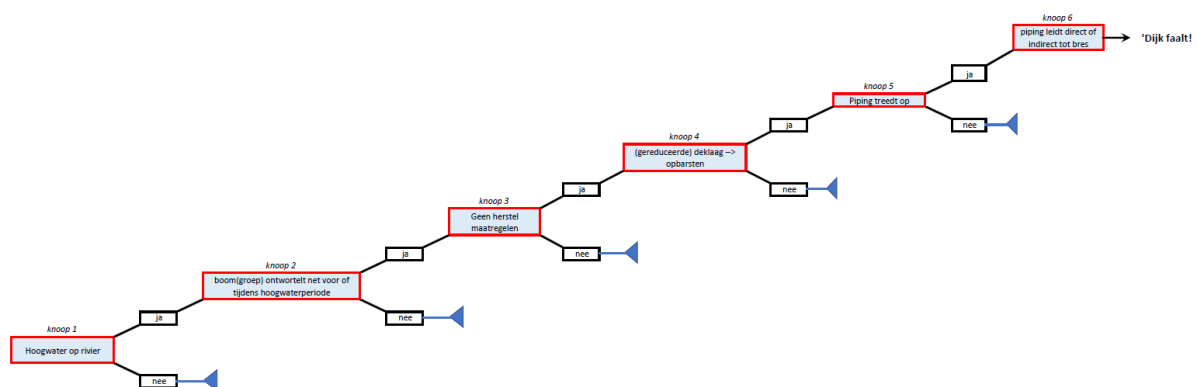
Het resultaat van de stabiliteitsberekening gecombineerd met de kans van voorkomen en het eventueel optreden van vervolgmecanismen dient te worden getoetst aan de faalkanseis.

In Bijlage 2 is een uitgewerkt voorbeeld van dit faalpad opgenomen. Deze analyse is gemaakt voor dijkvak 23 binnen de dijkversterking TiWa. Hierin is de toekomstige situatie na dijkversterking gebruikt.

6.1.2 Bomen in achterland i.r.t. piping

Voor bomen (of een boomgroep) i.r.t. het mechanisme opbarsten en piping (STPH) is het in figuur 11 opgenomen faalpad leidend. Achtereenvolgens dienen de volgende stappen (knoten) te op te treden, voordat er sprake is van het falen van de waterkering als gevolg van de initiële gebeurtenis: ontworteling van (groot deel van) boomgroep.

1. Hoogwater op rivier (*technisch filter*);
2. Boom(groep) ontwortelt net voor of tijdens hoogwaterperiode (*generiek filter*);
3. Er worden geen herstelmaatregelen getroffen (*beheerfilter*);
4. Ontworteling leidt tot gereduceerde deklaag → opbarsten (*technisch filter*);
5. Piping treedt op (*technisch filter*);
6. Piping leidt direct of indirect tot bres (*technisch filter*).



Figuur 11 – Faalpad: Ontworteling boom(groep) i.r.t. mechanisme opbarsten en piping (STPH)

Voor knoop 2 (boomgroep ontworteld) dient binnen de faalpadanalyse rekening gehouden te worden met een overgangskans van 1/500 per jaar, zie paragraaf 5.4.2. Indien gewenst kan op basis van nadere onderzoek voor een specifieke locatie met specifieke kenmerken van de boomgroep (type bomen, afmetingen, leeftijd, toestand en dergelijke) bepaald worden of deze overgangskans kan worden aangepast.

In knoop 3 dient ingeschat te worden of er mogelijkheden voor herstel zijn voordat de belastingsituatie (hoogwater) kan optreden. Dit is een beheerfilter. Op basis van de gesprekken met dijkbeheerders en de calamiteitenorganisatie is geconstateerd dat in het stormseizoen de schade zeer snel (binnen enkele uren na signalering) wordt hersteld. Het is daarmee zeer waarschijnlijk dat het herstel heeft plaatsgevonden voordat de belastingsituatie optreedt. In bijzondere situaties, zoals slecht bereikbare locaties of locaties met beperkte signalering, wordt aanbevolen om bij de dijkbeheerder na te gaan hoe de kans op herstel in die situatie moet worden ingeschat.

Knoop 4 is een technisch filter waarin geanalyseerd wordt wat het effect van de ontgrondingskuil is op de grootte van de kans van op opbarsten. In geval van een groep bomen in het achterland dient de kans op opbarsten of opdrijven te worden bepaald gegeven omwaaien, geen herstel en daarmee reductie van de deklaag. Dit is in eerste instantie mogelijk een conservatief uitgangspunt, omdat in het geval er geen herstel is uitgevoerd, er niet zonder meer grond 'verdwenen' kan zijn uit het dwarsprofiel. Aanbevolen wordt om, indien noodzakelijk om tot goede beoordeling of ontwerp te komen, de aanwezige ontwortelde bomen en bijbehorende grond bij de kansinschatting van deze knoop te betrekken.

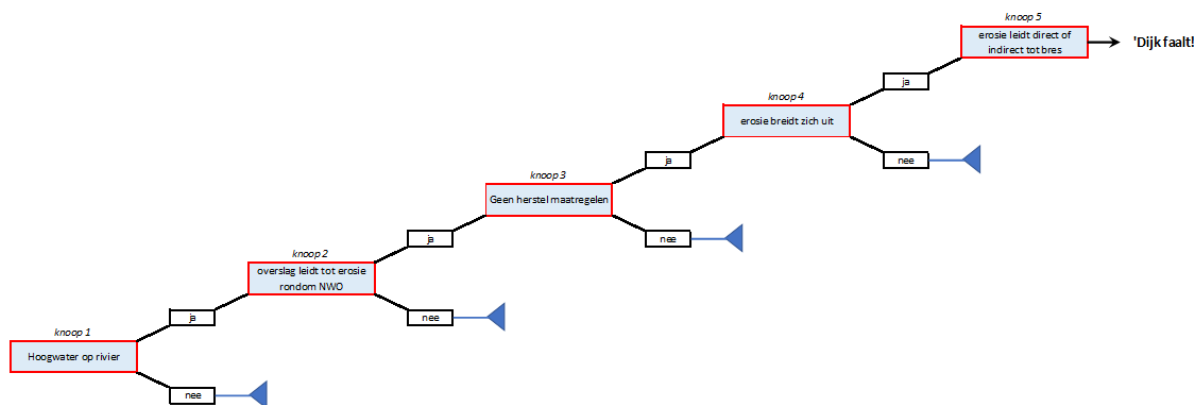
In knoop 5 wordt de kans op piping bepaald, uitgaande van het optreden van hoogwater, het omwaaien van een groep bomen, geen herstel en reductie van de deklaagdikte in het achterland. Deze kans wordt in knoop 5 bepaald door een pipinganalyse conform de methode Sellmeijer, al dan niet met een DGeoflow -of probabilistische analyse, uit te voeren, gegeven de veranderde situatie. De veranderde situatie wordt dan ook met name veroorzaakt door een reductie van de deklaagdikte en mogelijk een andere ligging het opbarstpunt.

Knoop 6 betreft de kans op bresvorming ten gevolge van piping en daarmee het falen van de waterkering, zie ook par. 2.2.

6.1.3 Bomen en bebouwing i.r.t. erosie (GEKB)

Voor bomen en bebouwing i.r.t. het mechanisme erosie (GEKB) is het in figuur 12 weergegeven faalpad leidend. Achtereenvolgens dienen de volgende stappen (knoep) op te treden, voordat er sprake is van het falen van de waterkering als gevolg van de initiële gebeurtenis: erosie rondom het NWO.

1. Hoogwater op rivier (*technisch filter*)
2. Overslag leidt tot erosie rondom NWO (*technisch filter*)
3. Er kunnen/worden geen herstelmaatregelen getroffen (*beheerfilter*)
4. Erosie breidt zich uit richting kruin van de kering (*technisch filter*)
5. Erosie leidt direct of indirect tot bres in waterkering (*technisch filter*)



Figuur 12 – Faalpad: Erosie rondom NWO (boom en bebouwing) i.r.t. mechanisme erosie (GEKB)

Knoop 2 (erosie leidt tot erosie rondom het NWO) is een technisch filter waarbij bepaald moet worden of er bij de beschouwde waterstand een kans op golfoverslag is en hoe groot deze golfoverslag is. Daarnaast moet op basis van de lokale situatie beschouwd worden of er daarbij erosie kan plaatsvinden. Bij waterstanden bij een terugkeertijd van bijvoorbeeld 1/100 per jaar is de kans op overslag in het bovenrivierengebied zeer klein en daarmee kan er ook geen erosie ontstaan. Bij dergelijke lage buitenwaterstanden wordt dan ook een beoordeling ‘vrijwel onmogelijk’ aan deze knoop toegekend. Bij extreme waterstanden (bv. bij terugkeertijd van 1/10.000 per jaar) is er een kleine kans op een hoeveelheid golfoverslag gedurende een aantal uren. Bij dergelijke buitenwaterstanden moet de kans op het ontstaan van erosie worden ingeschat.

In knoop 3 dient ingeschat te worden of herstel mogelijk is voordat de volgende belastingsituatie (hoogwater of periode van golfoverslag of combinatie van beide) kan optreden. Dit is een beheerfilter. Tijdens een stormevent van enkele uren kan initiële erosie rondom een NWO optreden die zich binnen de hoogwaterperiode direct uitbreidt tot falen van de waterkering. Dit kan voorkomen bij een kering die voornamelijk is opgebouwd uit zandig materiaal, met slechte bekleding op het binnentalud (rondom het NWO) en een relatief smalle kruin. In een dergelijke situatie dient de kans op ‘geen herstel’ (knoop 3) en ‘erosie breidt zich uit’ (knoop 4) op 1 (kans gelijk aan 100%) te worden verondersteld.

Indien het de verwachting is dat de kering niet binnen één stormevent faalt (dus alleen sprake is van schade aan de dijk), dient er een kans op herstel te worden ingeschat. Uit gesprekken met dijkbeheerders en de calamiteitenorganisatie blijkt dat het zeer aannemelijk is dat initiële erosie rondom een NWO binnen een periode van 1 dag kan worden hersteld (van optreden van schade tot het uitvoeren van de herstelmaatregel). Het is in algemene zin, dus (erg) waarschijnlijk (zie paragraaf 2.2) dat er herstel plaatsvindt voor de volgende belastingsituatie. Het wordt aanbevolen om, in uitzonderlijke situaties, bij de dijkbeheerder na te gaan hoe de kans op herstel voor die situatie moeten worden ingeschat.

De overgangskans van knoop 4 en 5 moet bepaald worden gegeven dat er geen herstel heeft plaatsgevonden. Er dient een kans te worden bepaald waarbij het erosieproces zich in de tijd verder ontwikkelt als gevolg van de mogelijke belastingsituaties. Ook hier geeft de lokale situatie (opbouw kernmateriaal, ligging freatische waterstand in kering en de kans op een tweede stormevent en duur van hoge rivierwaterstand) belangrijke input voor het bepalen van de overgangskans.

In Bijlage 2 is een uitgewerkt voorbeeld van dit faalpad opgenomen. Deze analyse is gemaakt voor dijkvak 17 binnen de dijkversterking TiWa. Hier is de toekomstige situatie na dijkversterking beschouwd. Naast de beoordeling of het NWO een faalkansbijdrage heeft, is er in dit voorbeeld ook aangegeven wat voor een effect de mitigerende maatregel (bv. damwandconstructie) heeft op deze faalkans. Met deze mitigerende maatregel is de overgangskans voor knoop 4 en 5 lager ingeschat.

7 Bijdrage aan de faalkans – mitigerende maatregelen

Het doorlopen van een faalpadanalyse, zoals in hoofdstuk 6 is verwoord en waarvan in bijlage 2 en 3 een aantal voorbeelden is opgenomen, leidt tot één van de volgende conclusies:

1. Een NWO heeft een verwaarloosbare faalkansbijdrage aan één of meerdere faalmechanismen
2. Een NWO heeft een faalkansbijdrage aan een of meerdere faalmechanismen en daarmee uiteindelijk aan de waterveiligheid van het betreffende dijkvak, of
3. De onzekerheden in de analyse kunnen in alle redelijkheid niet verder worden verkleind, waardoor niet met zekerheid gesteld kan worden of een NWO wel of geen faalkansbijdrage heeft.

In de laatste twee gevallen is het aan te bevelen om na te gaan of het NWO uit de waterkering kan worden verwijderd of dat er, indien dit niet het geval is, mitigerende maatregelen rondom het NWO kunnen worden gerealiseerd. Het is voor een aantal situaties denkbaar dat er met een geringe aanpassing/maatregel veel extra zekerheid kan worden verkregen, waardoor meer effort steken in het verkleinen van de onzekerheden niet effectief is. Een maatregel is soms eenvoudiger uit te voeren dan uitgebreide theoretische analyses/berekeningen.

Indien het NWO niet uit de waterkering kan worden verwijderd, moeten er verbetermaatregelen worden ontworpen en vervolgens ook daadwerkelijk worden gerealiseerd. Deze maatregelen moeten goed worden beschreven in het beheer en onderhoudsplan van de waterkering.

Bij het doorlopen van een faalpadanalyse kan blijken welke knoop en bijbehorende overgangskans bepalend is voor het resultaat van de analyse. Hieruit kan dan ook een mitigerende maatregel volgen.

De volgende reeds beschikbare / toegepaste maatregelen kunnen worden overwogen:

- Vergroten erosiebestendigheid van deklaag;
- Vergroten erosiebestendigheid van kernmateriaal;
- Grondkerende constructie (functiescheidend scherm).

Door het vergroten van de erosiebestendigheid van de deklaag rondom een NWO reduceert de kans op het ontstaan van een erosiekuil aanzienlijk. De erosiebestendigheid kan worden vergroot door het (extra) ingraven van erosiebestendige klei, toepassen van harde bekleding en/of geotextielen in de ondergrond. Voorbeelden van deze maatregelen zijn bijvoorbeeld de toepassing van zetsteenbekleding onder bruggen en rondom landhoofden van bruggen. Ook zijn er inmiddels enkele technieken in ontwikkeling die bijvoorbeeld de aansluiting tussen een weg en de wegbermen erosiebestendiger kunnen maken en het ontstaan van spoorvorming kunnen voorkomen. Ook zijn er diverse voorbeelden van de inpassing van dijktrappen (bijv. bij Opijnen) op zowel het binnen- als buitentalud van de kering voorhanden, welke als voorbeeld kunnen dienen voor mitigerende maatregelen.

Op diverse dijklocaties binnen het beheergebied van WSRL zijn zogenaamde zandscheggen, met wisselende dikte, aan de binnenzijde van de waterkering aangebracht of bestaat de gehele dijk kern uit zand. In die gevallen kan worden overwogen om een deel van deze zandige lagen te vervangen door erosiebestendigere kleilagen, welke erosieprocessen aanzienlijk kunnen vertragen. Ook kan de toepassing van bijvoorbeeld grondverbetertechnieken en/of bentonietmatten en -schermen bijdragen aan het vergroten van de erosiebestendigheid.

Een andere vaak toegepaste mitigerende maatregel is een grondkerend (functiescheidend) scherm, tussen het NWO en de kruin van de waterkering. Bij de laatste grote dijkversterkingsronde, in de jaren negentig, zijn op meerdere dijktrajecten aan de noordzijde van de Waal dergelijk schermen aangebracht. Op deze manier kon bebouwing veelal binnen het dijkprofiel worden gehandhaafd.

8 Conclusie en aanbevelingen

Onderhavig onderzoek heeft als doel om te bepalen of en in welke mate de NWO's, welke aanwezig zijn in of op de primaire waterkeringen in het beheergebied van Waterschap Rivierenland, een faalkansbijdrage hebben op de waterveiligheid van deze keringen.

Hieronder zijn, aan de hand van de subdoelstellingen zoals geformuleerd in de inleiding, de conclusies van onderhavig onderzoek weergegeven.

1. *Komen tot een eenduidige aanpak binnen WSRL, waarmee bepaald kan worden of NWO's in de beoordeling of bij dijkversterking een bijdrage hebben aan de faalkans van de kering*

Aan deze subdoelstelling is invulling gegeven door gebruik te maken van het veiligheidsraamwerk met gebeurtenissenbomen, zoals opgesteld door de POV K&L.

2. *Onderbouwen welke NWO's, naar type, omvang, staat en in een bepaalde zone van de waterkering, een verwaarloosbare faalkansbijdrage hebben*

en

3. *Onderbouwen welke precieze informatie nodig is over beleid, beheer en crisisbeheersing in relatie tot NWO's om tot een oordeel over de faalkansbijdrage te kunnen komen*

Voor de NWO-typen begroeiing (bomen) en de bebouwing zijn, middels het uitwerken van gebeurtenissenbomen, voor de verschillende faalmechanismen en uitgaande van een zone-indeling van de waterkering, de faalpaden uitgeschreven die uiteindelijk kunnen leiden tot het falen van de waterkering als gevolg van invloed van het NWO. Door gebruik te maken van diverse filters (generieke, technische en beheerfilters) is een groot aantal 'takken' uit de gebeurtenissenboom weggeknipt, waarvan het overduidelijk is dat deze geen faalkansbijdrage hebben ten opzichte van het reguliere situatie zonder het NWO. De gemaakte veronderstellingen en kansinschatting hierbij zijn tot stand gekomen in twee overleggen met keringsbeheerders en beleidsadviseurs.

Voor het NWO-type kabel is een algemeen beheerfilter toegepast, zodat voor kabels is vastgesteld dat zij een verwaarloosbare faalkansbijdrage hebben.

De overgebleven takken uit de gebeurtenissenboom betreft een aantal situaties waarbij niet zonder meer gesteld kan worden dat deze geen faalkansbijdrage hebben. Het overzicht van de beschouwde situaties en de mogelijk faalkansbijdrage NWO's en de zones waarvoor dit geldt zijn in onderstaande tabellen weergegeven.

Tabel 6 Samenvatting resterende gebeurtenissen bij NWO's intact

Zone	Boom intact			Bebouwing intact		
	STBI	STPH	Erosie bekl.	STBI	STPH	Erosie bekl.
1						
2						
3	(groep)					
4	(groep)					
5	(groep)					
6						

Tabel 7 Samenvatting resterende gebeurtenissen na initiële schade

Zone	Ontgrondingskuil boom			Erosiekuil naast bebouwing		
	STBI	STPH	Erosie bekl.	STBI	STPH	Erosie bekl.
1						
2						
3						
4	(groep)					
5	(groep)					
6	(groep)					

Geen tot verwaarloosbare faalkansbijdrage
Mogelijk faalkansbijdrage, nadere analyse nodig

4. Afleiden van een werkwijze om voor specifieke NWO's de faalkansbijdrage kwantitatief te bepalen.

De uitwerking van deze typen NWO's en de aangegeven zones kan middels het uitvoeren van een faalpadanalyse worden gedaan. Hiermee kan de faalkans en daarmee de faalkansbijdrage voor de verschillende faalmechanismen worden gekwantificeerd. Hiervoor zijn in dit rapport het benodigde faalpad en enkele inzichten voor de verschillende filters waaronder het beheerfilter aangegeven. In bijlage 2 en 3 is voor een tweetal situatie een voorbeelduitwerking opgenomen.

Uit het doorlopen van een faalpadanalyse kunnen drie resultaten volgen:

1. Een NWO heeft een verwaarloosbare faalkansbijdrage aan één of meerdere faalmechanismen
2. Een NWO heeft een faalkansbijdrage aan een of meerdere faalmechanismen en daarmee uiteindelijk aan de waterveiligheid van het betreffende dijkvak, of
3. De onzekerheden in de analyse kunnen in alle redelijkheid niet verder worden verkleind, waardoor niet met zekerheid gesteld kan worden of een NWO wel of geen faalkansbijdrage heeft.

In de gevallen 2 en 3 is het aan te bevelen om na te gaan of het NWO uit de waterkering kan worden verwijderd of dat er, indien dit niet het geval is, mitigerende maatregelen rondom het NWO kunnen worden gerealiseerd. Soms kan met een geringe aanpassing/maatregel veel extra zekerheid worden verkregen en is dit effectiever dan uitgebreide theoretische analyses en berekeningen.

5. Opstellen en delen van best-practices over omgang van NWO's in en rond waterkeringen.

Indien het NWO niet uit de waterkering kan worden verwijderd, moeten er verbetermaatregelen worden ontworpen en gerealiseerd. Deze mitigerende maatregelen moeten goed worden beschreven en worden opgenomen in het beheer en onderhoudsplan. Te denken valt aan:

- Vergroten erosiebestendigheid van deklaag of kernmateriaal, bijvoorbeeld door het ingraven van erosiebestendige klei of het toepassen van harde bekleding, geotextielen of bentonietmat;
- Grondkerende constructie (functiescheidend scherm).

Aanbevelingen

Op basis van gesprekken met de keringbeheerders is geconstateerd dat de noodzakelijke acties en handelingen, die tijdens een hoogwaterperiode of andere calamiteit moeten worden uitgevoerd om falen van een dijk te voorkomen, grotendeels zijn vastgelegd in processen en protocollen. Het is aan te bevelen deze protocollen, voor wat betreft de omgang met schade aan en rondom NWO's, nog verder te formaliseren, zodat per opgetreden calamiteit rondom een object in de waterkering het handelingsperspectief bekend is en zo nodig passende maatregelen kunnen worden getroffen.

Aanbevolen wordt om, rondom de aansluiting van NWO's op de waterkering, binnen het waterschap de meest toegepaste mitigerende maatregelen te verzamelen en te documenteren, waardoor een zekere eenheid in de maatregelen kan worden verkregen. Ook de beheerervaring van deze maatregelen dient daarbij te worden gedocumenteerd.

Literatuur

- [ref 1] Handreiking ontwerpen met overstromingskansen, veiligheidsfactoren en belastingen bij nieuwe overstromingskansnormen (OI2014v4). Rijkswaterstaat & Ministerie van Infrastructuur en Milieu, februari 2017.
- [ref 2] Handreiking DOT – Deskundigen Oordeel voor de Toets op maat, Rijkswaterstaat, oktober 2019.
- [ref 3] Erosie binnentalud bij golfoverslag na falen bekleding, Deltares, 31 oktober 2019
- [ref 4] Headcuterosion door berminstabiliteit door overslag, ontwerpteam de Betuwse Waard, versie 2, 19 maart 2020
- [ref 5] Crisisbestrijdingsplan Hoogwater, WSRL, 8 juni 2020
- [ref 6] Fenomenologische beschrijving, Deltares, mei 2018
- [ref 7] WBI Veiligheidsraamwerk Kabels en Leidingen, 11202225-005-GEO-0001- jppjm, Deltares, mei 2018
- [ref 8] Handreiking Bekledingen, deel 5 Grasbekledingen, Deltares, januari 2015
- [ref 9] Handreiking constructief ontwerpen, Grondmechanica Delft, maart 1994.
- [ref 10] Verslag bijeenkomst KPR: hoe om te gaan met NWO's, 12 september 2019
- [ref 11] Bestaande constructies in de dijk. Waterschap Rivierenland, 2 april 2020.

Afkortingen en definities

Het document bevat enkele afkortingen. De definities staan hieronder weergegeven.

Afkortingen en definities

Afkorting	Definitie
NWO	Niet-waterkerend object
HR	Hydraulische Randvoorwaarden
HBN	Hydraulisch Belasting Niveau
WBN	Waterstand bij Norm
Interactie	De verstoringszone van het NWO doorkruist de invloedzone van het dijklichaam
Verstoringsprofiel	2-dimensionale begrenzing van de verstoringszone in het dwarsprofiel
Beoordelingsprofiel	Denkbeeldig minimum profiel van gedefinieerde afmetingen waarbinnen zich geen objecten bevinden, dat binnen het werkelijk aanwezige profiel moet passen en dat de garantie moet bieden dat de waterkering voldoende sterk is.
Invloedszone	De zone waarbinnen de invloed van een bepaald faalmechanisme aanwezig is. De invloedzone wordt begrensd door de uiterste lijn op het maaiveld waarvoor geldt dat als aan de dijkzijde van die lijn het maaiveld wordt verstoord, de veiligheid van de waterkering onder de vereiste veiligheid zakt, gelet op alle directe faalmechanismen.
Verstoringszone	Zone om een niet-waterkerend object, waarbinnen de invloed van de aanwezigheid, bezwijken of falen van het niet-waterkerende object in de grond merkbaar is
Beschermingszone	In de keur beschreven zone ter weerszijden van het waterstaatswerk waarbinnen een beperkt gebodsregime geldt met als doel aantasting van de waterkering door bijzondere belastingen (delfstofwinning, seismisch onderzoek, explosies van leidingen) te voorkomen
Waterstaatswerk	Waterkering plus het gebied dat zich uitstrekt tot waar bezwijkmechanismen van de waterkering reiken. Denk hierbij aan het uittreepunt in het maaiveld van een glijcirkel.
Verwaarloosbaar klein	Volgens het WBI is dit gedefinieerd als kleiner dan 1% van de norm.
PVVR	Het profiel van vrije ruimte is een gereserveerde ruimte langs het dijklichaam die rekening houdt met eventuele toekomstige dijkversterking.
Bezwijken waterkering	Het optreden van verlies van inwendig evenwicht (bijvoorbeeld afschuiven) en/of het optreden van verlies van samenhang in materiaal (bijvoorbeeld het verweken) en/of het optreden van ontoelaatbaar grote vervormingen van de waterkering.
Falen waterkering	Falen van een technisch systeem houdt in dat het zich bevindt in een toestand waarbij een of meer functies daadwerkelijk niet meer (kunnen) worden vervuld.
Piping	Het verschijnsel dat onder een waterkering (dijk of kunstwerk) holle pijpvormige ruimte ontstaan, ten gevolge van een geconcentreerde kwelstroom waarbij grondeeltjes worden meegevoerd; dit verschijnsel wordt ook onderloopsheid genoemd. In de feitelijke definitie is sprake van piping indien zich een doorgaand open kanaal heeft gevormd van intrepunt tot uittreepunt doordat het erosieproces van een zandmeevoerende wel niet stopt.
b	Lengtemaat die de intensiteit van het lengte-effect weergeeft binnen de mechanismegevoelige lengte van het dijktraject [m].

Bijlage 1. Meerdimensionale onderbouwing gebeurtenissenboom

Type NWO: **Bebouwing**
Faalmechanisme: **Macro-instabiliteit binnenwaarts (STBI)**
Initiele gebeurtenis: **Erosiekul naast bebouwing**

ALGEMEEN

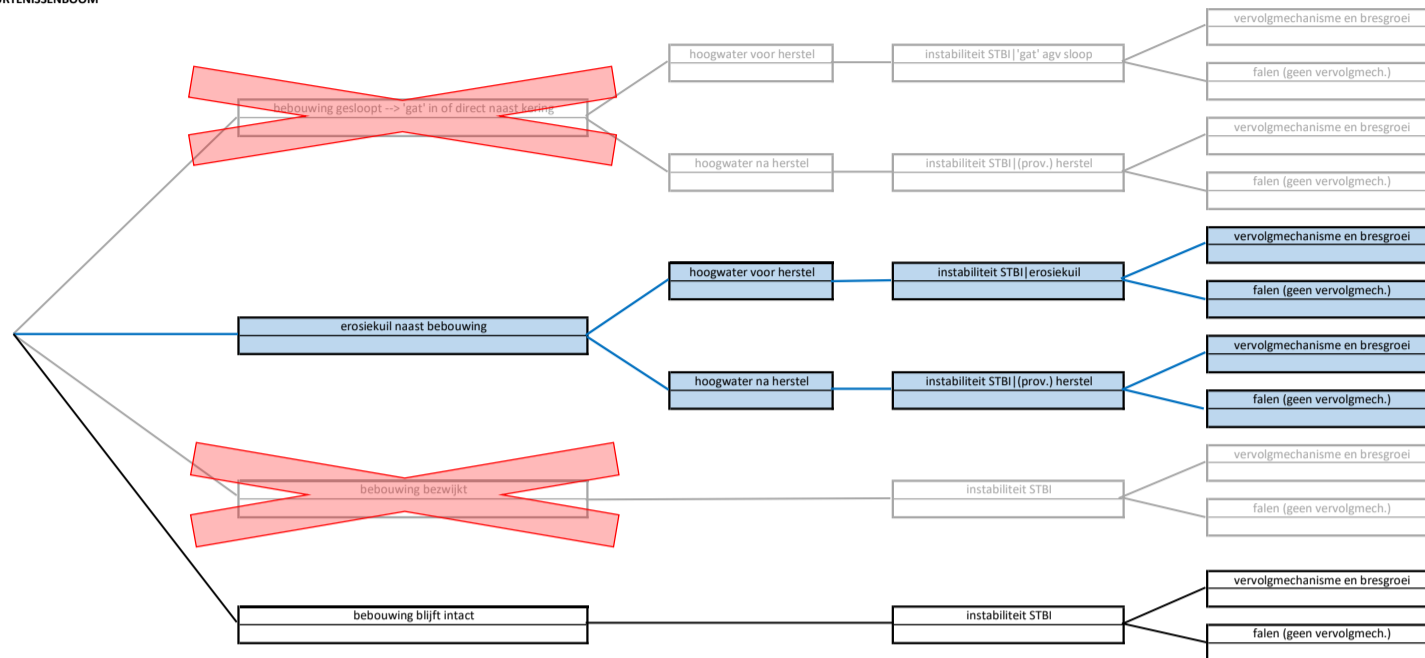
Voor de initiele gebeurtenis 'bebouwing gesloopt', waardoor een 'gat' in de kering aanwezig is net voorafgaand aan of tijdens een hoogwaterperiode, wordt (in overleg met beheerders) gesteld dat dit een verwaarloosbare kans van optreden heeft binnen het beheergebied van WSR. Dit omdat al ruim voordat hoge waterstanden plaatsvinden, de eerste inspectieronden (naast de dagelijkse inspectie) worden ingezet. Indien dergelijke situaties dan worden geconstateerd (afgezien van dat hiervoor normaal gesproken al vergunning bij het waterschap moet zijn aangevraagd) is er voldoende tijd om herstelmaatregelen uit te voeren, zodat de kering weer op orde is en voldoende veilig het hoogwater kan keren. Deze initiele gebeurtenis is derhalve niet verder beschouwd.

Voor de initiele gebeurtenis 'bebouwing bezwijkt' in aanloop van, tijdens of na hoogwater is gesteld dat dit een verwaarloosbare kans van optreden heeft. Dit omdat bebouwing ook aan de nodige wet- en regelgeving (bouwbesluit) moet voldoen. Daarnaast zal een bezwiken gebouw (bv. door instorting of door brand) niet direct weggehaald worden (of juist actief verder worden afgebroken). De puinresten hebben niet direct een nadelige invloed op de waterkering. Langsstromend water dat tot erosie leidt wordt onder het initiele gebeurtenis 'erosiekul naast bebouwing' meegenomen.

Indien gebouw intact is en blijft tijdens periode van hoogwater, heeft deze (afhankelijk van positie in dijkklichaam) een positief of negatief effect, afhankelijk van met name het eigen gewicht van de bebouwing en het type fundering.

Het funderingstype, de aanwezige kruipruimten en/of kelders met of zonder een vaste (betonnen) vloer van gebouwen, is in een aantal situaties niet bekend. Afhankelijk van de zone waarin de bebouwing aanwezig is, vraagt dit om nader onderzoek of veldinspecties.

GEBEURTENISSENBOM



NARRATIEF, OVERWEGINGEN, VERVOLGACTIES EN RESULTAAT PER ZONE

Zone	Narratief	Overwegingen	Vervolgactie(s)	Resultaat
Bebouwing op voorland	<p>Narratief</p> <p>a: Naast (rondom) bebouwing ontstaat een erosiekul door stromingsconcentratie van langsstromend water en de afwezigheid van goede bekleding.</p> <p>b: De erosiekul leidt tot een verhoogde stijghoogte (door geringere demping) in de binnenteen/achterland. De oprijfveiligheid neemt af (bij lagere buitenwaterstanden zal oprijven/opbarsten optreden).</p> <p>c: De kans op optreden van macro-instabiliteit binnenwaarts neemt toe (ofwel grotere faalkans bij lagere buitenwaterstand).</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Indien dikke deklaag in voorland groter is dan ca. 2 m zal bij ontgronding geen kortsluiting ontstaan --> geen faalkansbijdrage!</p> <p>Indien in voorland geen weerstand aanwezig is (of is meegenomen in de regulier STBI-analyse) --> geen faalkansbijdrage!</p> <p>De kans op het ontstaan van een erosiekul op het voorland/buitaltalud is erg klein, daarentegen is de kans op 'geen herstel' wel groter, omdat voorland snel onder water komt te liggen en daardoor moeilijker berijp- en bereikbaar is.</p> <p>Eén ontgrondingskuil met kortsluiting zal erg weinig effect hebben op verloop van stijghoogte. Daarnaast zal een kuil ook (vrij snel) dichtslibben, waardoor de weerstand weer herstelt/toeneemt. --> geen faalkansbijdrage!</p>	-	Geen faalkansbijdrage
Bebouwing op buitaltalud	<p>Narratief</p> <p>a: Naast (rondom) bebouwing ontstaat een erosiekul door stromingsconcentratie van langsstromend water en de afwezigheid van goede bekleding.</p> <p>b: De erosiekul zorgt voor een gat in de bekleding van het buitaltalud, waardoor water gemakkelijker kan infiltreren. Hierdoor kan de freatische waterstand in de kering toenemen (bij lagere buitenwaterstanden hogere freatische lijn).</p> <p>c: Het gewicht van het dijkmateriaal neemt toe, mobiliseerbare schuifsterkte neemt mogelijk af. De kans op optreden van macro-instabiliteit binnenwaarts neemt toe (ofwel grotere faalkans bij lagere buitenwaterstand).</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Het 'gat' in de bekleding op buitaltalud heeft zeer beperkt effect heeft op de freatische waterstand doordat, naast de bekleding, veelal het kernmateriaal (aan buitenzijde) uit kleig materiaal bestaat.</p> <p>Bij kleig deklaag en dijkkern zal het kweldebiet door de kering niet veel groter worden en alleen een hogere freatische waterstand ontstaan. Daarentegen zal bij een zandige deklaag en dijkkern het kweldebiet groot zijn en ook de ligging van de freatische waterstand hoog liggen --> geen extra nadelig effect verwacht tbv STBI.</p> <p>De kans op 'geen herstel' is wel aanzienlijk groter, dan bij bebouwing op kruin/binntalud of achterland, vanwege het feit dat het voorland/buitaltalud onder water komt te liggen bij hoge rivierwaterstanden.</p> <p>Eén ontgrondingskuil zal erg weinig effect hebben op verloop van freatische lijn. Daarnaast zal kuil ook (vrij snel) dichtslibben, waardoor de weerstand weer herstelt/toeneemt. --> geen faalkansbijdrage!</p>	-	Geen faalkansbijdrage
Bebouwing op kruin	<p>Narratief</p> <p>a: Naast (rondom) een bebouwing ontstaat een erosiekul door stromingsconcentratie als gevolg van langsstromen van water en de afwezigheid van goede bekleding.</p> <p>b: De erosiekul zorgt voor een gat in de bekleding van de kruin, waardoor water gemakkelijker kan infiltreren. Hierdoor kan de freatische waterstand in de kering toenemen (bij lagere overslagdebieten hogere freatische lijn).</p> <p>c: Erosie zorgt in theorie voor minder grote aandrijvende belasting op glijvlak. De kans op optreden van macro-instabiliteit binnenwaarts zal hierdoor niet groter worden.</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Infiltratie kan alleen ontstaan als gevolg van een zeker overslagdebiet gedurende een stormgebeurtenis binnen een periode van extreem hoogwater (hele kleine kans van optreden).</p> <p>De kuil zorgt voor een geringere aandrijving --> geen faalkansbijdrage te verwachten.</p>	-	Geen faalkansbijdrage
Bebouwing op binnentalud	<p>Narratief</p> <p>a: Naast (rondom) bebouwing ontstaat een erosiekul door stromingsconcentratie van langsstromend water en de afwezigheid van goede bekleding.</p> <p>b: De erosiekul zorgt voor een gat in de bekleding van het talud, waardoor water gemakkelijker kan infiltreren. Hierdoor kan de freatische waterstand in de kering toenemen (bij lagere overslagdebieten hogere freatische lijn).</p> <p>c: Erosie zorgt in theorie voor minder grote aandrijvende belasting op glijvlak. De kans op optreden van macro-instabiliteit binnenwaarts zal hierdoor niet groter worden.</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Erosiekul zorgt niet voor grote achteruitgang in macrostabiliteit vanwege 3D-werking en doordat in analyse ook het 'gunstige effect' van de bebouwing meegenomen zou moeten worden</p> <p>De kuil zorgt voor een geringere aandrijving --> geen faalkansbijdrage te verwachten.</p>	-	Geen faalkansbijdrage
Bebouwing op berm	<p>Narratief</p> <p>a: Naast (rondom) bebouwing ontstaat een erosiekul door stromingsconcentratie van langsstromend water en de afwezigheid van goede bekleding.</p> <p>b: De erosiekul zorgt voor een gat in de bekleding, waardoor water gemakkelijker kan infiltreren. Hierdoor kan de freatische waterstand in de kering toenemen (bij lagere overslagdebieten hogere freatische lijn).</p> <p>c: Erosie zorgt in theorie zeer lokaal voor minder grote weerstandbiedende deel van het glijvlak. De kans op optreden van macro-instabiliteit binnenwaarts zal door 3D-werking niet groter worden.</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Erosiekul zorgt niet voor grote achteruitgang in macrostabiliteit vanwege 3D-werking en doordat in analyse ook het 'gunstige effect' van de bebouwing meegenomen zou moeten worden</p>	-	Geen faalkansbijdrage
Bebouwing in achterland	<p>Narratief</p> <p>a: Naast (rondom) bebouwing ontstaat een erosiekul door stromingsconcentratie van langsstromend water en de afwezigheid van goede bekleding.</p> <p>b: De erosiekul zorgt lokaal voor een gering gewicht van de deklaag. Hierdoor neemt de kans op opbarsten/oprijven toe.</p> <p>c: Erosie zorgt in theorie zeer lokaal voor minder grote weerstandbiedende deel van het glijvlak. De kans op optreden van macro-instabiliteit binnenwaarts zal door 3D-werking niet groter worden.</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Erosiekul zorgt niet voor grote achteruitgang in macrostabiliteit vanwege 3D-werking en doordat in analyse ook het 'gunstige effect' van de bebouwing meegenomen zou moeten worden</p>	-	Geen faalkansbijdrage

Type NWO: **Bebouwing**
 Faalmechanisme: **Macro-instabiliteit binnenwaarts (STBI)**
 Initele gebeurtenis: **Bebouwing intact**

ALGEMEEN

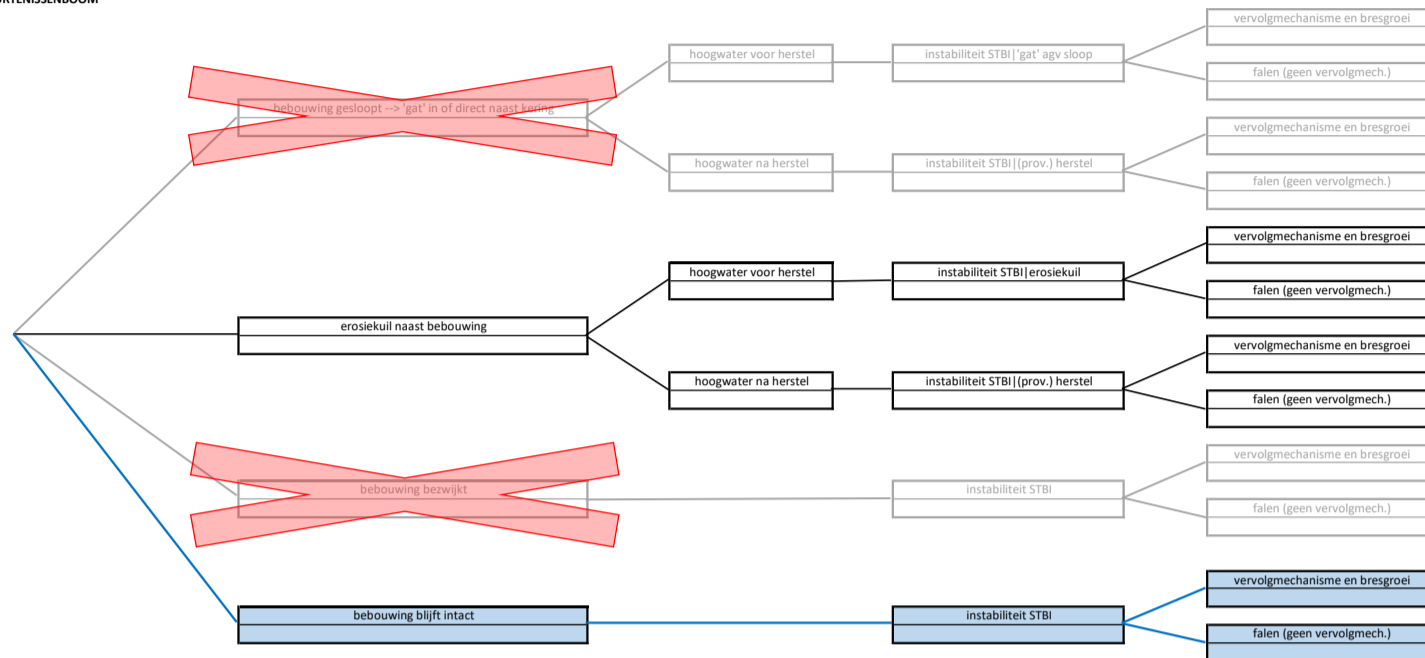
Voor de initiele gebeurtenis 'bebouwing gesloopt', waardoor een 'gat' in de kering aanwezig is net voorafgaand aan of tijdens een hoogwaterperiode, wordt (in overleg met beheerders) gesteld dat dit een verwaarloosbare kans van optreden heeft binnen het beheergebied van WSL. Dit omdat al ruim voordat hoge waterstanden plaatsvinden, de eerste inspectieronden (naast de dagelijkse inspectie) worden ingezet. Indien dergelijke situaties dan worden geconstateerd (afgezien van dat hiervoor normaal gesproken al vergunning bij het waterschap moet zijn aangevraagd) is er voldoende tijd om herstelmaatregelen uit te voeren, zodat de kering weer op orde is en voldoende veilig het hoogwater kan keren. Deze initiele gebeurtenis is derhalve niet verder beschouwd.

Voor de initiele gebeurtenis 'bebouwing bezwijkt' in aanloop van, tijdens of na hoogwater is gesteld dat dit een verwaarloosbare kans van optreden heeft. Dit omdat bebouwing ook aan de nodige wet- en regelgeving (bouwbesluit) moet voldoen. Daarnaast zal een bezwiken gebouw (bv. door instorting of door brand) niet direct weggehaald worden (of juist actief verder worden afgebroken). De puinresten hebben niet direct een nadelige invloed op de waterkering. Langsstromend water dat tot erosie leidt wordt onder het initiele gebeurtenis 'erosiekuil naast bebouwing' meegenomen.

Indien gebouw intact is en blijft tijdens periode van hoogwater, heeft deze (afhankelijk van positie in dijkklichaam) een positief of negatief effect, afhankelijk van met name het eigen gewicht van de bebouwing en het type fundering.

Het funderingstype, de aanwezige kruipruimten en/of kelders met of zonder een vaste (betonnen) vloer van gebouwen, is in een aantal situaties niet bekend. Afhankelijk van de zone waarin de bebouwing aanwezig is, vraagt dit om nader onderzoek of veldinspecties.

GEBEURTENISSENBOM



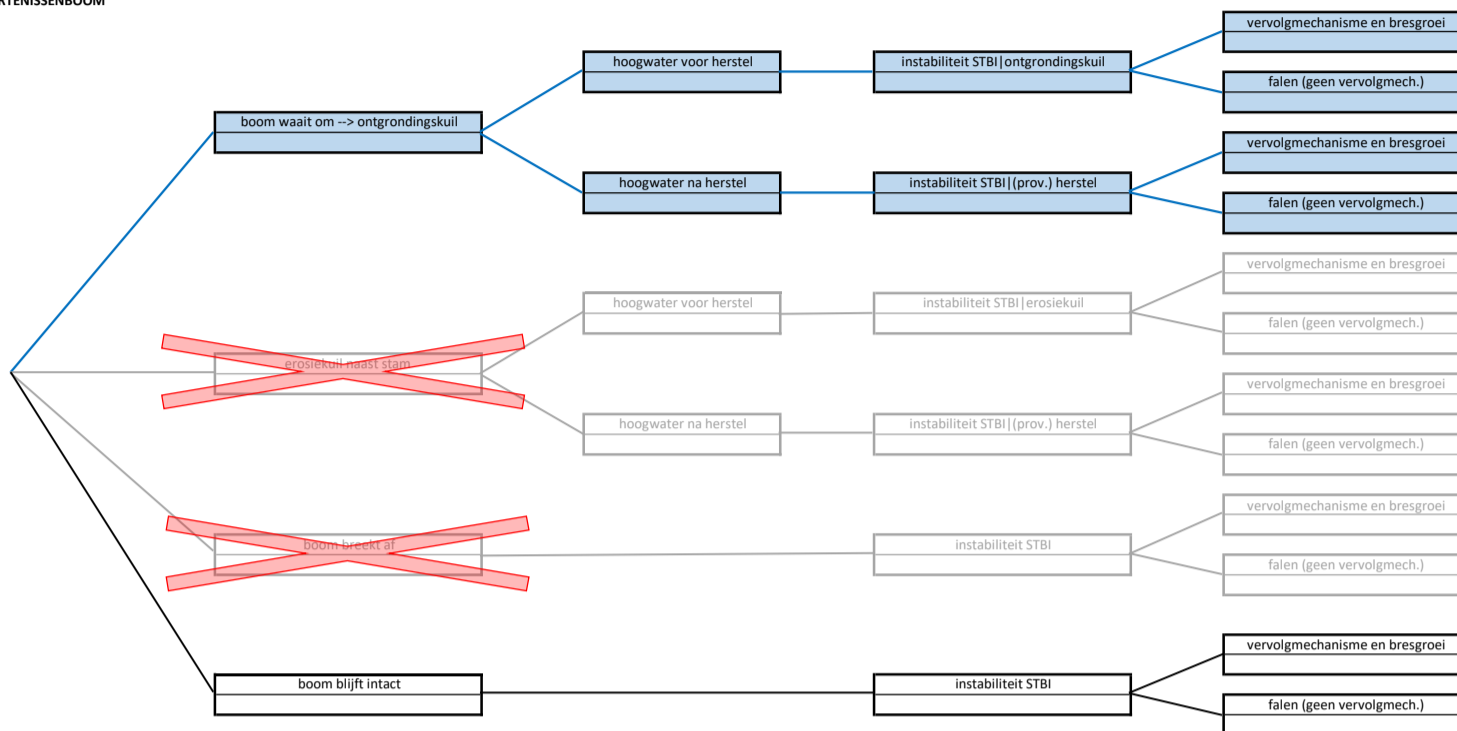
NARRATIEF, OVERWEGINGEN, VERVOLGACTIES EN RESULTAAT PER ZONE

Bebouwing op voorland en buitentaluud	Narratief	Overwegingen	Vervolgactie(s)	Resultaat
	<p>a: Bebouwing is aanwezig in aanloop naar en tijdens hoogwaterperiode.</p> <p>b: Bebouwing heeft geen nadelig effect (faalkanstoename) voor STBI.</p>	<p>Bebouwing verandert niets aan freatische lijn en/of stijghoogteverloop in ondergrond.</p> <p>Het gewicht van bebouwing zorgt niet voor toe- of afname van belasting.</p>	-	Geen faalkansbijdrage ✓
	<p>a: Bebouwing is aanwezig in aanloop naar en tijdens hoogwaterperiode.</p> <p>b: Het gewicht van de bebouwing (mits niet op palen gefundeerd) heeft beperkt effect op belasting op aandrijvend deel van het glijvlak (grotere belasting maar wellicht daardoor ook grotere schuifsterkte te mobiliseren).</p>	<p>Rondom bebouwing is bekleding veelal doorlatender, waardoor als gevolg van neerslag en/of golfoverslag aanvullende infiltratie kan optreden. Dit heeft gering verhogend effect op freatische waterstand in kering.</p> <p>Een op staal gefundeerde bebouwing draagt het gewicht direct af op ondergrond en heeft daarmee invloed op STBI (hoger aandrijvend gewicht, maar daarentegen ook hogere spanningen (meer schuifsterkte) in ondergrond. Per saldo een verwaarloosbaar effect --> geen faalkanstoename!</p> <p>Een op palen gefundeerde bebouwing geeft extra gewicht op dijk (nadelig effect voor STBI). Palen hebben mogelijk gunstig effect (wapening) op sterkte van grond. Per saldo gunstig effect voor (grote) glijvlakken --> geen faalkanstoename!</p>	-	Geen faalkansbijdrage ✓
	<p>a: Bebouwing is aanwezig in aanloop naar en tijdens hoogwaterperiode.</p> <p>b: Het gewicht van de bebouwing (mits niet op palen gefundeerd) heeft beperkt effect op belasting op aandrijvend deel van het glijvlak (grotere belasting maar wellicht daardoor ook grotere schuifsterkte te mobiliseren).</p>	<p>Rondom bebouwing is bekleding veelal doorlatender, waardoor als gevolg van neerslag en/of golfoverslag aanvullende infiltratie kan optreden. Dit heeft gering verhogend effect op freatische waterstand in kering.</p> <p>Een op staal gefundeerde bebouwing draagt het gewicht direct af op ondergrond en heeft daarmee invloed op STBI (hoger aandrijvend gewicht, maar daarentegen ook hogere spanningen (meer schuifsterkte) in ondergrond. Per saldo een verwaarloosbaar effect --> geen faalkanstoename!</p> <p>Een op palen gefundeerde bebouwing geeft extra gewicht op dijk (nadelig effect voor STBI). Palen hebben mogelijk gunstig effect (wapening) op sterkte van grond. Per saldo gunstig effect voor (grote) glijvlakken --> geen faalkanstoename!</p>	-	Geen faalkansbijdrage ✓
	<p>a: Bebouwing is aanwezig in aanloop naar en tijdens hoogwaterperiode.</p> <p>b: Het gewicht van de bebouwing (mits niet op palen gefundeerd) heeft beperkt effect op belasting op aandrijvende of passieve deel van het glijvlak (grotere belasting maar wellicht daardoor ook grotere schuifsterkte te mobiliseren).</p>	<p>Een op staal gefundeerde bebouwing draagt het gewicht direct af op ondergrond en heeft daarmee invloed op STBI (hoger aandrijvend gewicht) maar daarentegen ook hogere spanningen (meer schuifsterkte) in ondergrond. Per saldo een verwaarloosbaar effect --> geen faalkanstoename!</p> <p>Bij bebouwing met een kruipruimte (zonder betonvloer) is mogelijk sprake van een initiele oppervlakkige afschuiving (geringe vervorming van binnentalud). Vervolgafschuiving zijn daarna echter zeer onwaarschijnlijk.</p> <p>Bebouwing met eventueel een kelder (vaste vloer en wanden) en/of zonder kruipruimte heeft een positief effect op STBI en zal niet als representatief binnen een dijkkvak voor beschouwd. --> geen faalkanstoename!</p>	-	Geen faalkansbijdrage ✓
	<p>a: Bebouwing is aanwezig in aanloop naar en tijdens hoogwaterperiode.</p> <p>b: Het gewicht van de bebouwing (mits niet op palen gefundeerd) heeft beperkt effect op belasting op passieve deel van het glijvlak (grotere belasting maar wellicht daardoor ook grotere schuifsterkte te mobiliseren).</p>	<p>Opgemerkt wordt dat het maaiveldniveau rondom bebouwing in het achterland veelal een hoger niveau heeft dan omliggende achterland (i.v.m. drooglegging fundering).</p> <p>Bebouwing heeft in potentie een positief effect op het mechanisme STBI. Glijvlak zal niet onder of door gebouw optreden (hoger gewicht en daarmee hogere schuifsterkte, sterkte gebouw en fundering(spalen)).</p> <p>Mogelijk dat opbarsten van deklaag (bij gebouw met kruipruimte zonder betonvloer) eerder optreedt ter plaatse van gebouw dan elders binnen het potentiële glijvlak. Solitair gebouw met beperkte afmetingen (orde grootte 10 x 5 = circa 50 m2) zal niet tot grondbreuk leiden over het gehele potentiële glijvlak (circa 40-50 m lengte langs de kering).</p> <p>Bebouwing met kelder (vaste vloer en wanden) heeft een positief effect op STBI en zal niet als representatief voor een dijkkvak worden beschouwd.</p>	-	Geen faalkansbijdrage ✓

Type NWO: Bomen / Begroeiing
Faalmechanisme: Macro-instabiliteit binnenwaarts (STBI)
Initiele gebeurtenis: Ontgrondingskuil (boom waait om)

ALGEMEEN
 Voor het mechanisme STBI is het potentiële effect van begroeiing, een solitaire boom, boomgroep of rij duidelijk verschillend. Bijvoorbeeld vanuit de breedte van een potentieel afschuifvlak vs effect van solitaire boom.
 Indien boom intact is en blijft tijdens een periode van hoogwater, heeft deze (afhankelijk van locatie ten opzichte van de kering) een positief of negatief effect. Er is sprake van verticale belasting door het gewicht van een boom(-groep of -rij) en een zijwaartse windbelasting op de ondergrond. Het aanwezige wortelgestel heeft geringe positieve invloed op te mobiliseren schuifsterkte.
 In de afweging moet worden meegenomen dat na ontworteling het gewicht van de boom en grond aanwezig blijft totdat de ontwortelde boom wordt verwijderd. Indien boom weggehaald is/wordt, is het onwaarschijnlijk dat bv. talud niet hersteld wordt (afdichten en afdekken gat in gesloten seizoen of bij dreigend hoogwater).
 Begroeiing heeft door beperkte afmetingen (bv. hoogte, gewicht) geen positief/negatief effect op faalmechanisme macrostabiliteit en is hier buiten beschouwing gelaten.

GEBEURTENISSENBOOM



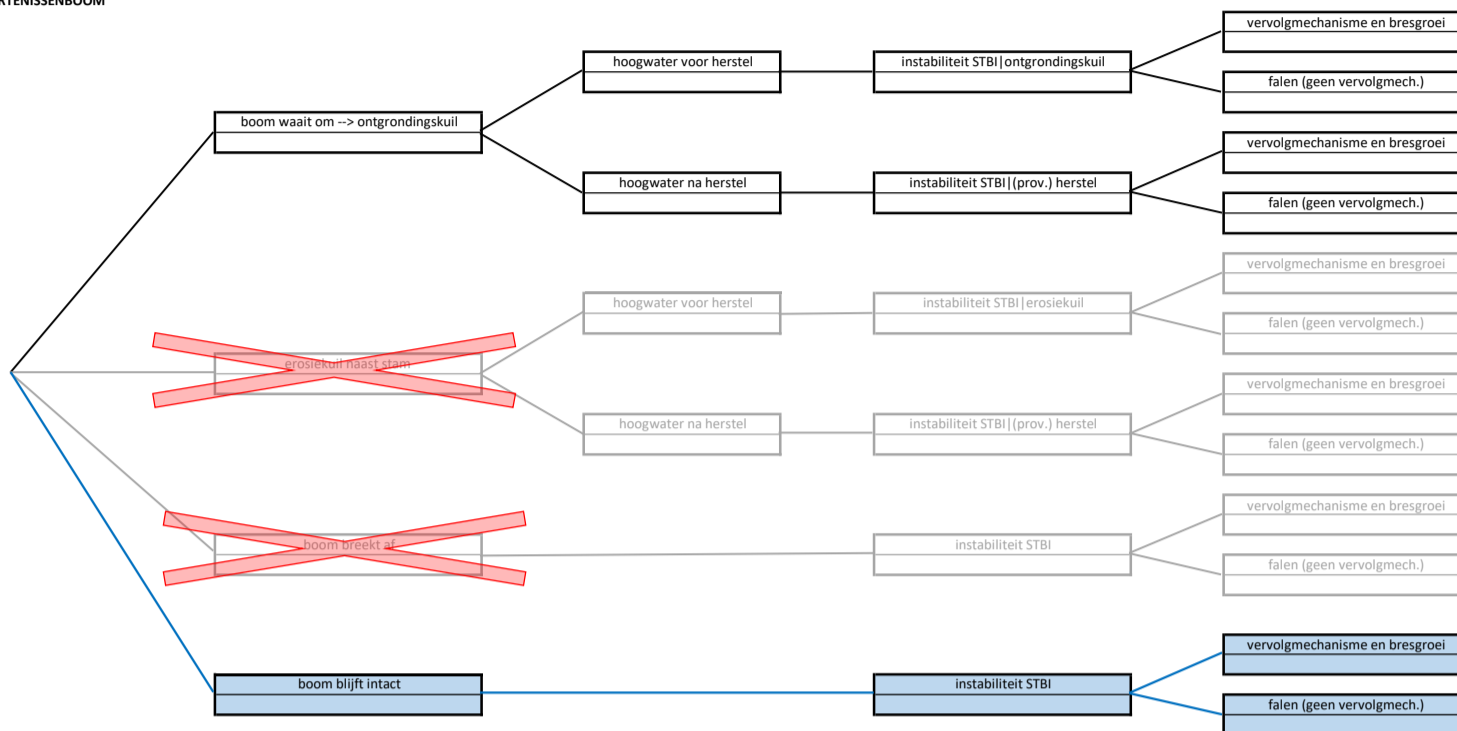
NARRATIEF, OVERWEGINGEN, VERVOLGACTIES EN RESULTAAT PER ZONE

Zone	Narratief	Overwegingen	Vervolgactie(s)	Resultaat
Boom op voorland	<p>Narratief</p> <p>a: Een of meerdere bomen waaien om in voorland, waardoor een ontgrondingskuil ontstaat.</p> <p>b: Ontgrondingskuil zorgt voor kortsluiting tussen rivierwaterstand en stijghoogte in watervoerende zandlaag.</p> <p>c: Deze kortsluiting leidt tot verhoogde stijghoogte (a.g.v. geringere demping) in binnenteen/achterland van kering.</p> <p>d: De opdrijfveiligheid van deklaag in achterland neemt af (ofwel: bij lagere buitenwaterstand zal opbarsten/opdrijven optreden).</p> <p>e: De kans op optreden van macro-instabiliteit binnenwaarts neemt toe (ofwel grotere faalkans bij lagere buitenwaterstand).</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Indien dikte deklaag in voorland groter is dan ca. 2 m zal bij ontgraving geen kortsluiting ontstaan --> geen faalkansbijdrage!</p> <p>Indien in voorland geen weerstand aanwezig is (of is meegenomen in de regulier STBI-analyse) --> geen faalkansbijdrage!</p> <p>De kans op ontworteling van boom in voorland/buitentalud is tijdens hoogwater kleiner (voorland staat onder water), daarentegen zal de kans op 'herstel' wel aanzienlijk groter zijn, vanwege het feit dat het voorland/buitentalud niet te bereiken is.</p> <p>Eén ontgrondingskuil met kortsluiting, zal erg weinig effect hebben op verloop van stijghoogte. Daarnaast zal kuil ook (vrij snel) dichtslibben, waardoor de weerstand weer herstelt/toeneemt --> geen faalkansbijdrage!</p>	-	Geen faalkansbijdrage
Boom in buitentalud	<p>Narratief</p> <p>a: Een of meerdere bomen op buitentalud waaien om, waardoor een ontgrondingskuil ontstaat.</p> <p>b: De ontgrondingskuil zorgt voor een gat in de bekleding, daardoor kan water gemakkelijker in dijk(kern) infiltreren.</p> <p>c: De freatische waterstand in kering stijgt (bij lagere buitenwaterstand en hogere freatische lijn).</p> <p>d: Het gewicht van dijklichaam neemt toe, schuifsterkte neemt mogelijk af.</p> <p>e: Kans op macro-instabiliteit binnenwaarts neemt toe (faalkans bij lagere buitenwaterstand).</p>	<p>Overwegingen</p> <p>De vraag is of 'gat' bekleding op buitentalud groot effect heeft op toch al relatief goed doorlatende dijklichaam.</p> <p>Het kwelgebied door de kering zal niet veel toenemen.</p> <p>De kans op ontworteling van boom in buitentalud is tijdens hoogwater kleiner (staat water tegen talud), daarentegen zal de kans op 'herstel' wel aanzienlijk groter zijn, vanwege het feit dat het voorland/buitentalud onder water ligt.</p> <p>Eén ontgrondingskuil met kortsluiting, zal erg weinig effect hebben op verloop van stijghoogte. Daarnaast zal kuil ook (vrij snel) dichtslibben, waardoor de weerstand weer herstelt/toeneemt --> geen faalkansbijdrage!</p>	-	Geen faalkansbijdrage
Boom op kruin	<p>Narratief</p> <p>a: Een of meerdere bomen op kruin waaien om, waardoor een ontgrondingskuil ontstaat.</p> <p>b: De ontgrondingskuil zorgt voor gat in bekleding en daardoor kan (overslaand) water gemakkelijker in dijk(kern) infiltreren.</p> <p>c: De waterstand in kering stijgt (bij lagere buitenwaterstand hogere freatische lijn).</p> <p>d: Het gewicht van dijklichaam neemt toe, schuifsterkte neemt mogelijk af.</p> <p>e: De kans op macro-instabiliteit binnenwaarts neemt toe (faalkans bij lagere buitenwaterstand).</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Maak verschil tussen een solitaire boom en boomgroep: solitaire boom vanwege 3D-werking geen effect op groot glijvlak en daarmee op STBI.</p> <p>Een ontgrondingskuil zorgt voor mogelijk minder aandrijving --> daardoor kleinere faalkans STBI.</p> <p>Ontgraving op kruin is maatgevender vanuit mechanisme GEKB!</p>	-	Geen faalkansbijdrage
opm. De mogelijke reductie van het gewicht zal gering positief effect hebben op faalkans voor STBI --> niet meenemen in analyses.				
Boom op binnentalud	<p>Narratief</p> <p>a: Een of meerdere bomen waaien om, waardoor een ontgrondingskuil ontstaat.</p> <p>b: De ontgrondingskuil zorgt voor een lokaal steiler en beschadigd binnentalud.</p> <p>c: De stabiliteit van binnentalud neemt af, waardoor ondiep snijdend, lokale afschuiving optreedt.</p> <p>d: Kans op macro-instabiliteit binnenwaarts neemt toe. Effect van solitaire boom op groot glijvlak is overigens gering, dus vermoedelijk is sprake van een klein afschuifvlak waardoor niet direct falen zal optreden (vervolgmechanismen moeten optreden).</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Maak verschil tussen een solitaire boom en boomgroep: solitaire boom vanwege 3D-werking geen effect op groot glijvlak en daarmee op STBI.</p> <p>Wellicht ligt (deel van het) binnentalud in aandrijvende deel van glijvlak, wat potentieel positief effect heeft op faalkans voor STBI.</p> <p>Na het optreden van oppervlakkig snijdend glijvlak, zijn vervolg mechanismen noodzakelijk om tot falen en overstroming te komen.</p>	Stabiliteitsanalyse (schematiseren ontgrondingskuil, mogelijk verhoging freatische lijn). In afleiding eis (of in faalpad) de volgende overwegingen meenemen: kans op ontworteling, kans op infiltratie, kans op weghalen boom en geen verder herstel, enz,....)	Mogelijk bijdrage aan faalkans voor boomgroep/rij
Boom op berm	<p>Narratief</p> <p>a: Een of meerdere bomen waaien om op berm, waardoor een ontgrondingskuil ontstaat.</p> <p>b: De ontgrondingskuil zorgt voor lokaal een geringer gewicht van de berm (indien boom wordt weggehaald).</p> <p>c: De stabiliteit van binnentalud neemt af, waardoor ondiep snijdend, lokale afschuiving optreedt.</p> <p>d: Kans op macro-instabiliteit binnenwaarts neemt toe. Effect van solitaire boom op groot glijvlak is overigens gering, dus vermoedelijk is sprake van een klein afschuifvlak waardoor niet direct falen zal optreden (vervolgmechanismen moeten optreden).</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Maak verschil tussen een solitaire boom en boomgroep: solitaire boom vanwege 3D-werking geen effect op groot glijvlak en daarmee op STBI.</p> <p>Na het optreden van oppervlakkig snijdend glijvlak, zijn vervolg mechanismen noodzakelijk om tot falen en overstroming te komen.</p>	Stabiliteitsanalyse (schematiseren ontgrondingskuil, mogelijk verhoging freatische lijn). In afleiding eis (of in faalpad) de volgende overwegingen meenemen: kans op ontworteling, kans op infiltratie, kans op weghalen boom en geen verder herstel, enz,....)	Mogelijk bijdrage aan faalkans voor boomgroep/rij
Boom in achterland	<p>a: Een of meerdere bomen waaien om in achterland, waardoor een ontgrondingskuil ontstaat.</p> <p>b: De ontgrondingskuil zorgt voor (lokaal) een geringere dikte en daarmee gewicht van de deklaag.</p> <p>c: De opdrijf- of opbarstveiligheid neemt af (bij lagere buitenwaterstand zal opbarsten/opdrijven optreden).</p> <p>d: De kans op macro-instabiliteit neemt toe (faalkans bij lagere buitenwaterstand).</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Maak verschil tussen een solitaire boom en boomgroep: solitaire boom vanwege 3D-werking geen effect op groot glijvlak en daarmee op STBI.</p> <p>Na het optreden van oppervlakkig snijdend glijvlak, zijn vervolg mechanismen noodzakelijk om tot falen en overstroming te komen.</p>	Dit faalpad is in TiWa beschouwd --> resultaat situatie met boomgroep ruim factor 10 veiliger dan strikt noodzakelijk (meegenomen een oneindig strook gereduceerde deklaag met diepte van 1,0 m en daarnaast kans op ontgraving en herstel!) Echter lokale situatie zouden (qua geometrie en ondergrond) zouden hiervan kunnen afwijken!	Mogelijk bijdrage aan faalkans voor boomgroep/rij

Type NWO: Bomen / Begroeiing
Faalmechanisme: Macro-instabiliteit binnenwaarts (STBI)
Initiele gebeurtenis: Boom is/blijft intact

ALGEMEEN
 Voor het mechanisme STBI is het mogelijke effect van begroeiing, een solitaire boom, boomgroep of boomrij verschillend. Bijvoorbeeld vanuit de breedte van een potentieel afschuifvlak vs effect van solitaire boom.
 Indien boom intact is en blijft tijdens een periode van hoogwater, heeft deze (afhankelijk van locatie ten opzichte van de kering) een positief of negatief effect. Er is sprake van verticale belasting door het gewicht van een boom(-groep of -rij) en een zijwaartse windbelasting op de ondergrond. Het aanwezige wortelgestel heeft geringe positieve invloed op te mobiliseren schuifsterkte.
 In de afweging moet worden meegenomen dat na ontworteling het gewicht van de boom en grond aanwezig blijft totdat de ontwortelde boom wordt verwijderd. Indien boom weggehaald is/wordt, is het onwaarschijnlijk dat bv. talud niet hersteld wordt (afdichten en afdekken gat in gesloten seizoen of bij dreigend hoogwater).
 Begroeiing heeft door beperkte afmetingen (bv. hoogte, gewicht) geen positief/negatief effect op faalmechanisme macrostabiliteit en is hier buiten beschouwing gelaten.

GEBEURTENISSENBOOM



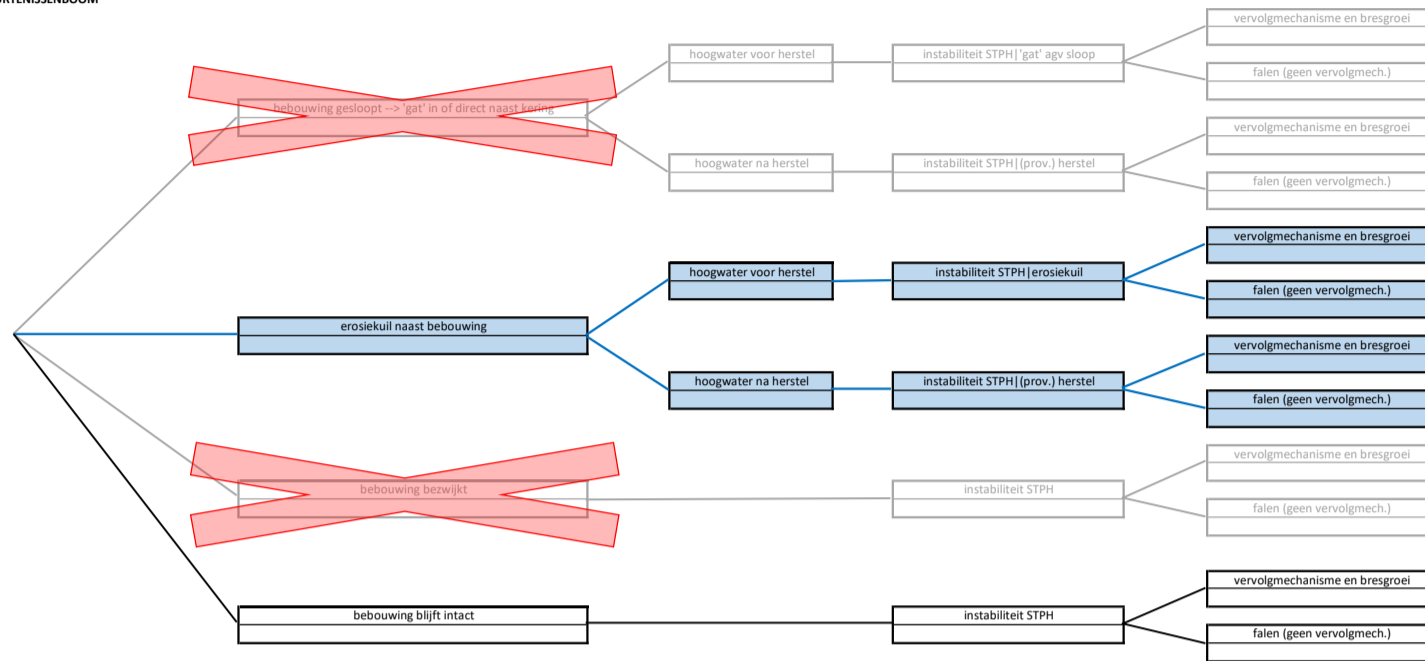
NARRATIEF, OVERWEGINGEN, VERVOLGACTIES EN RESULTAAT PER ZONE

Zone	Narratief	Overwegingen	Vervolgacties	Resultaat
Boom op voorland	<p>Narratief</p> <p>a: Een of meerdere bomen zijn aanwezig in aanloop naar en tijdens hoogwater.</p> <p>b: De boom heeft een eigen gewicht en kan als gevolg van wind een aanvullende belasting op de ondergrond uitoefenen.</p> <p>c:</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Maak verschil tussen een solitaire boom en een boomgroep/rij.</p> <p>Een boom heeft geen effect op freatische, danwel stijghoogte verloop in en onder de waterkering.</p> <p>Een boom heeft geen effect op STBI.</p>	-	Geen faalkansbijdrage
Boom in buitentalud	<p>Narratief</p> <p>a: Een of meerdere bomen zijn aanwezig in aanloop naar en tijdens hoogwater.</p> <p>b: De boom heeft een eigen gewicht en kan als gevolg van wind een aanvullende belasting op de ondergrond uitoefenen .</p> <p>c:</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Maak verschil tussen een solitaire boom en boomgroep/rij</p> <p>Een boom heeft mogelijk een zeer gering effect op de freatische lijn in de kering vanwege mogelijk een doorlatende (open) bekleding van buitentalud. Dit zal geen effect hebben op het stijghoogteverloop bij de waterkering.</p> <p>Een boom heeft geen effect op STBI.</p>	-	Geen faalkansbijdrage
Boom op kruin	<p>Narratief</p> <p>a: Een of meerdere bomen zijn aanwezig in aanloop naar en tijdens hoogwater.</p> <p>b: De boom heeft een eigen gewicht en kan als gevolg van wind een aanvullende belasting op de ondergrond uitoefenen.</p> <p>c: Boom staat potentieel in het aandrijvende deel van het glijvlak.</p> <p>d: De kans op macro-instabiliteit neemt toe</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Maak verschil tussen een solitaire boom en boomgroep/rij.</p> <p>Een boom heeft mogelijk een gering effect op freatische lijn in de kering vanwege mogelijk open bekleding. Dit zal dus bij extreme neerslag en golfoverslag voor mogelijk extra (snelle) verzadiging zorgen. Zal geen effect hebben op de stijghoogteverloop bij de waterkering.</p> <p>Een solitaire boom heeft gering effect op ontstaan van glijvlak door 3D-werking en de breedte van het afschuifvlak van een binnenwaartse afschuiving.</p> <p>Een boomgroep (op kruin zal dat veelal een bomenrij zijn) zal door gewicht en krachtoverdracht van windbelasting voor aanvullende belasting op het glijvlak kunnen zorgen. Wind zal dan wel landwaarts gericht moeten zijn.</p>	<p>Vervolgacties</p> <p>Stabiliteitsanalyse (schematiseren boom met gewicht en windbelasting, mogelijk geringe verhoging van freatische lijn). In afleiding eis (of in faalpad) de volgende overwegingen meenemen: kans op wind, kans op infiltratie, enz,....)</p>	Mogelijk bijdrage aan faalkans voor boomgroep/rij
Boom op binnentalud	<p>Narratief</p> <p>a: Een of meerdere bomen zijn aanwezig in aanloop naar en tijdens hoogwater.</p> <p>b: De boom heeft een eigen gewicht en kan als gevolg van wind een aanvullende belasting op de ondergrond uitoefenen.</p> <p>c: Boom staat potentieel in het aandrijvende deel van het glijvlak. Het gewicht werkt veelal negatief, wind mogelijk ook.</p> <p>d: Het wortelgestel van (gezonde) boom zal oppervlakkige (af)schuifvlakken voorkomen.</p> <p>e: De kans op macro-instabiliteit neemt toe</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Maak verschil tussen solitaire boom en boomgroep/rij.</p> <p>Een boom heeft mogelijk geen effect op freatische lijn in de kering (water mogelijk sneller er in maar dan ook snel eruit). Hierbij zal zich voordoen bij extreme neerslag en/of bij golfoverslag. Heeft ook geen effect op het stijghoogteverloop bij de waterkering.</p> <p>Een solitaire boom heeft gering effect op ontstaan van glijvlak door 3D-werking en de breedte van het afschuifvlak van een binnenwaartse afschuiving.</p> <p>Een boomgroep (mogelijk een bomenrij) zal door gewicht en krachtoverdracht van windbelasting voor aanvullende belasting op het glijvlak kunnen zorgen. Wind zal dan wel landwaarts gericht moeten zijn en bomen moeten boven kruin uitsteken (dus hoger zijn dan circa 4 m).</p> <p>De boomwortels kunnen bijdragen aan sterkte van de ondergrond (oppervlakkige (af)schuifvlakken zullen zich niet ontwikkelen). Bij grotere afschuifvlakken snijdt glijvlak veelal dieper dan wortelgestel van de boom.</p>	<p>Vervolgacties</p> <p>Stabiliteitsanalyse (schematiseren boom met gewicht en windbelasting, mogelijk geringe verhoging van freatische lijn). In afleiding eis (of in faalpad) de volgende overwegingen meenemen: kans op wind, kans op infiltratie, enz,....)</p>	Mogelijk bijdrage aan faalkans voor boomgroep/rij
Boom op berm	<p>Narratief</p> <p>a: Een of meerdere bomen zijn aanwezig in aanloop naar en tijdens hoogwater.</p> <p>b: De boom heeft een eigen gewicht en kan als gevolg van wind een aanvullende belasting op de ondergrond uitoefenen.</p> <p>c: Boom staat mogelijk in het aandrijvende, danwel het weerstandsbediende deel van het glijvlak. Het gewicht werkt veelal negatief, wind mogelijk enigszins negatief.</p> <p>d: Het wortelgestel van (gezonde) boom zal oppervlakkige (af)schuifvlakken voorkomen.</p> <p>e: De kans op macro-instabiliteit neemt toe</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Maak verschil tussen solitaire boom en boomgroep/rij.</p> <p>Een boom heeft geen effect op freatische lijn in de kering. Heeft ook geen effect op het stijghoogteverloop bij de waterkering.</p> <p>Een solitaire boom heeft gering effect op het ontstaan van glijvlak door 3D-werking en de breedte van het afschuifvlak van een binnenwaartse afschuiving.</p> <p>Een boomgroep zal door gewicht en krachtoverdracht van windbelasting voor aanvullende belasting op het glijvlak kunnen zorgen (gewicht werkt veelal positief en wind (afhankelijk van de windrichtig) mogelijk negatief. Wind zal dan wel landwaarts gericht moeten zijn en bomen moeten boven kruin uitsteken (dus hoger zijn dan circa 4 m).</p> <p>De boomwortels kunnen bijdragen aan sterkte van de ondergrond (oppervlakkige (af)schuifvlakken zullen zich niet ontwikkelen). Bij grotere afschuifvlakken snijdt glijvlak veelal dieper dan wortelgestel van de boom.</p>	<p>Vervolgacties</p> <p>Stabiliteitsanalyse (schematiseren boom met gewicht en windbelasting). In afleiding eis (of in faalpad) de volgende overwegingen meenemen: kans op wind, kans op infiltratie, enz,....)</p>	Mogelijk bijdrage aan faalkans voor boomgroep/rij
Boom in achterland	<p>Narratief</p> <p>a: Een of meerdere bomen zijn aanwezig in aanloop naar en tijdens hoogwater.</p> <p>b: De boom heeft een eigen gewicht en kan als gevolg van wind een aanvullende belasting op de ondergrond uitoefenen.</p> <p>c: Boom staat in weerstandsbediende deel van het glijvlak. Het gewicht werkt positief, wind mogelijk enigszins negatief.</p> <p>d: Een boom zal overwegend een positief effect hebben, dus geen faalkansbijdrage.</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Maak verschil tussen solitaire boom en boomgroep/rij.</p> <p>Een boom heeft geen effect op freatische lijn in de kering. Heeft ook geen effect op het stijghoogteverloop bij de waterkering.</p> <p>Solitaire boom heeft geen effect op het tegengaan van een glijvlak door 3D-werking en de breedte van het afschuifvlak van een binnenwaartse afschuiving.</p> <p>Een boomgroep zal door gewicht en krachtoverdracht van windbelasting voor aanvullende belasting op het glijvlak kunnen zorgen. Het gewicht heeft hier een positief effect op de stabiliteit. Het effect van de wind is afhankelijk van de windrichtig.</p>	-	Geen faalkansbijdrage

Type NWO: **Bebouwing**
 Faalmechanisme: **Opbarsten en piping (STPH)**
 Initele gebeurtenis: **Erosiekuil naast bebouwing**

ALGEMEEN
 Voor de initiele gebeurtenis 'bebouwing gesloopt', waardoor een 'gat' in de kering aanwezig is net voorafgaand aan of tijdens een hoogwaterperiode, wordt (in overleg met beheerders) gesteld dat dit een verwaarloosbare kans van optreden heeft binnen het beheergebied van WSRL. Dit omdat al ruim voordat hoge waterstanden plaatsvinden, de eerste inspectieronden (naast de dagelijkse inspectie) worden ingezet. Indien dergelijke situaties dan worden geconstateerd (afgezien van dat hiervoor normaal gesproken al vergunning bij het waterschap moet zijn aangevraagd) is er voldoende tijd om herstelmaatregelen uit te voeren, zodat de kering weer op orde is en voldoende veilig het hoogwater kan keren. Deze initiele gebeurtenis is derhalve niet verder beschouwd.
 Voor de initiele gebeurtenis 'bebouwing bezwijkt' in aanloop van, tijdens of na hoogwater is gesteld dat dit een verwaarloosbare kans van optreden heeft. Dit omdat bebouwing ook aan de nodige wet- en regelgeving (bouwbesluit) moet voldoen. Daarnaast zal een bezwiken gebouw (bv. door instorting of door brand) niet direct weggehaald worden (of juist actief verder worden afgebroken). De puinresten hebben niet direct een nadelige invloed op de waterkering. Langsstromend water dat tot erosie leidt wordt onder het initiele gebeurtenis 'erosiekuil naast bebouwing' meegenomen.
 Indien gebouw intact is en blijft tijdens periode van hoogwater, heeft deze (afhankelijk van positie in dijklid) een positief of negatief effect, afhankelijk van met name het eigen gewicht van de bebouwing en het type fundering.
 Het funderingstype, de aanwezige kruipruimten en/of kelders met of zonder een vaste (betonnen) vloer van gebouwen, is in een aantal situaties niet bekend. Afhankelijk van de zone waarin de bebouwing aanwezig is, vraagt dit om nader onderzoek of veldinspecties.

GEBEURTENISSENBOM



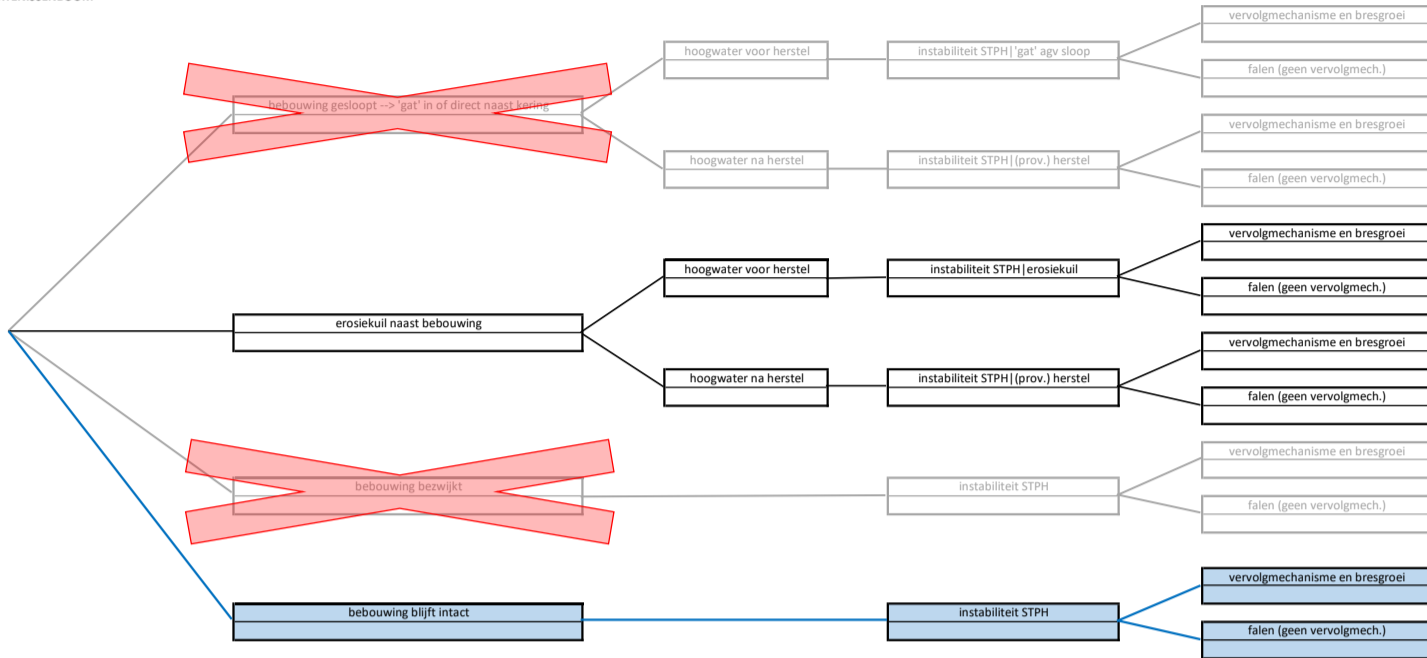
NARRATIEF, OVERWEGINGEN, VERVOLGACTIES EN RESULTAAT PER ZONE

Zone	Narratief	Overwegingen	Vervolgactie(s)	Resultaat
Bebouwing op voorland	<p>Narratief</p> <p>a: Naast (rondom) bebouwing ontstaat een erosiekuil door stromingsconcentratie van langsstromend water en de afwezigheid van goede bekleding.</p> <p>b: De erosiekuil leidt tot een verhoogde stijghoogte (door geringere demping) in de binnenteen/achterland. De oprijfveiligheid neemt af (bij lagere buitenwaterstanden zal opdrijven/opbarsten optreden).</p> <p>c: De kans op optreden van opbarsten en piping neemt toe (ofwel grotere faalkans bij lagere buitenwaterstand).</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Indien dikke deklaag in voorland groter is dan ca. 2 m zal bij ontgronding geen kortsluiting ontstaan --> geen faalkansbijdrage!</p> <p>Indien in voorland geen weerstand aanwezig is (of is meegenomen in de regulier STBI-analyse) --> geen faalkansbijdrage!</p> <p>De kans op het ontstaan van een erosiekuil op het voorland/buitalud is erg klein, daarentegen is de kans op 'geen herstel' wel groter, omdat voorland snel onder water komt te liggen en daardoor moeilijker berijd- en bereikbaar is.</p> <p>Eén ontgrondingskuil met kortsluiting zal erg weinig effect hebben op verloop van stijghoogte. Daarnaast zal kuil ook (vrij snel) dichtslibben, waardoor de weerstand weer herstelt/toeneemt. --> geen faalkansbijdrage!</p>	-	Geen faalkansbijdrage ✓
Bebouwing op buitalud	<p>Narratief</p> <p>a: Naast (rondom) bebouwing ontstaat een erosiekuil door stromingsconcentratie van langsstromend water en de afwezigheid van goede bekleding.</p> <p>b: De erosiekuil zorgt voor een gat in de bekleding van het buitalud, waardoor water gemakkelijker kan infiltreren. Hierdoor kan de freatische waterstand in de kering toenemen (bij lagere buitenwaterstanden hogere freatische lijn).</p> <p>c: De waterstand in dijkkern staat niet in contact met stijghoogte. Bij hogere waterstand in dijkkern, stijgt stijghoogte niet mee.</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Erosiekuil rond bebouwing heeft geen effect op opdrijven/opbarsten, dan wel op optreden piping en/of heave.</p>	-	Geen faalkansbijdrage ✓
Bebouwing op kruin	<p>Narratief</p> <p>a: Naast (rondom) bebouwing ontstaat een erosiekuil door stromingsconcentratie van langsstromend water en de afwezigheid van goede bekleding.</p> <p>b: De erosiekuil zorgt voor een gat in de bekleding van het buitalud, waardoor water gemakkelijker kan infiltreren. Hierdoor kan de freatische waterstand in de kering toenemen (bij lagere buitenwaterstanden hogere freatische lijn).</p> <p>c: De waterstand in dijkkern staat niet in contact met stijghoogte. Bij hogere waterstand in dijkkern, stijgt stijghoogte niet mee.</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Erosiekuil rond bebouwing heeft geen effect op opdrijven/opbarsten, dan wel op optreden piping en/of heave.</p>	-	Geen faalkansbijdrage ✓
Bebouwing op binnentalud	<p>Narratief</p> <p>a: Naast (rondom) bebouwing ontstaat een erosiekuil door stromingsconcentratie van langsstromend water en de afwezigheid van goede bekleding.</p> <p>b: De erosiekuil zorgt voor een gat in de bekleding van het buitalud, waardoor water gemakkelijker kan infiltreren. Hierdoor kan de freatische waterstand in de kering toenemen (bij lagere buitenwaterstanden hogere freatische lijn).</p> <p>c: De waterstand in dijkkern staat niet in contact met stijghoogte. Bij hogere waterstand in dijkkern, stijgt stijghoogte niet mee.</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Erosiekuil rond bebouwing heeft geen effect op opdrijven/opbarsten, dan wel op optreden piping en/of heave.</p>	-	Geen faalkansbijdrage ✓
Bebouwing op berm	<p>Narratief</p> <p>a: Naast (rondom) bebouwing ontstaat een erosiekuil door stromingsconcentratie van langsstromend water en de afwezigheid van goede bekleding.</p> <p>b: Een erosiekuil zorgt voor lokaal een dünnere berm en daardoor een geringer gewicht van de berm.</p> <p>c: Oprijfveiligheid t.p.v. de berm neemt af (bij lagere buitenwaterstand opbarsten/opdrijven). Al is benodigde stijghoogte nog altijd hoger dan voor opbarstlocatie achter de berm in het achterland.</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Indien berm een hoger niveau heeft dan 1,0 m boven maaiveldniveau achterland --> erosiekuil rond bebouwing - heeft geen effect op opdrijven/opbarsten en dus ook niet voor optreden piping en/of heave.</p> <p>Gegeven dat er wel opbarsten onder de erosiekuil ontstaat op de berm, zal potentiaalverschil in opbarstkanaal ook geringer zijn dan in het achterland. Daarnaast zal erosiekuil bij berm ook als 'opgekist' gaan functioneren.</p>	-	Geen faalkansbijdrage ✓
Bebouwing in achterland	<p>Narratief</p> <p>a: Naast (rondom) bebouwing ontstaat een erosiekuil door stromingsconcentratie van langsstromend water en de afwezigheid van goede bekleding.</p> <p>b: De erosiekuil zorgt voor een lokaal geringer gewicht van de deklaag. Hierdoor neemt de kans op opbarsten/opdrijven toe.</p> <p>c: De kans op het ontstaan van piping neemt toe (grotere faalkans bij lagere buitenwaterstand).</p>	<p>Overwegingen</p> <p>De kans op erosie a.g.v. overslaand water (of neerslag) is in het achterland verwaarloosbaar klein. Stroomsnelheden zijn sterk gereduceerd --> geen faalkansbijdrage!</p>	-	Geen faalkansbijdrage ✓

Type NWO: **Bebouwing**
 Faalmechanisme: **Opbarsten en piping (STPH)**
 Initele gebeurtenis: **Bebouwing intact**

ALGEMEEN
 Voor de initiele gebeurtenis 'bebouwing gesloopt', waardoor een 'gat' in de kering aanwezig is net voorafgaand aan of tijdens een hoogwaterperiode, wordt (in overleg met beheerders) gesteld dat dit een verwaarloosbare kans van optreden heeft binnen het beheergebied van WSL. Dit omdat al ruim voordat hoge waterstanden plaatsvinden, de eerste inspectieronden (naast de dagelijkse inspectie) worden ingezet. Indien dergelijke situaties dan worden geconstateerd (afgezien van dat hiervoor normaal gesproken al vergunning bij het waterschap moet zijn aangevraagd) is er voldoende tijd om herstelmaatregelen uit te voeren, zodat de kering weer op orde is en voldoende veilig het hoogwater kan keren. Deze initiele gebeurtenis is derhalve niet verder beschouwd.
 Voor de initiele gebeurtenis 'bebouwing bezwijkt' in aanloop van, tijdens of na hoogwater is gesteld dat dit een verwaarloosbare kans van optreden heeft. Dit omdat bebouwing ook aan de nodige wet- en regelgeving (bouwbesluit) moet voldoen. Daarnaast zal een bezwiken gebouw (bv. door instorting of door brand) niet direct weggehaald worden (of juist actief verder worden afgebroken). De puinresten hebben niet direct een nadelige invloed op de waterkering. Langsstromend water dat tot erosie leidt wordt onder het initiele gebeurtenis 'erosiekul naast bebouwing' meegenomen.
 Indien gebouw intact is en blijft tijdens periode van hoogwater, heeft deze (afhankelijk van positie in dijklichaam) een positief of negatief effect, afhankelijk van met name het eigen gewicht van de bebouwing en het type fundering.
 Het funderingstype, de aanwezige kruipruimten en/of kelders met of zonder een vaste (betonnen) vloer van gebouwen, is in een aantal situaties niet bekend. Afhankelijk van de zone waarin de bebouwing aanwezig is, vraagt dit om nader onderzoek of veldinspecties.

GEBEURTENISSENBOM



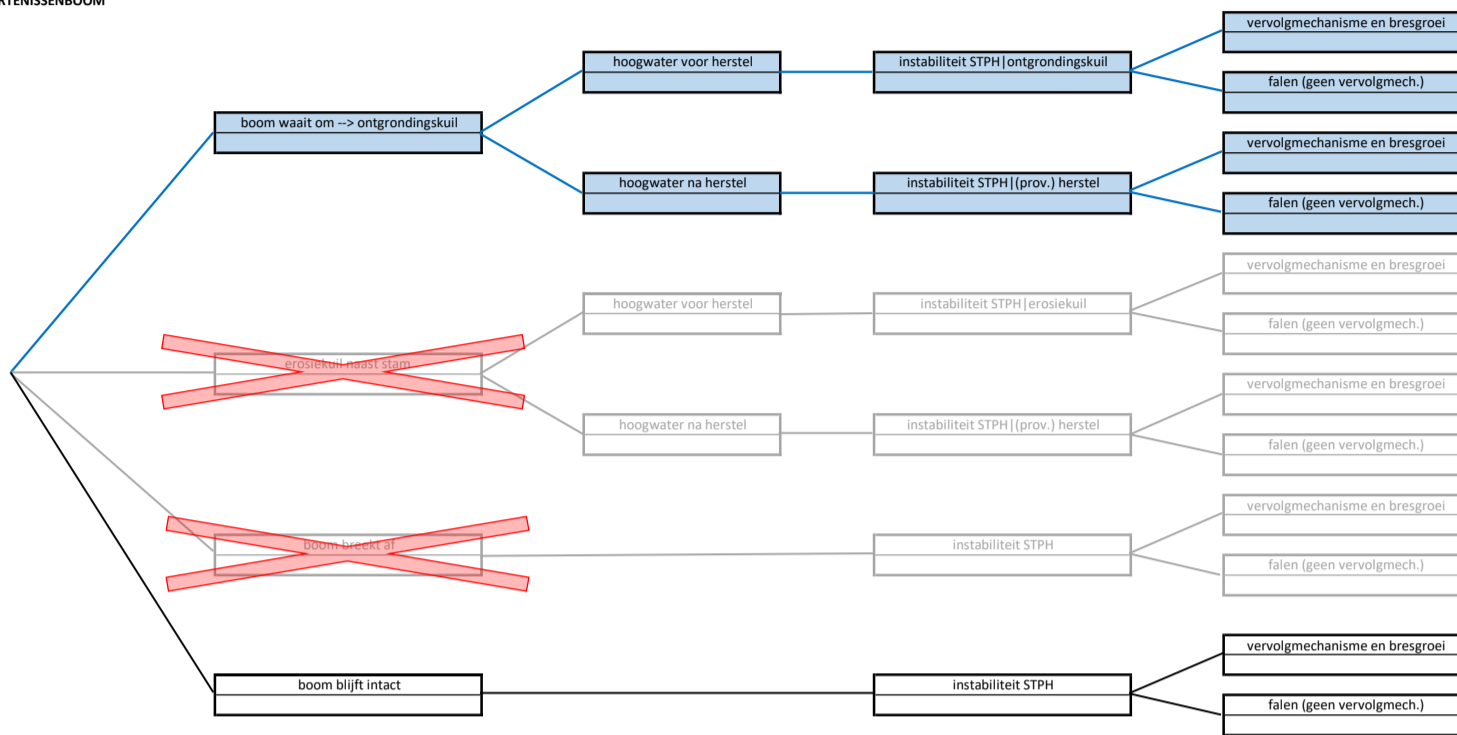
NARRATIEF, OVERWEGINGEN, VERVOLGACTIES EN RESULTAAT PER ZONE

Zone	Narratief	Overwegingen	Vervolgactie(s)	Resultaat
Bebouwing op voorland, buitentalud, kruin, binnentalud en berm	<p>Narratief</p> <p>a: Bebouwing is aanwezig in aanloop naar en tijdens hoogwaterperiode.</p> <p>b: Verhoogde waterstanden hebben geen invloed op stijghoogteverloop in ondergrond.</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Bebouwing verandert niets aan freatische lijn en/of stijghoogteverloop.</p> <p>Bebouwing zorgt niet voor korte kwelweglengte. Bebouwing zorgt niet voor faalkansoename!</p>	-	<p>Resultaat</p> <p>Geen faalkansbijdrage</p>
Bebouwing in achterland	<p>Narratief</p> <p>a: Bebouwing is aanwezig in aanloop naar en tijdens hoogwaterperiode.</p> <p>b: Verhoogde waterstanden hebben mogelijk invloed op stijghoogteverloop door antropogene gronden bij aansluiting van bebouwing op ondergrond.</p> <p>c: Aan de buitenzijde van bebouwing kan, als gevolg van grondverstoring, een kwelstroom ontstaan die zand kan meevoeren. Ook kan deze kwelstroom zich onder bebouwing met (open) kruipruimte ontwikkelen.</p> <p>d: Mogelijk faalkansoename door bebouwing.</p> <p>In het geval van bebouwing zonder kruipruimte en/of een gebouw met kelder (betonnen vloer en wanden) zal ter plaatse van de bebouwing geen opbarsten en dus piping kunnen ontstaan.</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Opgemerkt wordt dat het maaiveldniveau rondom bebouwing in het achterland veelal een hoger niveau heeft dan omliggende achterland (i.v.m. drooglegging fundering).</p> <p>Bij bebouwing zonder kruipruimte of bebouwing met kelder en intacte keldervloer kan geen uitredpunt ontstaan.</p> <p>Bij bebouwing met een kruipruimte heeft de dikte van de deklaag invloed op de kans dat opbarsten wel/niet ontstaat. Bij dikke deklaag (d > 4 m) is er geen extra nadelig effect op kans op opbarsten. Bij dunne deklaag (of geen deklaag) heeft de kruipruimte effect op kans op opbarsten en daarmee op STPH.</p> <p>Eventueel ontstaan van wellen in kruipruimten zijn moeilijker inspecteerbaar. Bij dunne deklagen (of geen deklagen) zouden wellen (bij recente hoogwaterperiodes) al waargenomen moeten zijn.</p> <p>Het gevolg van opbarsten en kwel is dat kruipruimte vol water komt te staan. Daardoor zal verval (t.p.v. gebouw) niet groter zijn dan naast het gebouw. Hierdoor neemt de kans af dat pipe uitreedt in kruipruimte.</p>	-	<p>Resultaat</p> <p>Mogelijk bijdrage aan faalkans</p>

Type NWO: Bomen / Begroeiing
Faalmechanisme: Opbarsten en Piping (STPH)
Initele gebeurtenis: Ontgrondingskuil (boom waait om)

ALGEMEEN
Voor het mechanisme STPH is er een verschil te verwachten tussen de effecten van een solitaire boom, boomgroep of rij. Piping zal (met name bij uittredepunt) toch veelal door een zwak punt, bijvoorbeeld een laagte in het achterland, worden bepaald.
Indien boom intact is (en blijft tijdens periode van hoogwater), heeft deze geen effect op dit mechanisme. Aanwezig wortelgestel heeft wellicht geringe negatieve invloed op ontstaan van preferente stroming. Op (binnen)talud zou dit micro-instabiliteit STMI kunnen leiden.
In de afweging moet worden meegenomen dat na ontworteling het gewicht van de boom en grond aanwezig blijft totdat de ontwortelde boom wordt verwijderd. Indien boom weggehaald is/wordt, is het onwaarschijnlijk dat bv. talud niet hersteld wordt (afdichten en afdekken gat in gesloten seizoen of bij dreigend hoogwater).
Begroeiing heeft door beperkte afmetingen (bv. hoogte, gewicht) geen positief/negatief effect op faalmechanisme opbarsten/piping en is dus niet beschouwd.
In geval van het ontstaan van een erosiekuil, moet er 'eerst' een grote hoeveelheid water langs het NWO gaan stromen, daar is extreem veel neerslag en/of groot overslagdebiet voor nodig. Dit wordt een orde minder waarschijnlijk geacht dan de kans op een ontworteling. (Voor analyse van erosiekuil zal overigens grofweg hetzelfde gelden als voor ontgrondingskuil)

GEBEURTENISSENBOOM



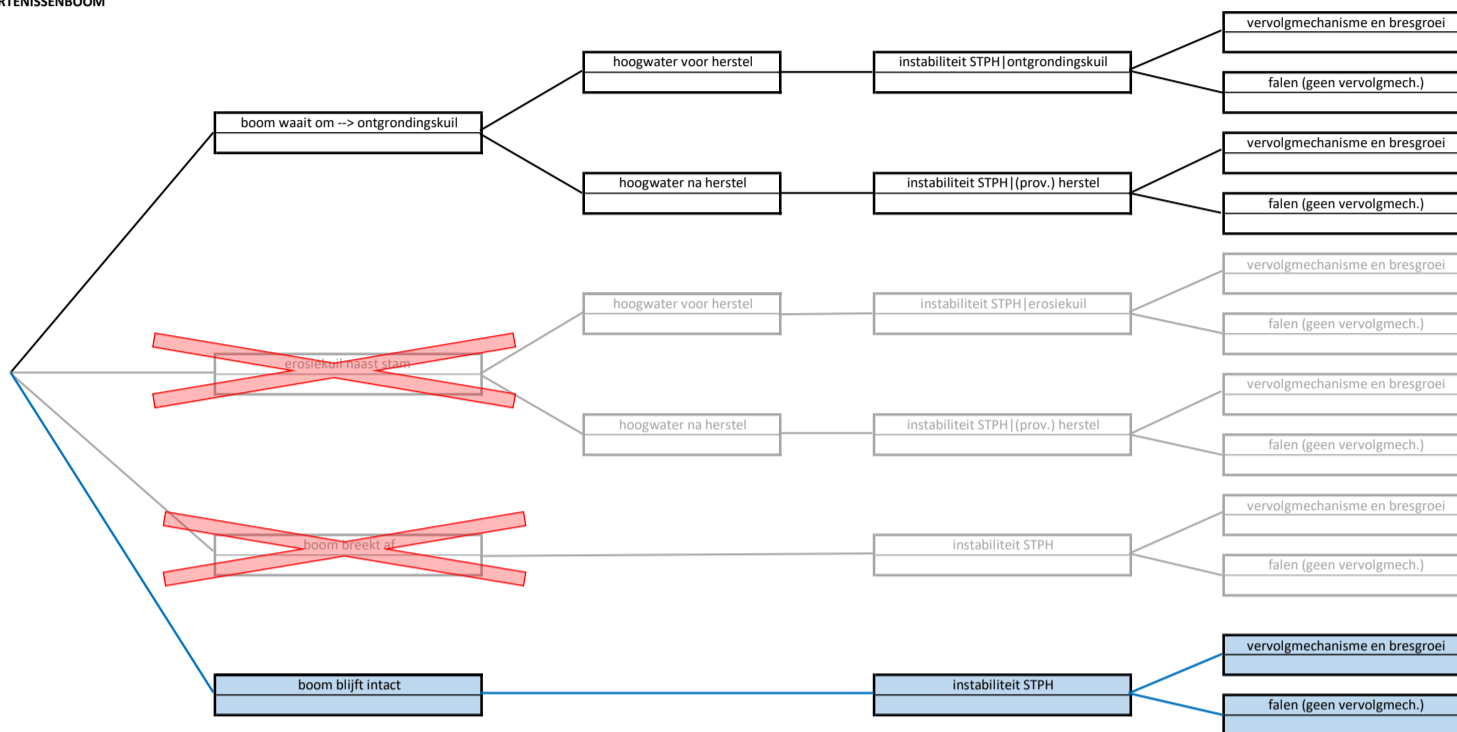
NARRATIEF, OVERWEGINGEN, VERVOLGACTIES EN RESULTAAT PER ZONE

Zone	Narratief	Overwegingen	Vervolgactie(s)	Resultaat
Boom op voorland	<p>Narratief</p> <p>a: Een of meerdere bomen waaien om in voorland, waardoor een ontgrondingskuil ontstaat.</p> <p>b: Een ontgrondingskuil zorgt voor (tijdelijke) kortsluiting tussen rivierwaterstand en stijghoogte in wvp.</p> <p>c: Kortsluiting leidt tot verhoogde (geringere demping) stijghoogte in binnenteen/achterland van kering.</p> <p>d: De opdrijf/opbarstveiligheid neemt af (bij lagere buitenwaterstand al opbarsten/opdrijven).</p> <p>e: De kans op het ontstaan van piping neemt niet toe.</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Indien dikte deklaag in voorland groter is dan ca. 2 m zal bij ontgroning geen kortsluiting ontstaan -> geen faalkansbijdrage!</p> <p>Indien in voorland geen weerstand aanwezig is (of is meegenomen in de regulier STBI-analyse) -> geen faalkansbijdrage!</p> <p>De kans op ontworteling van boom in voorland/buitalud is tijdens hoogwater kleiner (voorland staat onder water), daarentegen zal de kans op 'geen herstel' wel aanzienlijk groter zijn, vanwege het feit dat het voorland/buitalud niet te bereiken is.</p> <p>Eén ontgrondingskuil met kortsluiting zal erg weinig effect hebben op verloop van stijghoogte. Daarnaast zal kuil ook (vrij snel) dichtslibben, waardoor de weerstand weer herstelt/toeneemt. -> geen faalkansbijdrage!</p>	-	Geen faalkansbijdrage
Boom in buitalud	<p>Narratief</p> <p>a: Een of meerdere bomen op buitalud waaien om, waardoor een ontgrondingskuil ontstaat.</p> <p>b: De ontgrondingskuil zorgt voor een gat in de bekleding, daardoor kan water gemakkelijker in dijk(kern) infiltreren.</p> <p>c: De freatische waterstand in kering stijgt (bij lagere buitenwaterstand hogere freatische lijn).</p> <p>d: De waterstand in dijk kern staat niet in contact met stijghoogte. Bij hogere waterstand in dijk kern, stijgt stijghoogte niet mee.</p> <p>e: De kans op het ontstaan van piping neemt niet toe.</p>	<p>Overwegingen</p> <p>De vraag is of 'gat' bekleding op buitalud groot effect heeft op toch al relatief goed doorlatende dijksmateriaal. -</p> <p>Het kweldebiet door de kering zal niet veel toenemen.</p> <p>De kans op ontworteling van boom in buitalud is tijdens hoogwater kleiner (staat water tegen talud), daarentegen zal de kans op 'geen herstel' wel aanzienlijk groter zijn, vanwege het feit dat het voorland/buitalud onder water ligt.</p> <p>Eén ontgrondingskuil met kortsluiting, zal erg weinig effect hebben op verloop van stijghoogte. Daarnaast zal kuil ook (vrij snel) dichtslibben, waardoor de weerstand weer herstelt/toeneemt. -> geen faalkansbijdrage!</p>	-	Geen faalkansbijdrage
Boom op kruin	<p>Narratief</p> <p>a: Een of meerdere bomen op kruin waaien om, waardoor een ontgrondingskuil ontstaat.</p> <p>b: De ontgrondingskuil zorgt voor gat in bekleding (van berm) en daardoor kan (overslaand) water gemakkelijker in dijk kern infiltreren.</p> <p>c: De waterstand in kering stijgt (bij lagere buitenwaterstand hogere freatische lijn).</p> <p>d: De waterstand in dijk kern staat niet in contact met stijghoogte. Bij hogere waterstand in dijk kern, stijgt stijghoogte niet mee.</p> <p>e: De kans op het ontstaan van piping neemt niet toe.</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Een ontgroning- of erosiekuil van boom heeft geen effect op opdrijven/opbarsten, dan wel op optreden piping en/of heave.</p>	-	Geen faalkansbijdrage
Boom op binnentalud	<p>Narratief</p> <p>a: Een of meerdere bomen waaien om, waardoor een ontgrondingskuil ontstaat.</p> <p>b: De ontgrondingskuil zorgt voor een lokaal steiler en beschadigd binnentalud.</p> <p>c: Waterstand in kering stijgt (bij lagere buitenwaterstand hogere freatische lijn).</p> <p>d: waterstand in dijk kern staat in contact met stijghoogte. Bij hogere waterstand in dijk kern ook grotere stijghoogte.</p> <p>e: De kans op het ontstaan van piping neemt niet toe.</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Een ontgroning- of erosiekuil van boom heeft geen effect op opdrijven/opbarsten, dan wel op optreden piping en/of heave.</p>	-	Geen faalkansbijdrage
Boom op berm	<p>Narratief</p> <p>a: Een of meerdere bomen waaien om op berm, waardoor een ontgrondingskuil ontstaat.</p> <p>b: De ontgrondingskuil zorgt voor lokaal een dunnere deklaag.</p> <p>c: De opdrijfveiligheid neemt in theorie af, echter door hoogte van berm, zal altijd nog eerst zwakke locatie in het achterland opbarsten (daar deklaag dunner).</p> <p>d: De kans op het ontstaan van piping neemt niet toe.</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Ontgroning- of erosiekuil van boom heeft geen effect op opdrijven/opbarsten, en dus ook niet voor optreden piping en/of heave als berm hoger is dan 1,0 m boven maaiveldniveau polder.</p>	-	Geen faalkansbijdrage
Boom in achterland	<p>Narratief</p> <p>a: Een of meerdere bomen waaien om in achterland, waardoor een ontgrondingskuil ontstaat.</p> <p>b: De ontgrondingskuil zorgt voor lokaal een dunnere deklaag en daardoor een geringer gewicht van de deklaag.</p> <p>c: De opdrijf- of opbarstveiligheid neemt af (opbarsten/opdrijven treedt op bij lagere buitenwaterstand).</p> <p>d: De kans op het ontstaan van piping neemt toe (grotere faalkans bij lagere buitenwaterstand).</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Indien dikte van deklaag in achterland groter is dan circa 2,0 m, dan zal ontwortelde boom geen negatief effect hebben op opbarst- en opdrijfveiligheid.</p> <p>Indien geen deklaag aanwezig is, dan geen grotere faalkansbijdrage door NWO (zie bv. aanwezigheid van een kwelbos bij TiWa = dijkvak19).</p> <p>Indien verticale pipingmaatregel aanwezig is of wordt aangelegd dan is er geen faalkansbijdrage van boom te verwachten.</p>	<p>Vervolgacties</p> <p>Meenemen van reductie van gewicht in opbarstanalyse. En bij opbarsten, geringere dikte ook meenemen in analyses van Sellmeijer (-0,3d)</p>	Mogelijk bijdrage aan faalkans voor boomgroep/rij

Type NWO: Bomen / Begroeiing
 Faalmechanisme: Opbarsten en piping (STPH)
 Initele gebeurtenis: Boom is/blijft intact

ALGEMEEN
Voor het mechanisme STPH is er geen verschil te verwachten tussen de effecten van een solitaire boom, boomgroep of rij. Piping zal (met name bij uittredepunt) toch veelal door een zwak punt, bijvoorbeeld een laagte in het achterland, worden bepaald.
Indien boom intact is en blijft tijdens periode van hoogwater, heeft deze geen effect op dit mechanisme. Aanwezig wortelgestel heeft wellicht geringe negatieve invloed op ontstaan van preferente stroming. Op (zandig binnen)talud zou dit tot micro-instabiliteit (STMI) kunnen leiden.
In de afweging moet worden meegenomen dat na ontworteling het gewicht van de boom en grond aanwezig blijft totdat de ontwortelde boom wordt verwijderd. Indien boom weggehaald is/wordt, is het onwaarschijnlijk dat bv. talud niet hersteld wordt (afdichten en afdekken gat) en dan met name in gesloten seizoen of bij dreigend hoogwater.
Begroeiing heeft door beperkte afmetingen (bv. hoogte, gewicht) geen positief/negatief effect op faalmechanisme opbarsten/piping en is dus niet beschouwd.
In geval van het ontstaan van een erosiekuil, moet er 'eerst' een grote hoeveelheid water langs het NWO gaan stromen, daar is extreem veel neerslag en/of groot overslagdebiet voor nodig. Dit wordt een orde minder waarschijnlijk geacht dan de kans op een ontworteling. (Voor analyse van erosiekuil zal overigens grofweg hetzelfde gelden als voor ontgrondingskuil)

GEBEURTENISSENBOM



NARRATIEF, OVERWEGINGEN, VERVOLGACTIES EN RESULTAAT PER ZONE

Zone	Narratief	Overwegingen	Vervolgacties	Resultaat
Boom op voorland, buitentalud, kruin of binnentalud	a: Een of meerdere bomen zijn aanwezig in aanloop naar en tijdens hoogwater. b: De boom heeft geen invloed op het stijghoogteverloop in de ondergrond. c: De boom zorgt niet voor een kwelweglengte verkorting. Faalkans zal niet toenemen.	Gezonde boom zorgt niet voor grotere doorlatendheid dan aanwezige grondsoort in voorland.	-	Geen faalkansbijdrage
Boom op berm	a: Een of meerdere bomen zijn aanwezig in aanloop naar en tijdens hoogwater. b: De kans dat een nieuwe opbarstlocatie (op kortere afstand dan elders in dijkvak is 'gekozen' als piping überhaupt speelt) ter plaatse van boom ontstaat is verwaarloosbaar klein. c: Er is geen opbarsten op de berm te verwachten door hoogteligging tov mv-niveau van achterland. d: De boom zorgt niet voor een kwelweglengte verkorting. Faalkans zal niet toenemen.	Er is geen opbarsten op de berm te verwachten, doordat berm (1- 1,5 m) hoger is dan achterland en daar dus dunner deklaag aanwezig is, waardoor in het achterland opbarsten zal ontstaan.	-	Geen faalkansbijdrage
Boom in achterland	a: Een of meerdere bomen zijn aanwezig in aanloop naar en tijdens hoogwater. b: Een boom zorgt voor extra gewicht van deklaag (kans op opbarsten reduceert). c: Er ontstaat een kwelstroom rondom wortelgestel (in situatie met zandondergrond zonder deklaag)	Een boom in een deklaag (klei- en veenlagen met zekere dikte) geeft extra gewicht (spanning), waardoor hier opbarsten niet eerder zal ontstaan dan rondom de boom. Een boom in situatie zonder deklaag (of deklaag met zeer beperkte dikte), zal niet (eerder) leiden tot opbarsten. Wel zal kwelstroming langs wortels kunnen bijdrage aan stromingsconcentratie en daardoor meer (of sneller) zandtransport.	-	Geen faalkansbijdrage

Type NWO: **Bebouwing**
 Faalmechanisme: **Erosie bekleding (GEKB, GABI, STMI)**
 Initiele gebeurtenis: **Erosiekul naast bebouwing**

ALGEMEEN

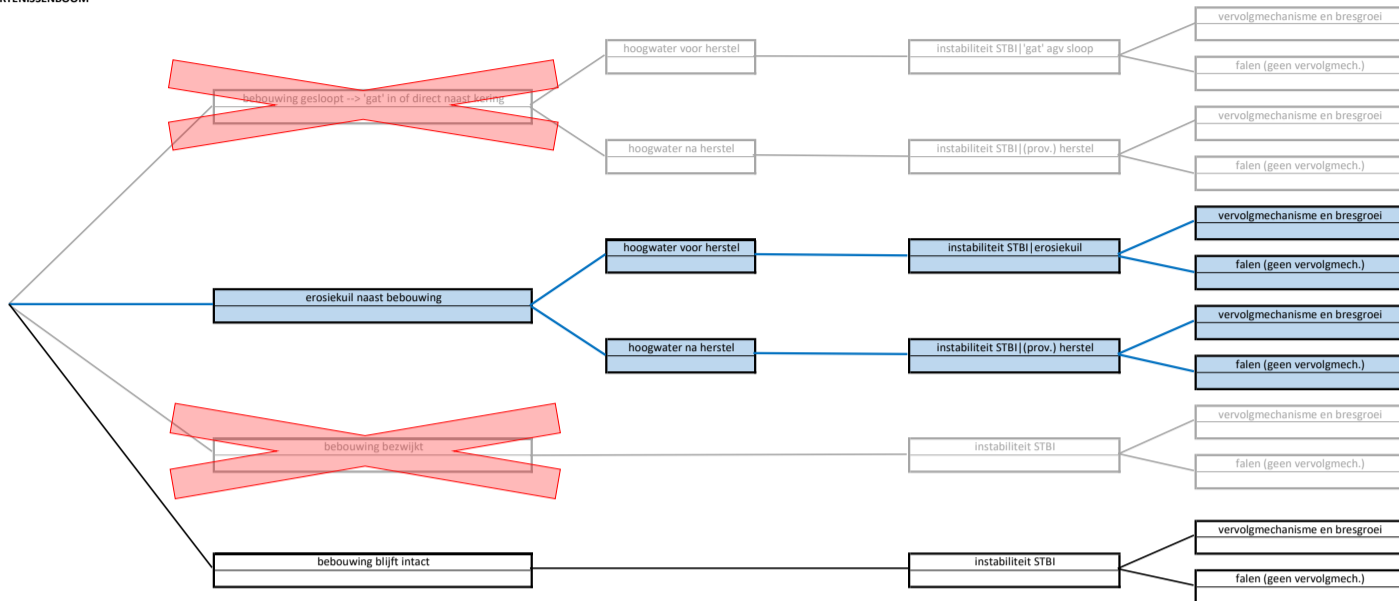
Voor de initiele gebeurtenis 'bebouwing gesloopt', waardoor een 'gat' in de kering aanwezig is net voorafgaand aan of tijdens een hoogwaterperiode, wordt (in overleg met beheerders) gesteld dat dit een verwaarloosbare kans van optreden heeft binnen het beheergebied van WSRL. Dit omdat al ruim voordat hoge waterstanden plaatsvinden, de eerste inspectieronden (naast de dagelijkse inspectie) worden ingezet. Indien dergelijke situaties dan worden geconstateerd (afgezien van dat hiervoor normaal gesproken al vergunning bij het waterschap moet zijn aangevraagd) is er voldoende tijd om herstelmaatregelen uit te voeren, zodat de kering weer op orde is en voldoende veilig het hoogwater kan keren. Deze initiele gebeurtenis is derhalve niet verder beschouwd.

Voor de initiele gebeurtenis 'bebouwing bezwijkt' in aanloop van, tijdens of na hoogwater is gesteld dat dit een verwaarloosbare kans van optreden heeft. Dit omdat bebouwing ook aan de nodige wet- en regelgeving (bouwbesluit) moet voldoen. Daarnaast zal een bezwiken gebouw (bv. door instorting of door brand) niet direct weggehaald worden (of juist actief verder worden afgebroken). De puinresten hebben niet direct een nadelige invloed op de waterkering. Langsstromend water dat tot erosie leidt wordt onder het initiele gebeurtenis 'erosiekul naast bebouwing' meegenomen.

Indien gebouw intact is en blijft tijdens periode van hoogwater, heeft deze (afhankelijk van positie in dijklichaam) een positief of negatief effect, afhankelijk van met name het eigen gewicht van de bebouwing en het type fundering.

Het funderingstype, de aanwezige kruipruimten en/of kelders met of zonder een vaste (betonnen) vloer van gebouwen, is in een aantal situaties niet bekend. Afhankelijk van de zone waarin de bebouwing aanwezig is, vraagt dit om nader onderzoek of veldinspecties.

GEBEURTENISSEBOOM



NARRATIEF, OVERWEGINGEN, VERVOLGACTIES EN RESULTAAT PER ZONE

Bebouwing op voorland	Narratief	Overwegingen	Vervolgactie(s)	Resultaat
	<p>a: Naast (rondom) bebouwing ontstaat een erosiekul door stromingsconcentratie van langsstromend water en de afwezigheid van goede bekleding.</p> <p>b: De erosiekul leidt tot een verhoogde stijghoogte (door geringere demping) in de binnentoevlucht. De oprisping neemt af (bij lagere buitenwaterstanden zal oprisping/opbarsten optreden).</p> <p>c: Een hoge waterstand, waterdruk en golfbelasting zorgt voor grotere faalkans op erosie/afschuiving van bekleding op kruin en binnentalud.</p>	<p>Een erosiekul heeft hooguit een zeer lokaal effect op de waterstand in de kering.</p> <p>Een erosiekul op het voorland heeft geen effect op de golfbelasting en daardoor ook geen effect op de golfbelasting op de kering. En daarmee ook geen effect op de grootte en de hoeveelheid overslaand water --> geen faalkansnaam!</p>	-	Geen faalkansbijdrage
Bebouwing op buitentalud	<p>a: Naast (rondom) bebouwing ontstaat een erosiekul door stromingsconcentratie van langsstromend water en de afwezigheid van goede bekleding.</p> <p>b: De erosiekul zorgt voor een gat in de bekleding van het buitentalud, waardoor water gemakkelijker kan infiltreren. Hierdoor kan de freatische waterstand in de kering toenemen (bij lagere buitenwaterstanden hogere freatische lijn).</p> <p>c: Een hoge waterstand, waterdruk en golfbelasting zorgt voor grotere kans op erosie/afschuiving van bekleding op kruin en binnentalud.</p>	<p>Een erosiekul heeft hooguit een zeer lokaal effect op de waterstand in de kering.</p> <p>Een erosiekul op het voorland heeft geen effect op de golfbelasting en daardoor ook geen effect op de golfbelasting op de kering. En daarmee ook geen effect op de grootte en de hoeveelheid overslaand water --> geen faalkansnaam!</p> <p>De bebouwing dient in de kering te staan en niet buiten het daadwerkelijke profiel (beoordelingsprofiel) van de kering (zoals veelal het geval is).</p> <p>Bebouwing heeft alleen een nadelig effect als kern van de kering uit zandig materiaal bestaat en er een kleilaag op binnentalud aanwezig is. Indien geen kleilaag, dan dient taludhelling binnentalud minimaal 1:4,5 te zijn (ter voorkomen van STMI/uitspoelen van zand).</p>	-	Mogelijk bijdrage aan faalkans
Bebouwing op kruin	<p>a: Naast (rondom) bebouwing ontstaat een erosiekul door stromingsconcentratie van langsstromend water en de afwezigheid van goede bekleding.</p> <p>b: De erosiekul zorgt voor een gat in de bekleding, waardoor water gemakkelijker kan infiltreren. Hierdoor kan de freatische waterstand in de kering toenemen (bij lagere buitenwaterstanden hogere freatische lijn).</p> <p>c: Een hoge waterstand, waterdruk en golfbelasting zorgt voor grotere kans op erosie/afschuiving van bekleding op kruin en binnentalud.</p>	<p>Een erosiekul en/of ontgrondingskul rondom bebouwing heeft groot gevolg voor erosiebestendigheid van bekleding op kwetsbaar gedeelte van de kering.</p> <p>Er is een geringe hoeveelheid 'afstand' tot buitenkruinlijn aanwezig voor migratie van de erosiekul richting het de hoge rivierwaterstand.</p> <p>Materialisatie van bekleding en/of kernmateriaal heeft hier weinig invloed. Wel zal de plaats van de bebouwing op de kruin (wellicht overhoogte aanwezig) en het wel/niet aanwezig zijn van wegverharding op kruin zijn overwegingen/filters die beschouwd zouden kunnen worden.</p>	<p>De lokale situatie (materialisatie, aanwezigheid van verhardingen en aansluiting van bekleding op bebouwing, aanwezigheid van functiescheidende (damwand)schermen, mate van overhoogte tov naastgelegen dijkstrekking, grootte de de duur van het overslag zal moeten worden meegenomen in het faalpad dat uiteindelijk tot falen zal leiden.</p>	Mogelijk bijdrage aan faalkans
Bebouwing op binnentalud	<p>a: Naast (rondom) bebouwing ontstaat een erosiekul door stromingsconcentratie van langsstromend water en de afwezigheid van goede bekleding.</p> <p>b: De erosiekul zorgt voor een gat in de bekleding van het binnentalud, waardoor water gemakkelijker kan infiltreren. Hierdoor kan de freatische waterstand in de kering toenemen (bij lagere buitenwaterstanden hogere freatische lijn).</p> <p>c: Een hoge waterstand, waterdruk en golfbelasting zorgt voor grotere kans op erosie/afschuiving van bekleding op kruin en binnentalud.</p>	<p>Een erosiekul en/of ontgrondingskul rondom bebouwing heeft groot gevolg voor erosiebestendigheid van bekleding op kwetsbaar gedeelte van de kering.</p> <p>Er is een geringe hoeveelheid 'afstand' tot buitenkruinlijn aanwezig voor migratie van de erosiekul richting het de hoge rivierwaterstand.</p> <p>Materialisatie van bekleding en/of kernmateriaal heeft invloed. Ook zal de plaats van de bebouwing op het binnentalud (wellicht overhoogte aanwezig) en het wel/niet aanwezig zijn van wegverharding op kruin zijn overwegingen/filters die beschouwd zouden kunnen worden.</p>	<p>Dit faalpad is voor groot gedeelte gelijk aan die t.b.v. dijkversterking TWa is beschouwd (erosie rondom bebouwing - dijkvak 17) --> resultaat is dat faalkans bepaald wordt door erosiebestendigheid van dijkmateriaal (kern en toplaag).</p>	Mogelijk bijdrage aan faalkans
Bebouwing op berm	<p>a: Naast (rondom) bebouwing ontstaat een erosiekul door stromingsconcentratie van langsstromend water en de afwezigheid van goede bekleding.</p> <p>b: De erosiekul zorgt voor een gat in de bekleding, waardoor water gemakkelijker kan infiltreren. Hierdoor kan de freatische waterstand in de kering toenemen (bij lagere buitenwaterstanden hogere freatische lijn).</p> <p>c: Een hoge waterstand, waterdruk en golfbelasting zorgt voor grotere kans op erosie/afschuiving van bekleding op kruin en binnentalud.</p>	<p>Een erosiekul en/of ontgrondingskul rondom bebouwing heeft groot gevolg voor erosiebestendigheid van bekleding op kwetsbaar gedeelte van de kering.</p> <p>De 'afstand' tot de buitenkruinlijn is groot, hierdoor zal voortschrijdende erosie lang duren voordat de buitenkruin is bereikt. Daar is een lange duur van intensieve belasting/golfoverslag voor nodig; kans op bres zeer beperkt!</p> <p>Materialisatie van bekleding en/of kernmateriaal heeft invloed. Andere overwegingen/filters die beschouwd moeten worden zijn de plaats van de bebouwing op de berm (wellicht overhoogte aanwezig) en het al dan niet aanwezig zijn van wegverharding op de kruin.</p>	<p>De lokale situatie zoals materialisatie van de kering, aanwezigheid van verhardingen en aansluiting van bekleding op bebouwing, aanwezigheid van functiescheidende (damwand)schermen, mate van overhoogte tov naastgelegen dijkstrekking, grootte en duur van het overslag zal moeten worden meegenomen in de analyse van het maatgevende faalpad.</p> <p>Dit faalpad is voor groot gedeelte gelijk aan die t.b.v. dijkversterking TWa is beschouwd (erosie rondom bebouwing - dijkvak 17) --> resultaat is dat faalkans bepaald wordt door erosiebestendigheid van dijkmateriaal (kern en toplaag).</p>	Mogelijk bijdrage aan faalkans
Bebouwing in achterland	<p>a: Naast (rondom) bebouwing ontstaat een erosiekul door stromingsconcentratie van langsstromend water en de afwezigheid van goede bekleding.</p> <p>b: De erosiekul zorgt voor een gat in de bekleding, waardoor water gemakkelijker kan infiltreren. Hierdoor kan de freatische waterstand in de kering toenemen (bij lagere buitenwaterstanden hogere freatische lijn).</p> <p>c: Een hoge waterstand, waterdruk en golfbelasting zorgt voor grotere kans op erosie/afschuiving van bekleding op kruin en binnentalud.</p>	<p>Een erosiekul en/of ontgrondingskul rondom bebouwing heeft groot gevolg voor erosiebestendigheid van bekleding op kwetsbaar gedeelte van de kering. Echter stroomsnelheden van overstaand water nemen hier snel af, waardoor de kans op het ontstaan van erosie ook snel kleiner wordt.</p> <p>De 'afstand' tot de buitenkruinlijn is groot, hierdoor zal voortschrijdende erosie lang duren voordat de buitenkruin is bereikt. Daar is een lange duur van intensieve belasting/golfoverslag voor nodig; kans op bres zeer beperkt!</p>	-	Geen faalkansbijdrage

De faalkans verkleint naarmate de erosiekul rondom bebouwing op grotere afstand van de buitenkruinlijn ontstaat, omdat een grotere mate van voortschrijdende (headcut) erosie zal moeten plaatsvinden voordat dijk is gebaald!

Type NWO: **Bebouwing**
 Faalmechanisme: **Erosie bekleding (GEKB, GABI, STMI)**
 Initele gebeurtenis: **Bebouwing intact**

ALGEMEEN

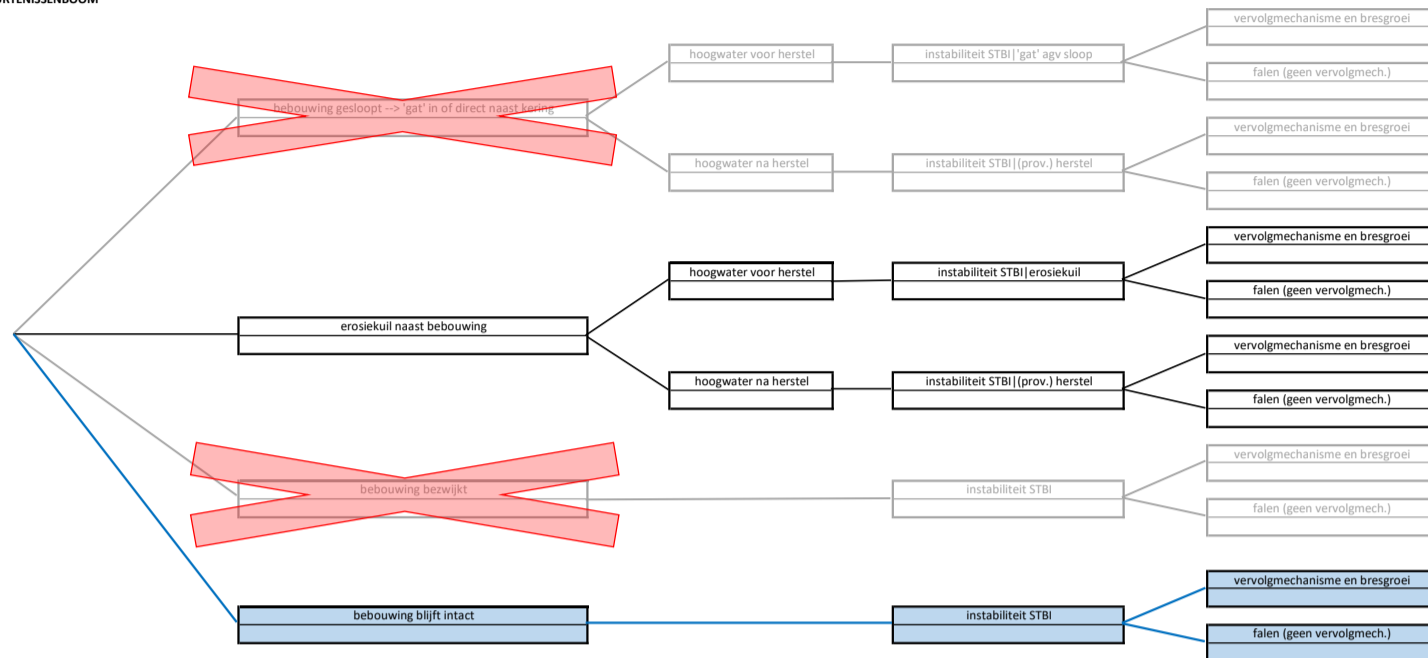
Voor de initiele gebeurtenis 'bebouwing gesloopt', waardoor een 'gat' in de kering aanwezig is net voorafgaand aan of tijdens een hoogwaterperiode, wordt (in overleg met beheerders) gesteld dat dit een verwaarloosbare kans van optreden heeft binnen het beheergebied van WSRL. Dit omdat al ruim voordat hoge waterstanden plaatsvinden, de eerste inspectieronden (naast de dagelijkse inspectie) worden ingezet. Indien dergelijke situaties dan worden geconstateerd (afgezien van dat hiervoor normaal gesproken al vergunning bij het waterschap moet zijn aangevraagd) is er voldoende tijd om herstelmaatregelen uit te voeren, zodat de kering weer op orde is en voldoende veilig het hoogwater kan keren. Deze initiele gebeurtenis is derhalve niet verder beschouwd.

Voor de initiele gebeurtenis 'bebouwing bezwijkt' in aanloop van, tijdens of na hoogwater is gesteld dat dit een verwaarloosbare kans van optreden heeft. Dit omdat bebouwing ook aan de nodige wet- en regelgeving (bouwbesluit) moet voldoen. Daarnaast zal een bezwiken gebouw (bv. door instorting of door brand) niet direct weggehaald worden (of juist actief verder worden afgebroken). De puinresten hebben niet direct een nadelige invloed op de waterkering. Langsstromend water dat tot erosie leidt wordt onder het initiele gebeurtenis 'erosiekul naast bebouwing' meegenomen.

Indien gebouw intact is en blijft tijdens periode van hoogwater, heeft deze (afhankelijk van positie in dijkklichaam) een positief of negatief effect, afhankelijk van met name het eigen gewicht van de bebouwing en het type fundering.

Het funderingstype, de aanwezige kruipruimten en/of kelders met of zonder een vaste (betonnen) vloer van gebouwen, is in een aantal situaties niet bekend. Afhankelijk van de zone waarin de bebouwing aanwezig is, vraagt dit om nader onderzoek of veldinspecties.

GEBEURTENISBOOM



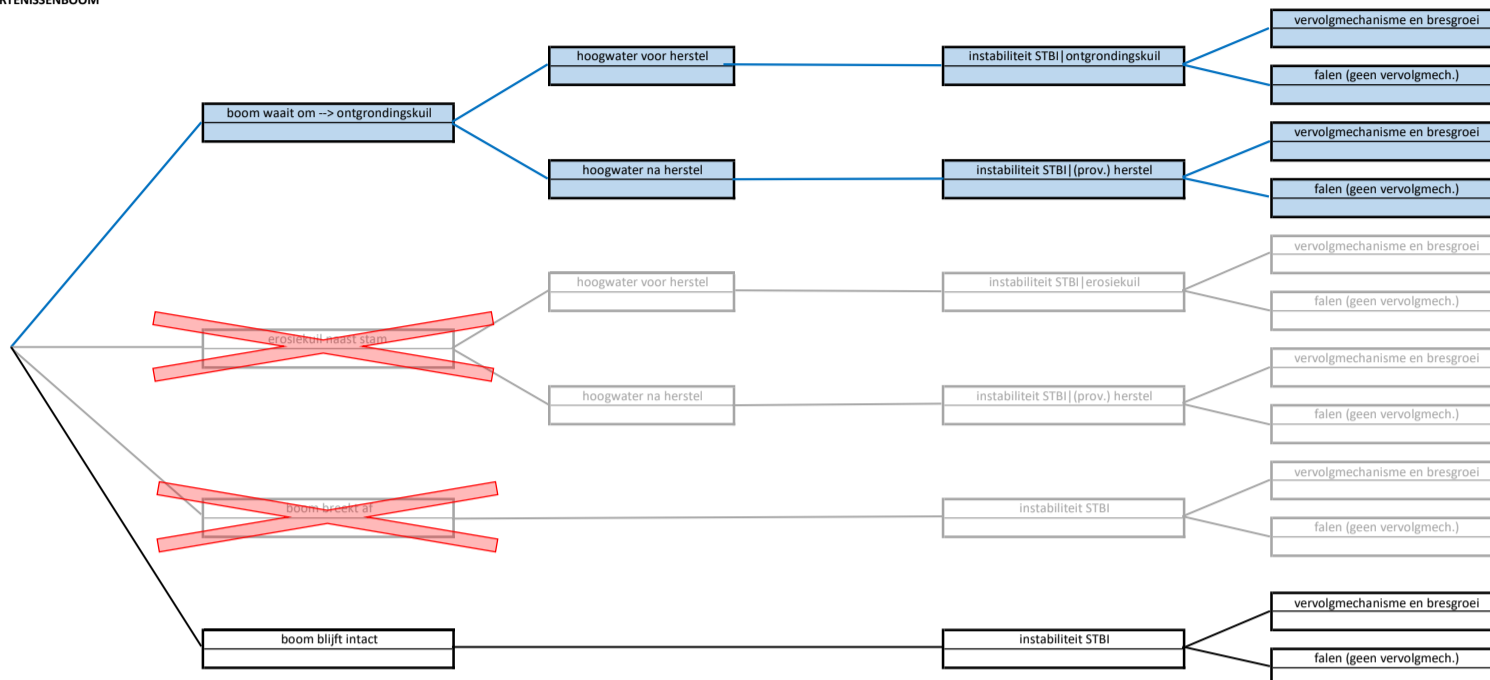
NARRATIEF, OVERWEGINGEN, VERVOLGACTIES EN RESULTAAT PER ZONE

Zone	Narratief	Overwegingen	Vervolgactie(s)	Resultaat
Bebouwing op voorland	<p>Narratief</p> <p>a: Bebouwing is aanwezig in aanloop naar en tijdens hoogwaterperiode.</p> <p>b: Bebouwing heeft effect op ontstaan van (golf)belasting op de kering.</p> <p>c: Kans op erosie van kruin en binnentalud zal door bebouwing niet toenemen.</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Bebouwing verandert nauwelijks iets aan freatische lijn en/of stijghoogteverloop in ondergrond.</p> <p>Bebouwing heeft positief effect op (golf)belasting op kering, wat veelal niet in rekening wordt gebracht --> demping zorgt voor kleinere golven en minder golfoverslag en daarmee op een kleinere kans op erosie van kruin en binnentalud.</p> <p>Aanwezigheid van functiescheidende (damwand)schermen hebben zeer groot positief effect (filter).</p>	-	Geen faalkansbijdrage
Bebouwing op buitentalud	<p>Narratief</p> <p>a: Bebouwing is aanwezig in aanloop naar en tijdens hoogwaterperiode.</p> <p>b: Bebouwing heeft effect op ontstaan van (golf)belasting op de kering.</p> <p>c: Kans op erosie van kruin en binnentalud zal door bebouwing niet toenemen.</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Bebouwing verandert nauwelijks iets aan freatische lijn en/of stijghoogteverloop in ondergrond.</p> <p>Bebouwing heeft positief effect op (golf)belasting op kering, wat veelal niet in rekening wordt gebracht --> demping zorgt voor kleinere golven en minder golfoverslag en daarmee op een kleinere kans op erosie van kruin en binnentalud.</p> <p>Aanwezigheid van functiescheidende (damwand)schermen hebben zeer groot positief effect (filter).</p>	-	Geen faalkansbijdrage
Bebouwing op kruin	<p>Narratief</p> <p>a: Bebouwing is aanwezig in aanloop naar en tijdens hoogwaterperiode.</p> <p>b: Verhoogde waterstanden hebben invloed op stromingsconcentratie rondom bebouwing.</p> <p>c: Kans op erosie van kruin en binnentalud zal door bebouwing toenemen (zie ook initiele gebeurtenis 'erosiekul').</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Bebouwing verandert nauwelijks iets aan freatische lijn en/of stijghoogteverloop in ondergrond.</p> <p>Bebouwing heeft positief effect op (golf)belasting op kering, wat veelal niet in rekening wordt gebracht --> demping zorgt voor kleinere golven en minder golfoverslag en daarmee op een kleinere kans op erosie van kruin en binnentalud. Daarentegen zal bebouwing ook een nadelig effect hebben op de ontwikkeling van de grasmat op kruin en binnentalud (schaduwwerking).</p> <p>Aanwezigheid van functiescheidende (damwand)schermen hebben zeer groot positief effect (filter).</p>	<p>Vervolgactie(s)</p> <p>De lokale situatie (materialisatie, aanwezigheid van verhardingen en aansluiting van bekleding op bebouwing, aanwezigheid van functiescheidende (damwand)schermen, mate van overhoogte tov naastgelegen dijkstrekking, grootte de de duur van het overslag zal moeten worden meegenomen in het faalpad dat uiteindelijke tot falen zal leiden.</p>	Mogelijk bijdrage aan faalkans
Bebouwing op binnentalud	<p>Narratief</p> <p>a: Bebouwing is aanwezig in aanloop naar en tijdens hoogwaterperiode.</p> <p>b: Kans op erosie van kruin en binnentalud zal door bebouwing toenemen (zie ook initiele gebeurtenis 'erosiekul').</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Bebouwing verandert niets aan freatische lijn en/of stijghoogteverloop in ondergrond.</p> <p>De bebouwing heeft nadelig effect hebben op de ontwikkeling van de grasmat op kruin en binnentalud (schaduwwerking), daarnaast zijn veel tuintjes, paden en andere obstakels rondom woningen aanwezig.</p> <p>Aanwezigheid van functiescheidende (damwand)schermen hebben zeer groot positief effect (filter).</p>	<p>Vervolgactie(s)</p> <p>De lokale situatie zoals materialisatie van de kering, aanwezigheid van verhardingen en aansluiting van bekleding op bebouwing, aanwezigheid van functiescheidende (damwand)schermen, mate van overhoogte tov naastgelegen dijkstrekking, grootte en duur van het overslag zal moeten worden meegenomen in de analyse van het maatgevende faalpad.</p>	Mogelijk bijdrage aan faalkans
Bebouwing op berm	<p>Narratief</p> <p>a: Bebouwing is aanwezig in aanloop naar en tijdens hoogwaterperiode.</p> <p>b: Kans op erosie van kruin en binnentalud zal door bebouwing toenemen (zie ook initiele gebeurtenis 'erosiekul').</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Bebouwing verandert niets aan freatische lijn en/of stijghoogteverloop in ondergrond.</p> <p>De bebouwing heeft nadelig effect hebben op de ontwikkeling van de grasmat op kruin en binnentalud (schaduwwerking), daarnaast zijn veel tuintjes, paden en andere obstakels rondom woningen aanwezig.</p> <p>Er is een geringe hoeveelheid 'afstand' tot buitenkruinlijn aanwezig voor migratie van de erosiekul richting het hoge rivierwaterstand. Ook de aanwezigheid van functiescheidende (damwand)schermen zal zeer groot positief effect (filter) tot gevolg hebben.</p>	<p>Vervolgactie(s)</p> <p>De lokale situatie zoals materialisatie van de kering, aanwezigheid van verhardingen en aansluiting van bekleding op bebouwing, aanwezigheid van functiescheidende (damwand)schermen, mate van overhoogte tov naastgelegen dijkstrekking, grootte en duur van het overslag zal moeten worden meegenomen in de analyse van het maatgevende faalpad.</p>	Mogelijk bijdrage aan faalkans
Bebouwing in achterland	<p>Narratief</p> <p>a: Bebouwing is aanwezig in aanloop naar en tijdens hoogwaterperiode.</p> <p>b: Kans op erosie van kruin en binnentalud zal door bebouwing niet toenemen (zie ook initiele gebeurtenis 'erosiekul').</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Opgemerkt wordt dat het maaiveldniveau rondom bebouwing in het achterland veelal een hoger niveau heeft dan omliggend achterland (i.v.m. drooglegging fundering).</p> <p>Een erosiekul en/of ontgrondingskuil rondom bebouwing heeft groot gevolg voor erosiebestendigheid van bekleding op kwetsbaar gedeelte van de kering. Echter stroomsnelheden van overslaand water nemen hier snel af, waardoor de kans op het ontstaan van erosie ook snel kleiner wordt.</p> <p>De 'afstand' tot de buitenkruinlijn is groot, hierdoor zal voortschrijdende erosie lang duren voordat de buitenkruin is bereikt. Daar is een lange duur van intensieve belasting/golfoverslag voor nodig: kans op bres zeer beperkt!</p>	-	Geen faalkansbijdrage

Type NWO: Bomen / Begroeiing
 Faalmechanisme: Erosie bekleding (GEKB, GABI, STMI)
 Initele gebeurtenis: Ontgrondingskuil (boom waait om)

ALGEMEEN
 Voor het mechanisme Erosie (van bekleding) is er geen verschil te verwachten tussen de effecten van een solitaire boom, boomgroep of rij. Erosie zal het eerst ontstaan op een plek waar sprake is van stromingsconcentratie.
 Indien boom intact is (en blijft tijdens periode van hoogwater), heeft dit eenzelfde effect op dit mechanisme. Wel heeft het aanwezige wortelgestel wellicht een gering positief invloed op het ontstaan van een erosiekuil.
 In geval van het ontstaan van een erosiekuil, moet er 'eerst' een grote hoeveelheid water langs het NWO gaan stromen, daar is extreem veel neerslag en/of groot overslagdebiet voor nodig. Dit wordt een orde minder waarschijnlijk geacht dan de kans op een ontworteling. (Voor analyse van erosiekuil zal overigens grofweg hetzelfde gelden als voor ontgrondingskuil)

GEBEURTENISSENBOOM



NARRATIEF, OVERWEGINGEN, VERVOLGACTIES EN RESULTAAT PER ZONE

Zone	Narratief	Overwegingen	Vervolgactie(s)	Resultaat
Boom op voorland	<p>Narratief</p> <p>a: Een of meerdere bomen waaien om in voorland, waardoor een ontgrondingskuil ontstaat.</p> <p>b: Een ontgrondingskuil zorgt niet voor een grotere belasting en daarmee grotere golfoverslag.</p> <p>c: De kans op het bezwijken van de bekleding neemt toe (grotere faalkans bij lagere buitenwaterstand/golfoverslag).</p> <p>d: Erosie van bekleding op kruin en/of binnentalud leidt direct/indirect tot bresgroei.</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Een ontwortelde boom in voorland zal niet tot grotere golfbelasting op kruin en binnentalud leiden.</p>	-	Geen faalkansbijdrage
Boom in binnentalud	<p>Narratief</p> <p>a: Een of meerdere bomen waaien om in voorland, waardoor een ontgrondingskuil ontstaat .</p> <p>b: Een ontgrondingskuil zorgt niet voor een grotere belasting en daarmee grotere golfoverslag.</p> <p>c: De kans op het bezwijken van de bekleding neemt toe (grotere faalkans bij lagere buitenwaterstand/golfoverslag).</p> <p>d: Erosie van bekleding op kruin en/of binnentalud leidt direct/indirect tot bresgroei.</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Een ontwortelde boom op het binnentalud zal geen (merkbaar) effect op golfbelasting, golfoverslag op kruin en binnentalud hebben.</p>	-	Geen faalkansbijdrage
Boom op kruin	<p>Narratief</p> <p>a: Een of meerdere bomen op kruin waait om, waardoor een ontgrondingskuil ontstaat.</p> <p>b: De ontgrondingskuil zorgt voor gat in bekleding (van de kruin) wat een aangrijpingspunt voor doorgaande erosie zal kunnen zijn.</p> <p>c: Kans op bezwijken van bekleding (GABI, GEKB, STMI) neemt toe (grotere faalkans bij lagere buitenwaterstand/golfbelasting).</p> <p>d: Erosie van bekleding en/of van het kernmateriaal leidt direct of indirect tot bresgroei.</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Erosiebestendigheid van toplaag en dijksmateriaal belangrijk (klei is beter erosiebestendig dan zandig kernmateriaal).</p> <p>Bij ontstaan van ontgrondingskuil op kruin is maar beperkte afstand beschikbaar voor voortschrijdende erosie richting buitenkruinlijn.</p> <p>Locatie van boom op kruin, en het wel/niet aanwezig zijn van een kruinverharding (wegverharding) zijn overwegingen/filters.</p> <p>Ook grootte, duur en de kans van optreden van het overslagdebiet zijn bepalend voor faalkans.</p>	<p>Vervolgactie(s)</p> <p>Kans op overslag, duur en grootte van overslagdebiet zal moeten worden bepaald. Daarnaast moet materialisatie van bekleding en kernmateriaal goed in beeld zijn om afwegingen te kunnen maken.</p>	Mogelijk bijdrage aan faalkans voor boomgroep/rij
Boom op binnentalud	<p>Narratief</p> <p>a: Een of meerdere bomen op kruin waait om, waardoor een ontgrondingskuil ontstaat.</p> <p>b: De ontgrondingskuil zorgt voor gat in bekleding (van binnentalud) wat een aangrijpingspunt voor doorgaande erosie kan zijn.</p> <p>c: Kans op bezwijken van bekleding (GABI, GEKB, STMI) neemt toe (grotere faalkans bij lagere buitenwaterstand/golfbelasting).</p> <p>d: Erosie van bekleding en/of van het kernmateriaal leidt direct of indirect tot bresgroei.</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Erosiebestendigheid van toplaag en dijksmateriaal belangrijk (klei is beter erosiebestendig dan zandig kernmateriaal).</p> <p>Bij ontstaan van ontgrondingskuil op binnentalud is beperkte afstand beschikbaar voor voortschrijdende erosie richting buitenkruinlijn.</p> <p>Locatie van boom op binnentalud (boven of onderin talud) en het wel/niet aanwezig zijn van een kruinverharding (wegverharding) zijn overwegingen/filters.</p> <p>Ook grootte, duur en de kans van optreden van het overslagdebiet zijn bepalend voor faalkans.</p>	<p>Vervolgacties</p> <p>Kans op overslag, duur en grootte van overslagdebiet zal moeten worden bepaald. Daarnaast moet materialisatie van bekleding en kernmateriaal goed in beeld zijn om afwegingen te kunnen maken. Dit faalpad is voor groot gedeelte gelijk aan degene die in TIWa is beschouwd (erosie rondom groep bebouwing - dijkvak 17)--> resultaat is dat faalkans bepaald wordt door erosiebestendigheid van dijksmateriaal (kern en toplaag).</p>	Mogelijk bijdrage aan faalkans voor boomgroep/rij
Boom op berm	<p>Narratief</p> <p>a: Een of meerdere bomen op kruin waait om, waardoor een ontgrondingskuil ontstaat.</p> <p>b: De ontgrondingskuil zorgt voor gat in bekleding (op binnenberm) wat een aangrijpingspunt voor doorgaande erosie kan zijn.</p> <p>c: Kans op bezwijken van bekleding (GABI, GEKB, STMI) neemt toe (grotere faalkans bij lagere buitenwaterstand/golfbelasting).</p> <p>d: Erosie van bekleding en/of van het kernmateriaal leidt direct of indirect tot bresgroei.</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Erosiebestendigheid van toplaag en dijksmateriaal belangrijk (klei is beter erosiebestendig dan zandig kernmateriaal).</p> <p>Bij ontstaan van ontgrondingskuil op binnenberm wordt afstand naar buitenkruin groter ten opzichte van binnentalud(ook stroomsnelheden zullen afnemen). Er is dus meer ruimte beschikbaar voor voortschrijdende erosie richting buitenkruinlijn.</p> <p>Geometrie van kruin en taludhelling (boven berm) bepalend.</p>	<p>Vervolgacties</p> <p>Kans op overslag, duur en grootte van overslagdebiet zal moeten worden bepaald. Daarnaast moet materialisatie van bekleding en kernmateriaal goed in beeld zijn om afwegingen te kunnen maken. Dit faalpad is voor groot gedeelte gelijk aan degene die in TIWa is beschouwd (erosie rondom groep bebouwing - dijkvak 17)--> resultaat is dat faalkans bepaald wordt door erosiebestendigheid van dijksmateriaal (kern en toplaag).</p>	Mogelijk bijdrage aan faalkans voor boomgroep/rij
Boom in achterland	<p>Narratief</p> <p>a: Een of meerdere bomen op kruin waait om, waardoor een ontgrondingskuil ontstaat.</p> <p>b: De ontgrondingskuil zorgt voor gat in bekleding (op binnenberm) wat een aangrijpingspunt voor doorgaande erosie kan zijn.</p> <p>c: kans op bezwijken van bekleding (GABI, GEKB, STMI) neemt toe (grotere faalkans bij lagere buitenwaterstand/golfbelasting).</p> <p>d: Erosie van bekleding en/of van het kernmateriaal leidt direct of indirect tot bresgroei is onwaarschijnlijk.</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Erosiebestendigheid van toplaag en dijksmateriaal belangrijk (klei is beter erosiebestendig dan zandig kernmateriaal).</p> <p>Bij ontstaan van ontgrondingskuil in achterland is afstand tot buitenkruin groot (ook stroomsnelheden zullen sterk afnemen). Er is daardoor een zeer kleine kans op voortschrijdende erosie richting buitenkruinlijn.</p>	-	Geen faalkansbijdrage

De faalkans verkleint naarmate de boom op grotere afstand van de buitenkruinlijn omwaait, omdat een grotere mate van voortschrijdende (headcut) erosie moet plaatsvinden voordat dijk is gefaald!

Type NWO: Bomen / Begroeiing
Faalmechanisme: Erosie bekleding (GEKB, GABI, STMI)
Initele gebeurtenis: Boom is/blijft intact

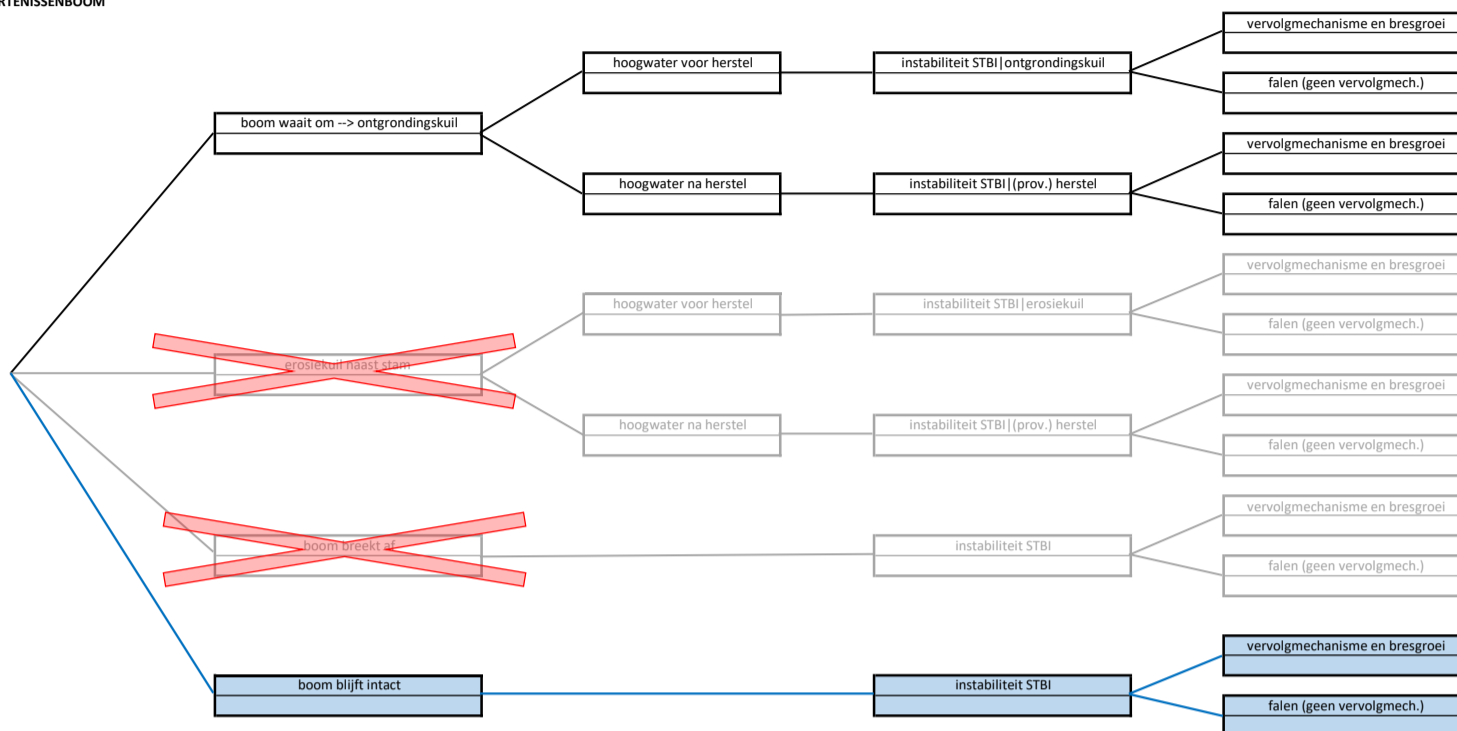
ALGEMEEN

Voor het mechanisme Erosie (van bekleding) is er geen verschil te verwachten tussen de effecten van een solitaire boom, boomgroep of rij. Erosie zal het eerst ontstaan op een plek waar sprake is van stromingsconcentratie.

Indien boom intact is (en blijft tijdens periode van hoogwater), heeft dit eenzelfde effect op dit mechanisme. Wel heeft het aanwezige wortelgestel wellicht een gering positief invloed op het ontstaan van een erosiekuil.

In geval van het ontstaan van een erosiekuil, moet er 'eerst' een grote hoeveelheid water langs het NWO gaan stromen. Daar is extreem veel neerslag en/of groot overslagdebiet voor nodig. Dit wordt een orde minder waarschijnlijk geacht dan de kans op een ontworteling. (Voor analyse van erosiekuil zal overigens grofweg hetzelfde als voor ontgrondingskuil).

GEBEURTENISSENBOOM



NARRATIEF, OVERWEGINGEN, VERVOLGACTIES EN RESULTAAT PER ZONE

Zone	Narratief	Overwegingen	Vervolgacties	Resultaat
Boom op voorland	<p>Narratief</p> <p>a: Begroeiing is aanwezig in aanloop naar en tijdens hoogwater.</p> <p>b: De begroeiing (bomen, struiken) heeft in potentie een positief effect op (golf)belasting op waterkering (iets wat veelal niet in rekening wordt gebracht).</p> <p>c: Begroeiing heeft geen nadelig effect op erosie van kruin en binnentalud.</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Begroeiing zou voor demping van golfbelasting (en daarmee golfoverslag) kunnen leiden en daarmee de kans op erosie van kruin en binnentalud verkleinen.</p>	-	<p>Resultaat</p> <p>Geen faalkansbijdrage</p>
Boom in buitentalud	<p>Narratief</p> <p>a: Begroeiing is aanwezig in aanloop naar en tijdens hoogwater.</p> <p>b: De begroeiing (bomen, struiken) heeft in potentie een positief effect op (golf)belasting op waterkering (iets wat veelal niet in rekening wordt gebracht).</p> <p>c: Begroeiing heeft in potentie een nadelig effect op erosie van kruin en binnentalud.</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Begroeiing zou voor demping van golfbelasting (en daarmee golfoverslag) kunnen leiden en daarmee de kans op erosie van kruin en binnentalud verkleinen.</p> <p>Schaduwwerking van begroeiing kan nadelig effect hebben op de ontwikkeling van de sterkte van de grasbekleding.</p>	<p>Vervolgacties</p> <p>Kans op overslag, duur en grootte van overslagdebiet zal moeten worden bepaald. Daarnaast moet materialisatie van bekleding en kernmateriaal goed in beeld zijn om afwegingen te kunnen maken.</p>	<p>Resultaat</p> <p>Mogelijk bijdrage aan faalkans voor boomgroep/rij</p>
Boom op kruin	<p>Narratief</p> <p>a: Begroeiing is aanwezig in aanloop naar en tijdens hoogwater.</p> <p>b: De begroeiing (bomen, struiken) heeft in potentie een positief effect op (golf)belasting op waterkering (iets wat veelal niet in rekening wordt gebracht).</p> <p>c: Begroeiing kan nadelig effect hebben op de ontwikkeling van de grasbekleding op de kruin.</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Schaduwwerking van begroeiing kan nadelig effect hebben op de ontwikkeling van de sterkte van de grasbekleding.</p> <p>Voordelen van grondwapening door wortelgestel zal alleen rondom bv. stam aanwezig zijn. Nadelig effect van schaduwwerking is veelal groter.</p>	<p>Vervolgacties</p> <p>Kans op overslag, duur en grootte van overslagdebiet zal moeten worden bepaald. Daarnaast moet materialisatie van bekleding en kernmateriaal goed in beeld zijn om afwegingen te kunnen maken.</p>	<p>Resultaat</p> <p>Mogelijk bijdrage aan faalkans voor boomgroep/rij</p>
Boom op binnentalud	<p>Narratief</p> <p>a: Begroeiing is aanwezig in aanloop naar en tijdens hoogwater.</p> <p>b: Begroeiing kan nadelig effect hebben op de ontwikkeling van de grasbekleding op de kruin.</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Schaduwwerking van begroeiing kan nadelig effect hebben op de ontwikkeling van de sterkte van de grasbekleding.</p> <p>Voordelen van grondwapening door wortelgestel zal alleen rondom bv. stam aanwezig zijn. Nadelig effect van schaduwwerking is veelal groter.</p>	<p>Vervolgacties</p> <p>Kans op overslag, duur en grootte van overslagdebiet zal moeten worden bepaald. Daarnaast moet materialisatie van bekleding en kernmateriaal goed in beeld zijn om afwegingen te kunnen maken.</p>	<p>Resultaat</p> <p>Mogelijk bijdrage aan faalkans voor boomgroep/rij</p>
Boom op berm	<p>Narratief</p> <p>a: Begroeiing is aanwezig in aanloop naar en tijdens hoogwater.</p> <p>b: Begroeiing kan nadelig effect hebben op de ontwikkeling van de grasbekleding op de kruin.</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Schaduwwerking van begroeiing kan nadelig effect hebben op de ontwikkeling van de sterkte van de grasbekleding.</p> <p>Voordelen van grondwapening door wortelgestel zal alleen rondom bv. stam aanwezig zijn. Nadelig effect van schaduwwerking is veelal groter.</p>	<p>Vervolgacties</p> <p>Kans op overslag, duur en grootte van overslagdebiet zal moeten worden bepaald. Daarnaast moet materialisatie van bekleding en kernmateriaal goed in beeld zijn om afwegingen te kunnen maken.</p>	<p>Resultaat</p> <p>Mogelijk bijdrage aan faalkans voor boomgroep/rij</p>
Boom in achterland	<p>Narratief</p> <p>a: Begroeiing is aanwezig in aanloop naar en tijdens hoogwater.</p> <p>b: Begroeiing kan nadelig effect hebben op de ontwikkeling van de grasbekleding op de kruin.</p> <p>c: Ter plaatse van het achterland zal de begroeiing geen invloed hebben op schade aan de bekleding ter plaatse, omdat kans op grote stroomsnelheden klein is.</p> <p>d: Begroeiing heeft in potentie een nadelig effect op erosie van kruin en binnentalud.</p>	<p>Overwegingen</p> <p>Schaduwwerking van begroeiing kan nadelig effect hebben op de ontwikkeling van de sterkte van de grasbekleding.</p> <p>Voordelen van grondwapening door wortelgestel zal alleen rondom bv. stam aanwezig zijn. Nadelig effect van schaduwwerking is veelal groter.</p> <p>Stroomsnelheden zullen zo laag zijn en afstand tot buitenkruin zo groot dat geen faalkansbijdrage verwacht wordt.</p>	-	<p>Resultaat</p> <p>Geen faalkansbijdrage</p>

**Bijlage 2. Toelichting en uitwerking faalpad:
Boomgroep in achterland i.r.t. Macrostabieleit binnenwaarts
(Dijkvak 23, dijkversterking Tiel-Waardenburg)**

Toelichting en uitwerking faalpad 6a (boomgroep in zone 6 – macrostabiliteit binnenwaarts)

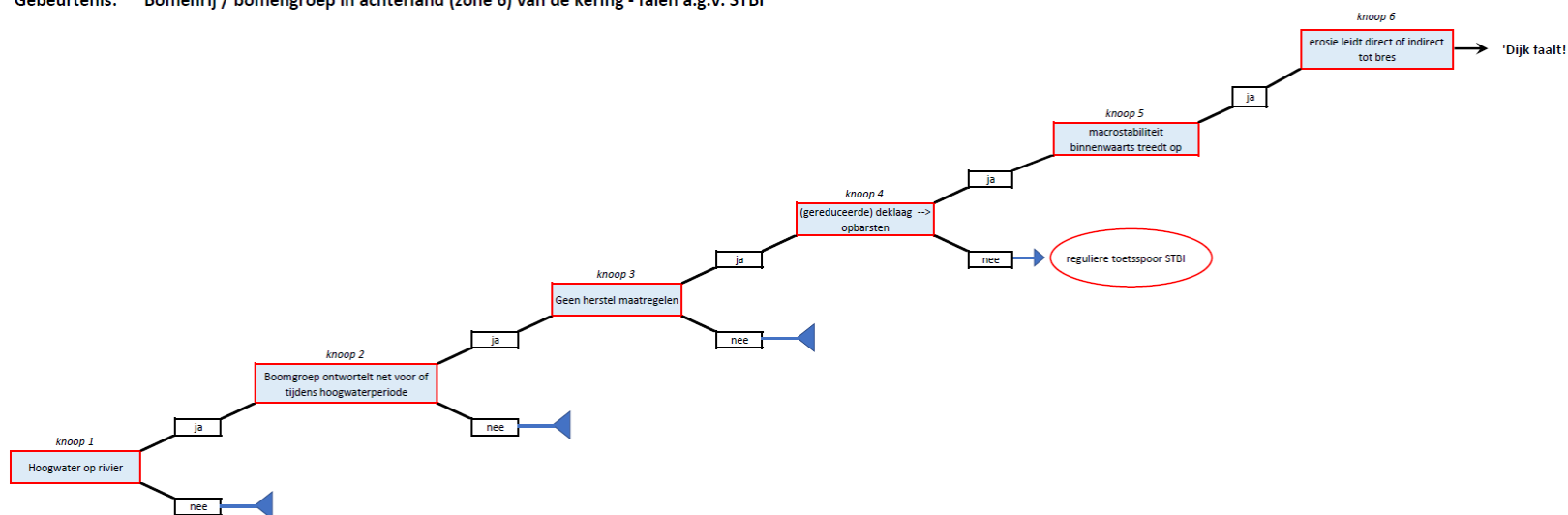
Beschouwd dijkvak: dijkvak 23

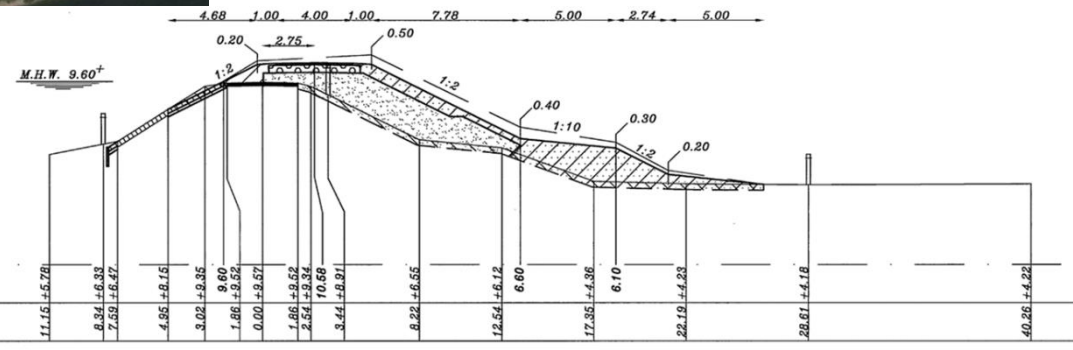
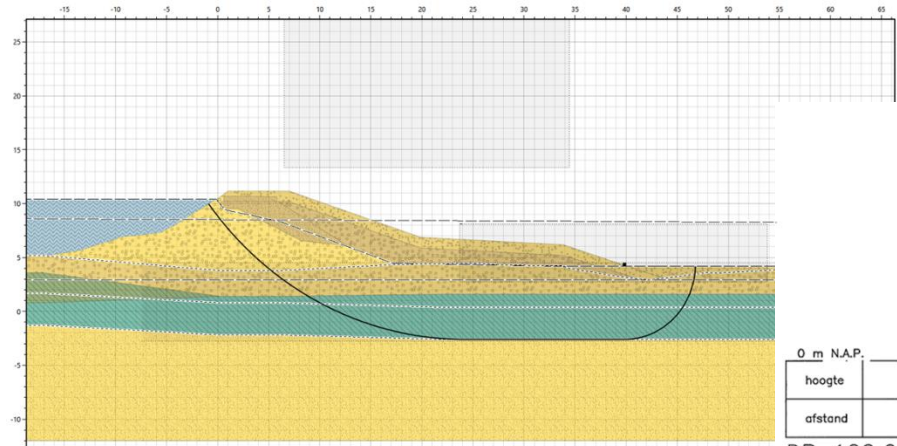
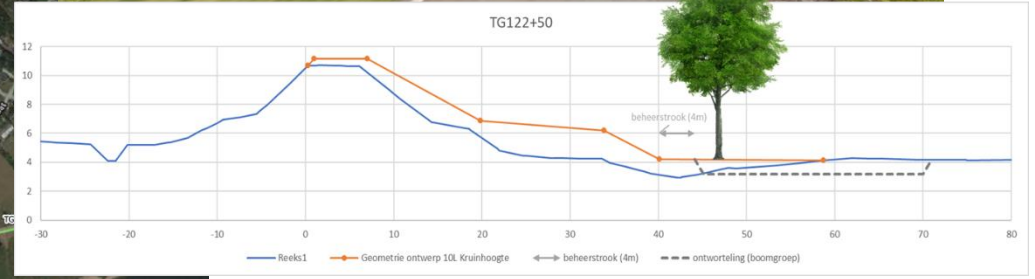
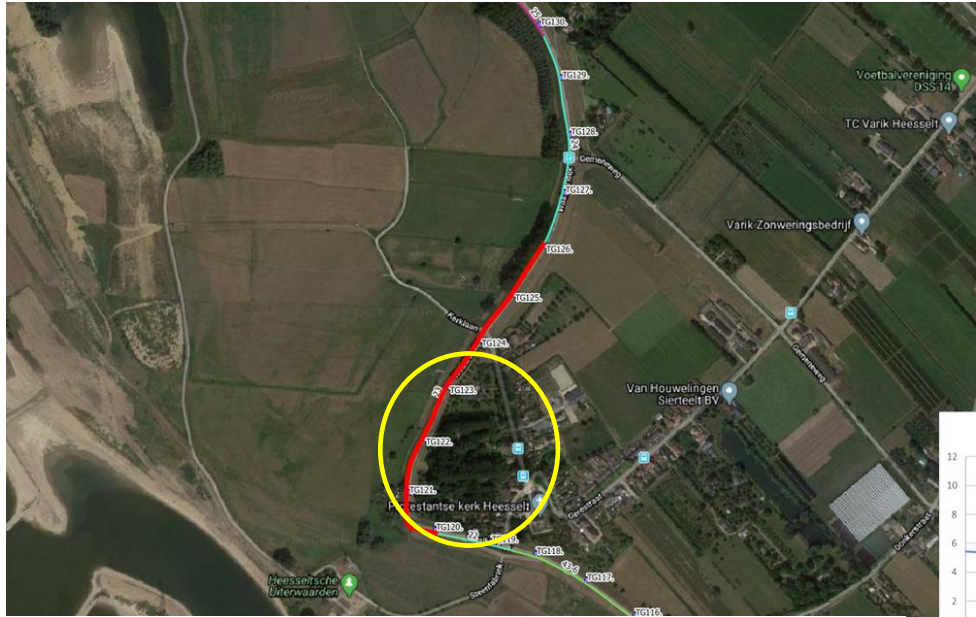
Traject: TG120+00m – TG127+00m

Boomgroep is aanwezig in aanloop naar een hoogwaterperiode

Meerdere bomen uit een boomgroep ontwortelen net voor of tijdens een hoogwaterperiode. Als gevolg van de hoge waterstanden stijgt ook de freatische waterstand in de kering en de stijghoogte in de watervoerende zandlaag. De bomen worden niet verwijderd en/of het maaiveld wordt niet hersteld. Als gevolg van de ontworteling reduceert de deklaagdikte en daarmee ook het gewicht van de deklaag, waardoor opbarsten van deze deklaag ontstaat. Als gevolg van opbarsten en de reductie van de passieve weerstand van het glijvlak, schuift het binnentalud van de waterkering af. Afhankelijk van de grootte van het glijvlak zal hierdoor ofwel direct de kruin van de kering dalen, waardoor een bres is ontstaan of zal er als gevolg van vervolgmecanismen (tweede afschuiving en/of erosieprocessen) een bres ontstaan. Deze bres leidt tot een overstroming van het achterliggende gebied met substantiële schade en slachtoffers tot gevolg.

Gebeurtenis: Bomenrij / bomengroep in achterland (zone 6) van de kering - falen a.g.v. STBI





Project dijverluchting TW4 D-GEO Suite Stability 20.1.1.0	Stage B5 - baan 14 m 1.354	Factor of Safety 1.354
Remarks STB1 - WBN en kruinhoogt	Analysis Lipfit Van Particle swarm	

DP 122.00

Duiding knoop 2: Deel van boomgroep ontworteld net voor of tijdens een hoogwaterperiode

Beschrijving: Knoop 1 van de gebeurtenissenboom treedt op er is dus een hoogwatersituatie. Als gevolg van of verweking van het binnenwaartse maaiveld (als gevolg van neerslag, of verhoging van freatische en stijghoogte) of als gevolg van wind ontworteld een deel van de boomgroep. Hierdoor zal het passieve deel van het glijvlak als ook de deklaaggewicht reduceren.

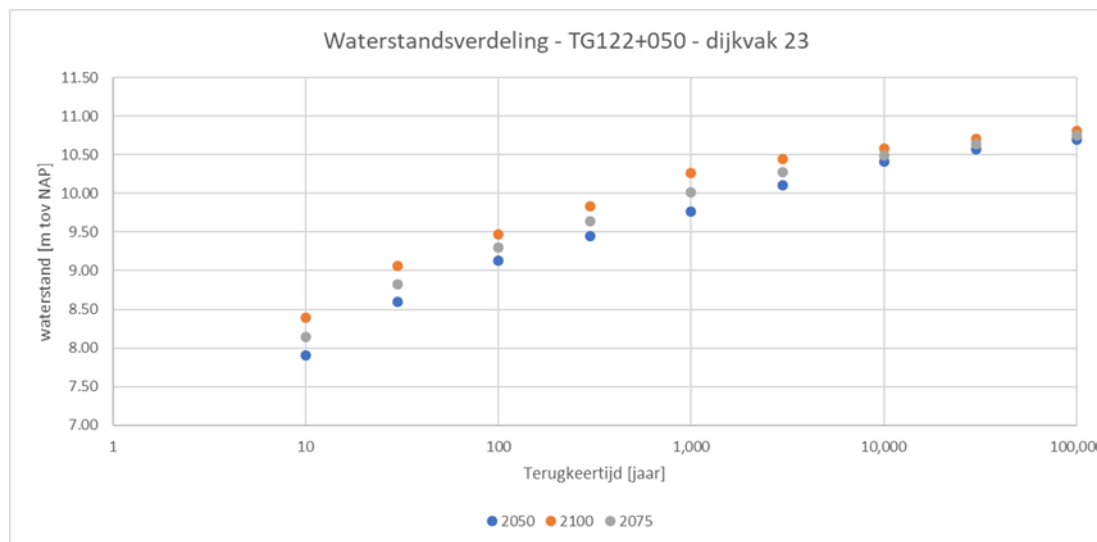
- 1) Waterstand in het dijklichaam en in de watervoerende zandlaag stijgt met zekere respons met buitenwater mee.
- 2) Er is een kans op een ontworteling van een of meerder bomen uit een boomgroep.
- 3) Als gevolg van ontworteling zal deklaagdikte en daarbij het deklaaggewicht reduceren.

Beschikbare informatie: data, waarnemingen, berekeningen

1) Waterstand stijgt in en onder de kering

Vanuit Hydra NL, is op de locatie 'Dkr43 Waal km 927-928 Loc 1_152134_424851' voor verschillende terugkeertijden de waterstand op de rivier bepaald. In onderstaande tabel en grafiek zijn deze waterstanden voor verschillende terugkeertijden weergegeven voor verschillende zichtjaren.

Hydrapunt:	DKR43_Waal km 927-928 Loc 1_152134_424851		
Terugekeertijd	2050	2100	2075
10	7.90	8.40	8.15
30	8.60	9.06	8.83
100	9.13	9.47	9.30
300	9.44	9.83	9.64
1,000	9.77	10.27	10.02
3,000	10.11	10.45	10.28
10,000	10.42	10.58	10.50
30,000	10.57	10.70	10.64
100,000	10.70	10.82	10.76



2) Kans op ontworteling van bomen

De kans dat een boom ontworteld is sterk afhankelijk van het type boom, de staat van de boom en locatie van de boom. Daarbij zal de boom meestal ontwortelen als gevolg van een extreme windbelasting. Uit literatuur zijn verschillende faalkansen voor bomen beschikbaar. Deze variëren tussen circa 1/50 per jaar en 1/500 per jaar voor een enkele boom. Ook wordt geschreven dat al er een boom uit een boomgroep ontworteld er vaak meerdere volgen, doordat a) een zelfde hoge windbelasting ook de andere bomen belast b) omvallende boom in z'n val een ander boom meeneemt (vergroeiing van wortels) c) bomen in een boomgroep niet symmetrisch zijn en dus door 'eigen gewicht' extra worden belast de boom ernaast is ontworteld.

Vanwege de grote onzekerheid in de kans van ontwortelen is in de analyse uitgegaan van een kans van ontwortelen van 1/200 per jaar voor gebeurtenissen (hoge rivierwaterstanden en windbelastingen) tot een terugkeertijd van 1/3.000 per jaar. Voor de zeldzamere gebeurtenissen is een faalkans van 1/100 per jaar aangenomen. Uitgaande van een stormhalfjaar en een uitgaande van een event van 1 week, is de kans op het ontwortelen $1/200 \times 1/26 = 1/5.200$ per keer voor de situaties tot een terugkeertijd van 1/3.000 per jaar. Bij extremere omstandigheden is de kans van $1/100 \times 1/26 = 1/2600$ per keer toegepast.

Deze kansen zijn dan direct als overgangskans voor knoop 3 in de faalpad analyse toegepast.

3) Reductie van de deklaagdikte

Door de aanwezigheid van het wortelstelsel van een boom, zal er bij een ontworteling een ontgrondingskuil ontstaan. Veelal wordt voor een ontgrondingskuil van een enkele boom in eerste aanname een kuil met een straal van circa 4 m en een diepte van 1,0 m-mv aangehouden. Afhankelijk van het boomtype en bijbehorende wortelstelsel, de grondgesteldheid en het niveau van het grondwater, zal deze ontgrondingskuil qua afmetingen kunnen variëren.

In het geval van dijkvak 23 zijn in het achterland meerdere bomen van verschillende typen met een variërende tussenafstand aanwezig. In de analyse is er dan ook vanuit gegaan dat achter de toekomstige binnenberm over een grote breedte een ontgrondingskuil aanwezig is. Dit is een conservatieve aanname omdat bij ontworteling niet direct alle grond en bomen ook fysiek weg zijn.

Uit de resultaten blijkt dat vanaf een terugkeertijd van 1/1.000 per jaar (en dus een waterstand van NAP +10,2 m eens in de 640 keer een overslagdebiet gelijk aan 1,0 l/s/m kan ontstaan. De kans op een overslagdebiet van 10 l/s/m is bij deze waterstand nog verwaarloosbaar klein ($P_f = 1/85.000$ per keer). Bij een waterstand van NAP +11,14 m (terugkeertijd van 1/100.000 per jaar en waterstand nog circa 0,15 m onder de kruin) neemt de kans op een overslagdebiet van 1 l/s/m toe tot eens in de drie keer. De kans op een overslagdebiet gelijk aan 10 l/s/m is dan van dezelfde orde grootte (eens per acht keer). Hieruit kan geconcludeerd worden dat het effect van golven bij de zeldzame hoogwaters zeer gering is. Dat is gezien de oriëntatie van het dijkvak (135° tov N) niet onverwacht.

Duiding knoop 3: Geen herstel maatregelen

Beschrijving: Knoop 2 van de gebeurtenissenboom treedt op er is dus een hoogwatersituatie, waarbij een ontgrondingskuil ontstaat in het achterland, direct achter de toekomstige teen van de dijk. Het succesvol uitvoeren van herstelmaatregelen hangt van een aantal aspecten af, deze zijn: signalering van de eerste schade en/of er (tijdelijke) maatregel uitgevoerd kunnen worden.

- 1) Signalering van de schade.
- 2) Kunnen (tijdelijke) maatregelen uitgevoerd worden.

1) Signalering van schade

Grootste kans op een snelle signalering van de schadeverschijnselen, waaronder erosie, zal optreden als bewoners van woning en/of andere inwoners nog in het gebied aanwezig zijn. Vanaf zekere waterstanden zal ook het waterschap zijn inspecties op meer periodieke basis (dagelijks meerdere keren) gaan uitvoeren. Vanaf deze situatie zullen dan ook de dijkinspecteurs beginnende schade gaan constateren.

Op basis van de argumenten zoals onder knoop 1 zijn weergegeven, blijkt dat overslag pas plaatsvindt bij zeer hoge waterstanden. De vraag is of er bij dergelijk hoge waterstanden niet al sprake is van verplichte evacuaties van inwoners. Indien het geval is, zal beginnen schade minder snel en met een kleinere kans worden gesignaleerd.

2) Uitvoerbaarheid van maatregelen

Vanuit het succesvol kunnen inzetten van maatregelen is naast tijdige signalering ook de omstandigheden waarin de maatregelen moeten worden uitgevoerd van grootte invloed. Belangrijke aspecten zijn hierin:

- Kan er materieel en materiaal op de locatie komen (is de kruin van de kering bereikbaar en/of is de locatie ook vanaf het achterland bereikbaar?)
- Zijn er mogelijk meer dringende locaties, waardoor deze schade niet hoog geprioriteerd wordt.
- Is er niet zoveel overslag aanwezig, dat het fysiek niet mogelijk is om maatregelen uit te voeren.

Duiding knoop 4: Gereduceerde deklaag in het achterland barst op

Beschrijving: Uitgaande van het mislukken van herstel van de initiële schade (ontgrondingskuil in achterland), en bij gelijkblijvende of toenemende waterstanden op de rivier en daarmee stijghoogte in de ondergrond, zal de deklaag opbarsten.

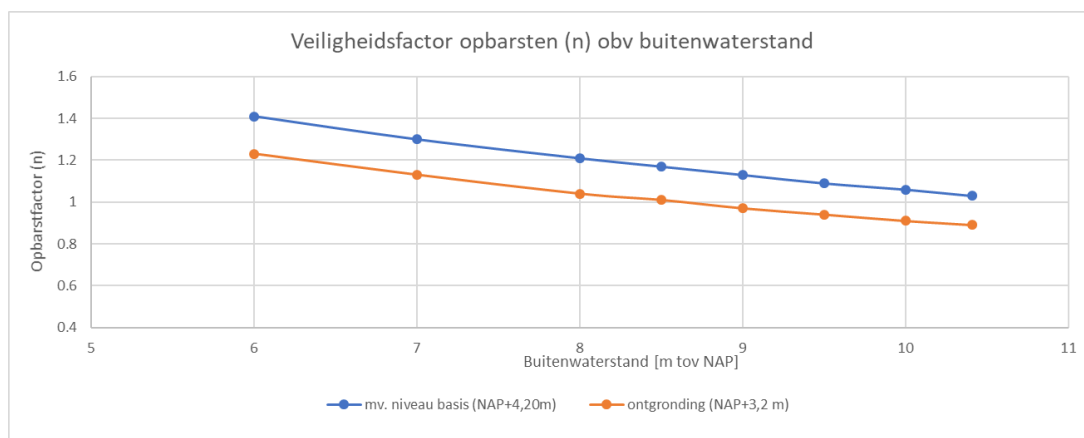
1) Bij welke buitenwaterstand zal de deklaag opbarsten.

1) Opbarsten van deklaag

De waterstand waarbij de deklaag opbarst is sterk afhankelijk van de respons van de stijghoogte op de rivierwaterstand als ook van het gereduceerde deklaagdikte en gewicht.

Bij initieel relatief dunne deklagen heeft een ontgroning relatief gezien een groot effect op de deklaagdikte. Echter bij deze situaties is de kans op opbarsten al zeer groot en zal al bij relatief lage rivierwaterstanden optreden. Bij deze dunne deklagen zal ontworteling van een boomgroep dan niet bepalend zijn voor faalkans van de waterkering. Daarentegen zal bij dikke deklagen een ontgroning als gevolg van 3D-werking in de ondergrond slechts een beperkt effect. Te meer omdat bij ontgroning van meerder bomen niet alle het gewicht uit de ontgrondingskuil zal zijn verdwenen.

Op basis van een aantal berekeningen is gegeven de buitenwaterstand een opbarstfactor bepaald voor twee niveaus (origineel van NAP +4,2 m en bij ontgroning van 1,0 m-mv en dus NAP +3,2 m). In onderstaande figuur zijn de resultaten van deze analyse weergegeven.



Uit de resultaten blijkt dat bij een ontgrondingskuil bij een waterstand op de rivier van circa NAP +8,5 m het waarschijnlijk is dat de deklaag opbarst. Zonder ontgroning zal dit pas bij zeer hoge buitenwaterstanden van circa NAP +10,5 m plaatsvinden. Deze analyse geeft een handvat voor het invullen van de overgangskansen voor deze knoop.

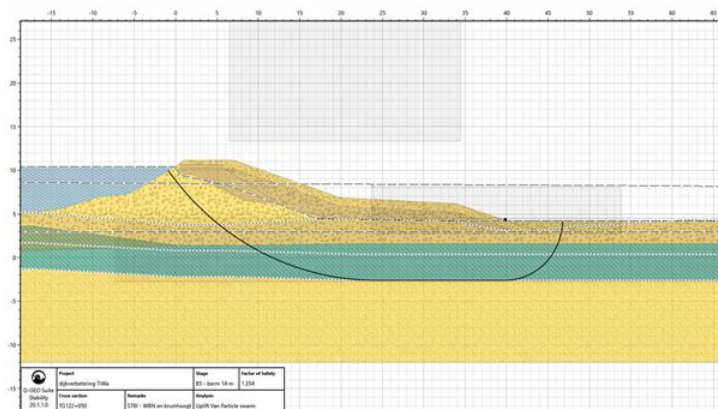
Duiding knoop 5: Macrostabieliteit binnenwaarts treedt op

Beschrijving: Uitgaande van het mislukken van herstel van de initiële schade, en het opbarsten van de gereduceerde deklaag in het achterland van de waterkering, zal de waterkering als gevolg van macro-instabiliteit kunnen afschuiven. De grootte van het glijvlak zal daarbij bepalen als er direct falen van de waterkering ontstaat of dat er nog vervolgmecanismen (knoop 6) moeten optreden om tot een bres te leiden.

- 1) Wat is het effect van de reductie van de deklaag op de stabiliteit van de kering
- 2) Wat is de grootte van het initiële afschuifvlak

1) Effect van gereduceerde en opgebarsten deklaag op stabiliteit

Het ontwerp van de dijkversterking voor dijkvak 23 voldoet aan de vereiste stabiliteitsfactor voor macrostabieliteit te weten een factor van 1,34. Uit de ontwerpberkening volgt een stabiliteitsfactor van 1,35, zoals in onderstaande figuur is aangegeven.



Ontwerp | basis | WBN: NAP+10,41 m

$$F_s = 1,35$$

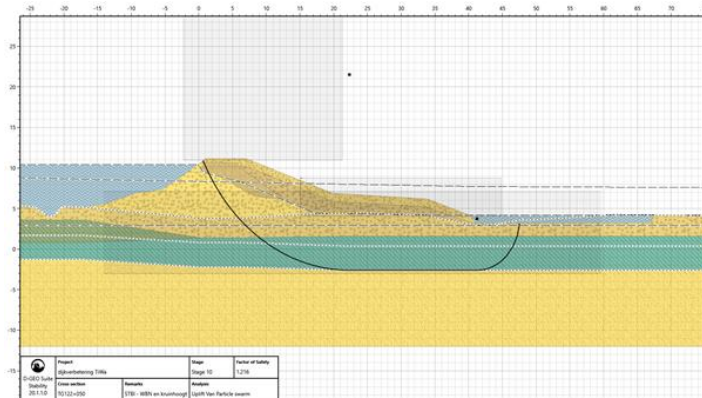
$$\text{Beta} = 6,29$$

$$P_f = 1,55 \times 10^{-10}$$

→ Voldoet aan doorsnede-eis (vanzelfsprekend)

Door in de stabiliteitsberekening de ontgrondingskuil te schematiseren en hierop het stijghoogte verloop aan te passen kan het effect van de ontgroningkuil op de stabiliteitsfactor worden bepaald. Uit de berekening blijkt dat de stabiliteitsfactor reduceert tot een waarde van 1,22. Teruggerekend

naar faalkansen leidt dit, bij benadering, tot een reductie van een factor 25 op van de faalkans. Het resultaat van deze analyse is in de volgende figuur weergegeven.



Ontwerp | ontgronding | WBN: NAP+10,41 m
 $F_s = 1,216$

$Beta = 5,37$

$P_f = 3,9E-08$

→ Voldoet niet doorsnede-eis (vanzelfsprekend),
reductie van factor 250 op faalkans

2) Grootte van het initiële glijvlak

Uit de uitgevoerde stabiliteitsanalyse bij een waterstand behorende bij de norm van NAP +10,41 m blijkt dat de gehele kruin van de kering zal afschuiven. Nu is er een mate van onzekerheid over de ligging van het intredepunt van het glijvlak, maar grofweg kan gesteld worden dat er een significant gedeelte van de waterkering zal afschuiven.

Vanuit de literatuur, waarin verschillende opgetreden glijvlakken zijn beschouwd blijkt dat een afschuiving z'n evenwicht hervindt bij een daling van de kruin van 1 à 2 m. Veiligheidshalve wordt veelal een daling van een halve kerende hoogte verondersteld. Bij dergelijke kruindaling en bij deze hoge buitenwaterstand zal dan ook grote kans op het ontstaan van een bres ontstaan.

Duiding knoop 6: Macrostabieliteit leidt direct of indirect tot een bres

Beschrijving: Uitgaande van het mislukken van herstel van de initiële schade, en het opbarsten van de gereduceerde deklaag in het achterland van de waterkering, zal de waterkering als gevolg van macro-instabiliteit kunnen afschuiven. De grootte van het glijvlak zal daarbij bepalen als er direct falen van de waterkering ontstaat of dat er nog vervolgmecanismen moeten optreden om tot een bres te leiden.

- 1) Glijvlak leidt direct of indirect tot bres en daarmee tot falen

1) Glijvlak leidt direct of indirect tot bres

Zoals uit de stabiliteitsberekening blijkt zal er bij de waterstand die gelijk is aan de norm een groot glijvlak ontstaan. Bij hoge buitenwaterstanden zal hierdoor dan ook weinig 'reststerkte' over zijn en zal de kering nagenoeg direct falen. Indien macroinstabiliteit direct volgt op het ontstaan van opbarsten en dus bij een buitenwaterstand van orde grootte NAP +8,5 m (zie uitwerking knoop 4) staat de buitenwaterstand pas halverwege tegen het buitentalud. Bij een zelfde grootte van het afschuifvlak zal dit nog niet direct tot falen van de waterkering leiden. Een tweede afschuiving of het ontstaan van erosieprocessen zullen vervolgens moeten optreden om tot het daadwerkelijk falen van de waterkering te kunnen leiden.

Resultaten van de faalpadanalyses

Voor dit faalpad zijn door een aantal projectteamleden van het project TiWa in een aantal sessies de overgangskansen voor de knopen bepaald. Daarbij zijn in voorbereiding op de sessies wat voorwerk uitgevoerd, zoals het inventariseren van de beschikbare gegevens van de case in dijkvak 23. Ook zijn er enkele verkennende berekeningen uitgevoerd die bij kunnen dragen aan het bepalen van de overgangskansen. Voor de overgangskansen is gebruik gemaakt van een codering (1 t/m 7) bepaald, zoals in hieronder en in de hoofdrapportage is aangegeven.

Code	Faalkans	Omschrijving
1	0,999	Virtually certain
2	0,99	Very likely
3	0,9	Likely
4	0,5	Neutral
5	0,1	Unlikely
6	0,01	Very Unlikely
7	0,001	Virtually Impossible

Knoop 2: Ontwortelen boomgroep	
<p>Zoals in de duiding van de knoop is gesteld, is er voor deze knoop niet op basis van een codering de overgangskans bepaald.</p> <p>De kansen zijn bepaald op basis van de veronderstelling dat: De kans op ontgronding van een groot gedeelte van de boomgroep 1/200 per jaar (voor ws tot NAP+10,28 m) en 1/100 per jaar (voor ws vanaf NAP +10,28 m) is. Er vanuit gaande dat deze kans optreedt gedurende het stormhalfjaar (2/52ste jaar) en uitgaande van een event van 1 week, dan is de kans $1/200 \times 1/26 = 1/5200$ per keer voor de laagste waterstanden en $1/100 \times 1/26 = 1/2600$ voor de hoogste drie waterstanden!</p>	

Knoop 3: kans op geen herstel

Voor deze knoop is er consensus dat er bij de lage waterstanden een goede kans op tijdige signalering en er voldoende mogelijkheden zijn op het uitvoeren van herstelmaatregelen. Echter de verwachting is wel dat er bij de hogere buitenwaterstanden doordat onder andere evacuaties zullen zijn opgetreden de signalering moeilijker zal plaatsvinden. Ook is het de verwachting dat bij hoger waterstanden er elders (bij andere schademeldingen) meer prioriteit zal liggen dan op deze locaties.

Vanaf buitenwaterstanden groter dan NAP +10,64 m is de inschatting dat het herstellen van schade in zeer beperkte mate maar zal kunnen gebeuren. Daarbij is het verschil tussen de individuele scores niet groter 1 punt, waarbij een goede consensus voor deze knoop is ontstaan.

Knoop 3		Knoop 3:Geen herstel				
		Waterstand	Martin	Cor	gemiddelde	consensus
gemiddeld	8,15	7	6	6,5	6	
	9,30	7	6	6,5	6	
	10,02	7	6	6,5	6	
	10,28	6	6	6,0	6	
	10,50	4	4	4,0	4	
	10,64	3	2	2,5	2	
	10,76	2	2	2,0	2	
ondergrens	8,15	7	6	6,5	7	
	9,30	7	6	6,5	7	
	10,02	7	6	6,5	7	
	10,28	7	6	6,5	7	
	10,50	5	4	4,5	4	
	10,64	4	2	3,0	4	
	10,76	3	2	2,5	3	
bovengrens	8,15	7	6	6,5	7	
	9,30	7	6	6,5	7	
	10,02	7	6	6,5	6	
	10,28	9	6	5,5	5	
	10,50	9	4	3,5	2	
	10,64	2	2	2,0	2	
	10,76	1	2	1,5	2	

Knoop 4: Gereduceerde deklaagdikte leidt tot opbarsten

Voor het opbarsten zijn een aantal indicatieve berekeningen uitgevoerd, die hebben ondersteund in het invullen van de overgangskansen van deze knoop.

Ondanks dat er uit de indicatieve berekeningen volgt dat bij een buitenwaterstand van NAP +8,5 m mogelijk al opbarsten van de deklaag zal kunnen ontstaan is dit er bij de lage buitenwaterstanden toch een relatief lage kans toegekend. Dit wordt met name veroorzaakt door het feit dat er na ontgroning nog steeds een zeer dikke deklaag aanwezig is, welke als gevolg van 3D-werking toch meer weerstand tegen opbarsten zal moeten hebben dan de 2D-analyse doet vermoeden. Bij toenemende waterstanden is het beeld wel dat daarbij ook kans op het optreden van opbarsten toe zal nemen.

Ook hier is het verschil tussen de individuele scores niet groter dan 1 punt, waarbij een goede consensus voor deze knoop is bereikt.

Knoop 4		Knoop 4:dunne deklaag --> opbarsten				
		Waterstand	Martin	Cor	gemiddelde	Consensus
gemiddeld	8,15	7	7	7,0	7	
	9,30	6	7	6,5	6	
	10,02	5	6	5,5	5	
	10,28	4	4	4,0	4	
	10,50	3	3	3,0	3	
	10,64	2	2	2,0	2	
	10,76	1	1	1,0	1	
ondergrens	8,15	7	7	7,0	7	
	9,30	7	7	7,0	7	
	10,02	7	7	7,0	7	
	10,28	6	5	5,5	7	
	10,50	5	4	4,5	6	
	10,64	3	3	3,0	6	
	10,76	1	1	1,0	5	
bovengrens	8,15	7	7	7,0	7	
	9,30	5	7	6,0	7	
	10,02	3	5	4,0	7	
	10,28	2	3	2,5	7	
	10,50	1	2	1,5	5	
	10,64	1	1	1,0	4	
	10,76	1	1	1,0	3	

Knoop 5: Ontstaan van macro-instabiliteit

De uitgevoerde stabiliteitsberekening bij een waterstand van NAP +10,4 m, hebben ondersteund in het invullen van de overgangskansen van deze knoop.

Bij de invulling van de overgangskansen is naast het effect van reductie van het passieve deel van het glijvlak ook nadrukkelijk de verhoging van het aandrijvende deel van het glijvlak beschouwd. Bij lagere buitenwaterstanden neemt de waterstand in de kering en daarmee het gewicht nog niet veel toe. Ook de grootte van het glijvlak heeft er toe bijgedragen dat zowel de reductie van het passieve deel als de belastingverhoging op het actieve deel van het glijvlak niet hele dominante aspecten zullen zijn. Daardoor is er bij de lage buitenwaterstanden het onwaarschijnlijk geacht dat een groot glijvlak zou kunnen ontstaan. Vanaf waterstand van circa NAP +10,3 m zijn er grote overgangskansen bepaald

Ook hier is het verschil tussen de individuele scores niet groter dan 1 punt, waarbij een goede consensus voor deze knoop is bereikt.

Knoop 5		knoop 5:optreden STBI				
		Waterstand	Martin	Cor	gemiddelde	Consensus
gemiddeld	8,15	7	7	7,0	7	
	9,30	7	7	7,0	7	
	10,02	7	7	7,0	7	
	10,28	6	6	6,0	6	
	10,50	5	5	5,0	5	
	10,64	4	4	4,0	4	
	10,76	2	3	2,5	2	
ondergrens	8,15	7	7	7,0	7	
	9,30	7	7	7,0	7	
	10,02	7	7	7,0	7	
	10,28	7	7	7,0	7	
	10,50	6	6	6,0	6	
	10,64	6	5	5,5	6	
	10,76	3	4	3,5	5	
bovengrens	8,15	7	7	7,0	7	
	9,30	7	7	7,0	7	
	10,02	7	7	7,0	7	
	10,28	5	5	5,0	7	
	10,50	4	4	4,0	5	
	10,64	2	3	2,5	4	
	10,76	1	2	1,5	3	

Knoop 6: Instabiliteit leidt direct of indirect tot bres

Bij de invulling van deze overgangskansen is bij de verschillende waterstanden uitgegaan dat er een groot glijvlak zal ontstaan. Bij de lage buitenwaterstanden is er dan sprake van een grotere reststerkte dan bij de hogere buitenwaterstanden.

Het maximale verschil tussen de individuele scores is voor deze knoop 2 punten, waarbij een relatief goede consensus voor deze knoop is bereikt.

Knoop 6		knoop 6: Instabiliteit leidt tot bres				
		Waterstand	Martin	Cor	gemiddelde	Consensus
gemiddeld	8,15	7	7	7,0	7	
	9,30	7	7	7,0	7	
	10,02	7	7	7,0	7	
	10,28	7	6	6,5	6	
	10,50	6	6	6,0	6	
	10,64	3	5	4,0	3	
	10,76	2	4	3,0	2	
ondergrens	8,15	7	7	7,0	7	
	9,30	7	7	7,0	7	
	10,02	7	7	7,0	7	
	10,28	7	7	7,0	7	
	10,50	7	7	7,0	6	
	10,64	5	6	5,5	6	
	10,76	3	5	4,0	5	
bovengrens	8,15	7	7	7,0	7	
	9,30	7	7	7,0	7	
	10,02	7	7	7,0	7	
	10,28	6	5	5,5	7	
	10,50	5	5	5,0	5	
	10,64	1	4	2,5	4	
	10,76	1	3	2,0	3	

Uit de combinatie van de overgangskansen en de uitintegratie met de kans van voorkomen van de rivierwaterstand is met excel een faalkans berekend, zoals in onderstaan de uitsnede is weergegeven.

	Waterstand	Knoop 2: ontwortelen boomgroep	Knoop 3: Geen herstel	Knoop 4: dunne deklaag -- > opbarsten	knoop 5: optreden STBI	knoop 6: Instabiliteit leidt tot bres	Gecombineerd (Pf;knp 1 x 3 x 4/5)		Uitgeïntegreerd:
Gemiddelde	8,15	1,92E-04	1,00E-02	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03	1,92E-15	}	Pf = 1,43E-08 per jaar β = 5,55 op jaarbasis
	9,30	1,92E-04	1,00E-02	1,00E-02	1,00E-03	1,00E-03	1,92E-14		
	10,02	1,92E-04	1,00E-02	1,00E-01	1,00E-03	1,00E-03	1,92E-13		
	10,28	1,92E-04	1,00E-02	5,00E-01	1,00E-02	1,00E-02	9,62E-11		
	10,50	3,85E-04	5,00E-01	9,00E-01	1,00E-01	1,00E-02	1,73E-07		
	10,64	3,85E-04	9,90E-01	9,90E-01	5,00E-01	9,00E-01	1,70E-04		
	10,76	3,85E-04	9,90E-01	9,99E-01	9,90E-01	9,90E-01	3,73E-04		
	Waterstand	Knoop 2: ontwortelen boomgroep	Knoop 3: Geen herstel	Knoop 4: dunne deklaag -- > opbarsten	knoop 5: optreden STBI	knoop 6: Instabiliteit leidt tot bres	Gecombineerd (Pf;knp 1 x 3 x 4/5)		Uitgeïntegreerd:
Concensus	8,15	1,92E-04	5,50E-03	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03	1,06E-15	}	Pf = 1,06E-08 per jaar β = 5,60 op jaarbasis
	9,30	1,92E-04	5,50E-03	5,50E-03	1,00E-03	1,00E-03	5,82E-15		
	10,02	1,92E-04	5,50E-03	5,50E-02	1,00E-03	1,00E-03	5,82E-14		
	10,28	1,92E-04	1,00E-02	5,00E-01	1,00E-02	7,00E-03	6,73E-11		
	10,50	3,85E-04	5,00E-01	9,00E-01	1,00E-01	1,00E-02	1,73E-07		
	10,64	3,85E-04	9,45E-01	9,90E-01	5,00E-01	6,33E-01	1,14E-04		
	10,76	3,85E-04	9,90E-01	9,99E-01	9,60E-01	8,27E-01	3,02E-04		

Uit de resultaten blijkt dat bij de gemiddelde score een betrouwbaarheidsindex van 5,55 is berekend en voor de consensus een index van 5,60. Beide zijn ruim groter (factor 10) dan de vereiste betrouwbaarheid zoals voor het mechanisme Macrostabiliteit binnenwaarts (STBI) van 5,16 zoals is vereist voor TiWa. Daarmee wordt aan de vereiste veiligheid voldaan.

**Bijlage 3. Toelichting en uitwerking faalpad
Bomen op binnenberm i.r.t. erosieprocessen
(Dijkvak 17, dijkversterking Tiel-Waardenburg)**

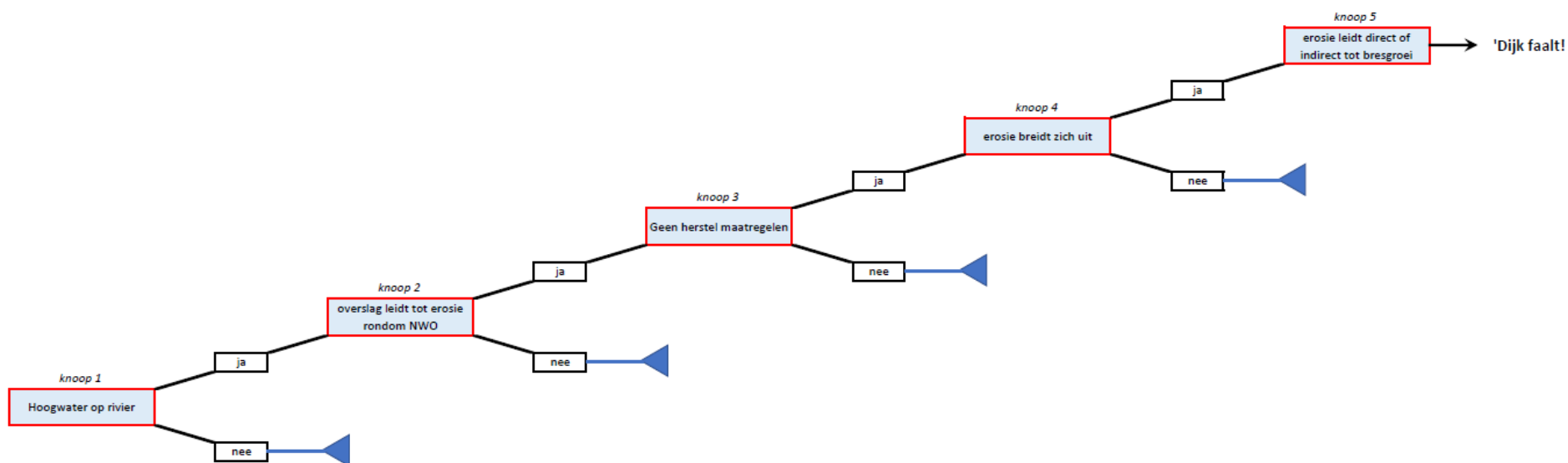
Toelichting en uitwerking faalpad 5c (bebouwing in zone c voor erosieprocessen)

Beschouwd dijkvak: dijkvak 17

Traject: TG086+50m – TG089+050

Gebouw is aanwezig in aanloop naar een hoogwaterperiode

Het gebouw / de gebouwen is/zijn aanwezig en ook de aansluiting op het dijklichaam is in goede staat (zoals bv. vergund). De waterstand op de rivier stijgt. Als gevolg van deze stijging stijgt de freatische waterstand in de kering en de stijghoogte in de watervoerende zandlaag. Als gevolg van golfoverslag ontstaat er een overslagdebiet over de kering. Het overslagdebiet leidt tot een geconcentreerde stroming langs de bebouwing. Indien een kritieke snelheid wordt overschreven ontstaat er een erosiekuil langs de gevels van de bebouwing. Deze beginnende erosie wordt niet opgemerkt en/of niet (provisorisch) hersteld. Overslagdebiet (en daarmee waterstand op de rivier blijft aanwezig) waardoor een erosiekuil zich buitenwaarts en dus richting de kruin verschuift. Uiteindelijk ontstaat er een bres (als gevolg van terugschrijdende erosie en/of bijvoorbeeld STMI), die leidt tot een overstroming van het achterliggende gebied met substantiële schade en slachtoffers tot gevolg.



Duiding knoop 2: Overslag leidt tot erosie rondom NWO

Beschrijving: Knoop 1 van de gebeurtenissenboom treedt op er is dus een hoogwatersituatie. De woning(en) en inbedding hiervan in dijklichaam zijn in goede staat op de binnenberm aanwezig.

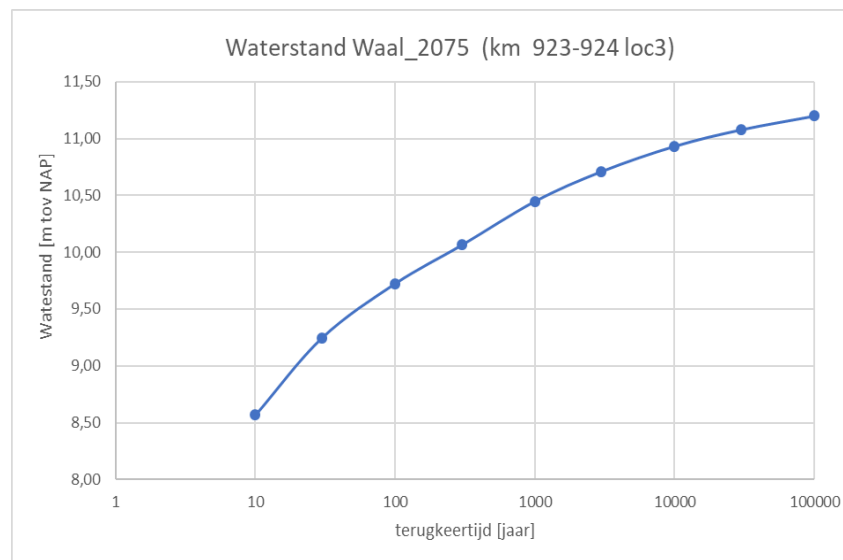
- 1) Waterstand in het dijklichaam en in de watervoerende zandlaag stijgt met zekere respons met buitenwater mee.
- 2) Er is een kans op een hoeveelheid golfoverslag over de kering.
- 3) Vanwege het cluster van bebouwing zal deze overslag resulteren in een geconcentreerde stroming rond de bebouwing, dan wel tussen de bebouwing door.
- 4) Er ontstaat erosie (initiële erosiekuil) ter hoogte van de gevels van de bebouwing.

Beschikbare informatie: data, waarnemingen, berekeningen

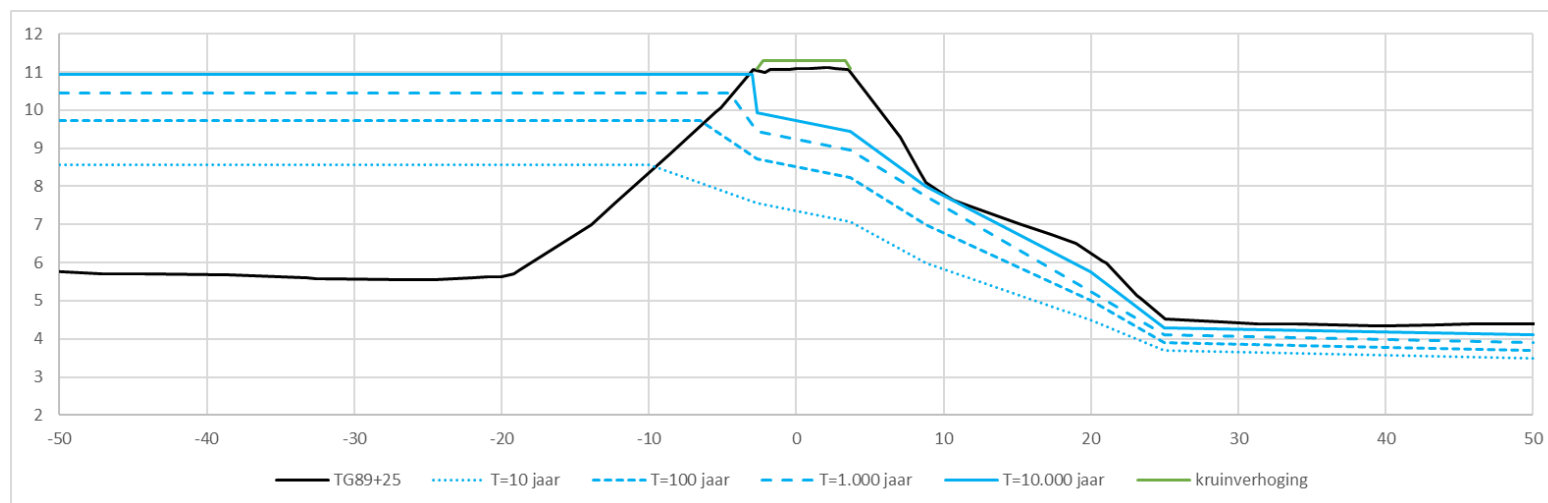
1) Waterstand stijgt in en onder de kering

Vanuit Hydra NL, is op de locatie 'Dkr43 Waal km 923-924 Loc 3_154095_426027' voor verschillende terugkeertijden de waterstand op de rivier bepaald. In onderstaande tabel en grafiek zijn deze waterstanden voor verschillende terugkeertijden weergegeven voor het zichtjaar 2075.

Terugkeertijd (jaren)	Waterstand 2075 (m+NAP)
10	8,57
30	9,25
100	9,73
300	10,06
1000	10,45
3000	10,71
10000	10,93
30000	11,08
100000	11,20



De freatische lijn in de kering bij verschillende buitenwaterstanden is mogelijk, zoals weergegeven in onderstaande schematische weergave. De ligging is gebaseerd op algemene uitgangspunten (zie protocollen voor situatie WBN) en dus niet op modelberekeningen en/of peilbuismetingen.

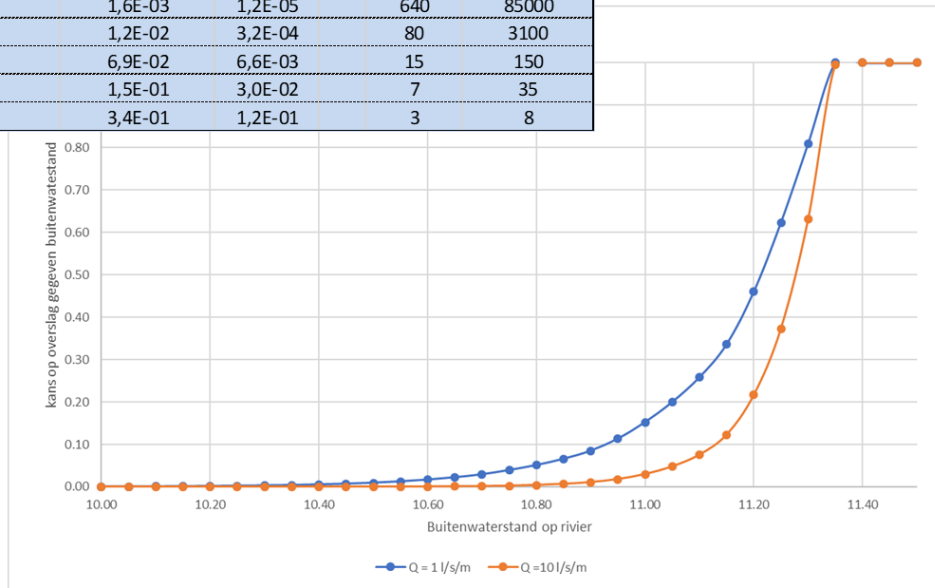


Bij waterstanden vanaf een terugkeertijd van circa 1/1.000 per jaar is de waterstand in de waterkering (excl. Overslag) wellicht zodanig groot dat het talud boven de insteek van de binnenberm verzadigd raakt en mogelijk uittredend water vertoont.

2) Kans op overslag

Met Hydra NL (WSRL-versie) is voor het zichtjaar 2075 de kans op een overslagdebiet van 1 en 10 l/s/m bepaald gegeven de buitenwaterstand. In de berekening is rekening gehouden met een kruinverhoging tot NAP +11,30 m.

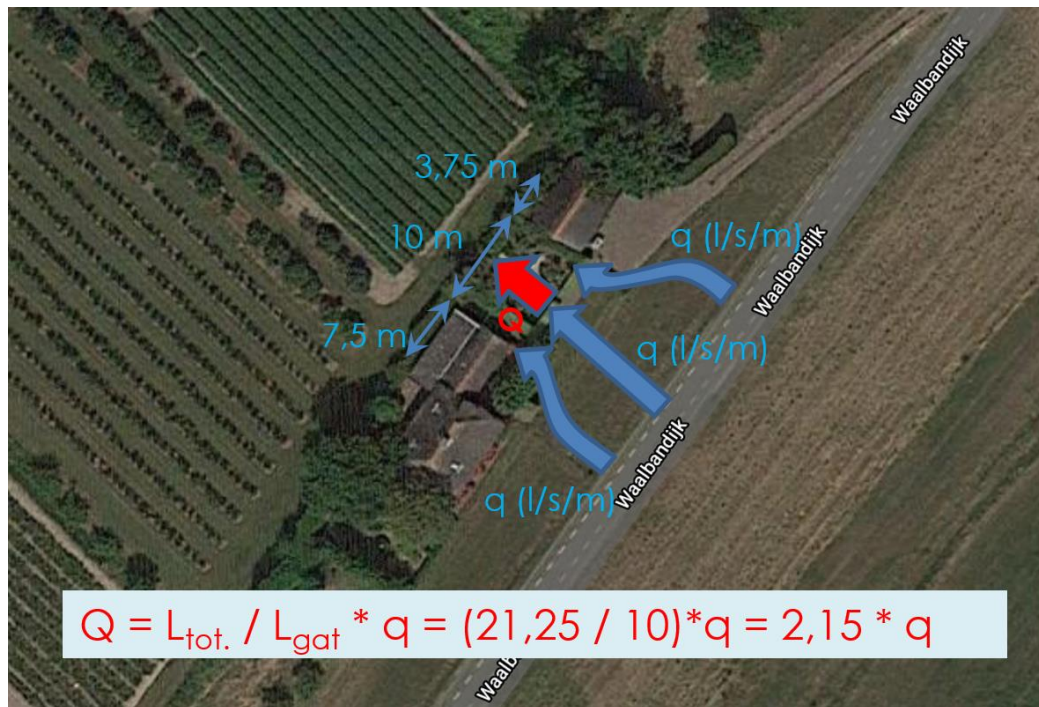
Terugkeertijd (jaren)	Waterstand (m+NAP)	kans op overslag (X)		kans op overslag (1/X)	
		1 l/s/m	10 l/s/m	1 l/s/m	10 l/s/m
10	8,32	1,8E-08	2,8E-13	>> 1/ 1E6	>>> 1/ 1E6
30	9,02	1,3E-06	3,4E-10	750.000	>> 1/ 1E6
100	9,56	3,0E-05	3,5E-08	34.000	>> 1/ 1E6
300	9,87	1,9E-04	4,9E-07	5400	2 E6
1000	10,19	1,6E-03	1,2E-05	640	85000
3000	10,54	1,2E-02	3,2E-04	80	3100
10000	10,85	6,9E-02	6,6E-03	15	150
30000	11,01	1,5E-01	3,0E-02	7	35
100000	11,14	3,4E-01	1,2E-01	3	8



Uit de resultaten blijkt dat vanaf een terugkeertijd van 1/1.000 per jaar (en dus een waterstand van NAP +10,2 m eens in de 640 keer een overslagdebiet gelijk aan 1,0 l/s/m kan ontstaan. De kans op een overslagdebiet van 10 l/s/m is bij deze waterstand nog verwaarloosbaar klein (Pf = 1/85.000 per keer). Bij een waterstand van NAP +11,14 m (terugkeertijd van 1/100.000 per jaar en waterstand nog circa 0,15 m onder de kruin) neemt de kans op een overslagdebiet van 1 l/s/m toe tot eens in de drie keer. De kans op een overslagdebiet gelijk aan 10 l/s/m is dan van dezelfde orde grootte (eens per acht keer). Hieruit kan geconcludeerd worden dat het effect van golven bij de zeldzame hoogwaters zeer gering is. Dat is gezien de oriëntatie van het dijkvak (135° tov N) niet onverwacht.

3) Vanwege het cluster aan bebouwing, resulteert overslag tot geconcentreerde stroming

Ter plaatse van het cluster bebouwing is er tussen het woonhuis en de schuur een ruimte van circa 10 m aanwezig. Indien er vanuit gegaan wordt dat de helft van het overslaande debiet tegen de woning aan de noord- als ook aan de zuidzijde richting het achterland stroomt, zal er zich tussen de woning een vergroting van het debiet plaatsvinden met ongeveer een factor 2,2. Dus ruim twee keer het overslagdebiet dat gemiddeld genomen over de kruin van de kering heen stroomt zal stromen ter plaatse tuin tussen het hoofd- en het bijgebouw, zie onderstaande figuur. Hierin is de helft van het hoofd- en bijgebouw bepaald op respectievelijk 7,5 m en 3,75 m en de tussenruimte op 10 m.



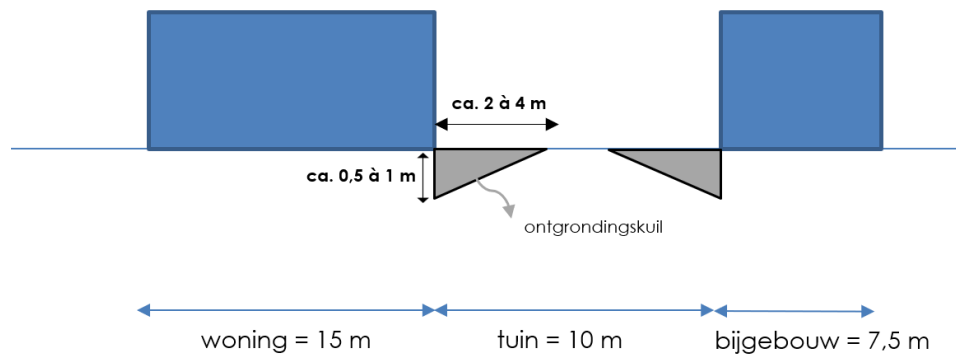
Een overslagdebiet van 1 l/s/m over de kruin van de kering zorgt voor een debiet van circa 2,2 l/s/m tussen het woonhuis en de schuur. Een debiet van 10 l/s/m zorgt daarmee voor een debiet van 21,5 l/s/m.

Onzekerheid is of dit een gelijkmatige stroming is over de volledige breedte van het 'gat' of dat er langs de gevels een nog grotere geconcentreerdere en vermoedelijk turbulente stroming zal ontstaan.

4) Ontstaan van erosie langs bebouwing

Als gevolg van golfoverslag (grootte en duur) kan er een erosiekuil ontstaan. Het is zeer waarschijnlijk dat de stromingssnelheden van overslaand water zich zal concentreren rondom de gevels van de woningen. Belangrijk voor het inschatten van of er wel of niet erosie zal plaatsvinden is wat er voor een grondgebruik rondom de bebouwing aanwezig is (tuinen, gras en/of bestrating). Voor dijkvak 17 is het zichtbaar dat er veel bestrating rondom het bijgebouw aanwezig is. Het is daarom aannemelijk dat als er erosie ontstaat, zich dit als eerste in de tuin tussen het woonhuis en het bijgebouw zal voordoen. Dit gedeelte is gezien de aanwezig begroeiing waarschijnlijk het minst erosiebestendig.

De erosie zal optreden in de eerste aantal meter uit de gevel van de bebouwing. De kuil zal zich afhankelijk van de aanwezige grondlagen in de ondergrond insnijden tot maximaal 0,5 à 1,0 m. Het overslaande water zal richting het achterland afstromen. De erosiekuil zal zich dan ook richting het achterland uitbreiden. Ook richting de kruin van de kering zal zich de kuil, door terugschrijdende erosie eveneens uitbreiden.



Duiding knoop 3: Geen herstel maatregelen

Beschrijving: Knoop 2 van de gebeurtenissenboom treedt op er is dus een hoogwatersituatie, waarbij een erosiekuil ontstaat tussen de woning en het bijgebouw. Het succesvol uitvoeren van herstelmaatregelen hangt af van een aantal aspecten, deze zijn: signalering van de eerste schade en/of er (tijdelijke) maatregel uitgevoerd kunnen worden.

- 1) Signalering van de schade.
- 2) Kunnen (tijdelijke) maatregelen uitgevoerd worden.

1) Signalering van schade

Grootste kans op een snelle signalering van de schadeverschijnselen, waaronder erosie, zal optreden als bewoners van woning en/of andere inwoners nog in het gebied aanwezig zijn. Vanaf zekere waterstanden zal ook het waterschap zijn inspecties op meer periodieke basis (dagelijks meerdere keren) gaan uitvoeren. Vanaf deze situatie zullen dan ook de dijkspecteurs beginnende schade gaan constateren.

Op basis van de argumenten zoals onder knoop 1 zijn weergegeven, blijkt dat overslag pas plaatsvindt bij zeer hoge waterstanden. De vraag is of er bij dergelijk hoge waterstanden niet al sprake is van verplichte evacuaties van inwoners. Indien het geval is, zal beginnen schade minder snel en met een kleinere kans worden gesignaleerd.

2) Uitvoerbaarheid van maatregelen

Vanuit het succesvol kunnen inzetten van maatregelen is naast tijdige signalering ook de omstandigheden waarin de maatregelen moeten worden uitgevoerd van grootte invloed. Belangrijke aspecten zijn hierin:

- Kan er materieel en materiaal op de locatie komen (is de kruin van de kering bereikbaar en/of is de locatie ook vanaf het achterland bereikbaar?)
- Zijn er mogelijk meer dringende locaties, waardoor deze schade niet hoog geprioriteerd wordt.
- Is er niet zoveel overslag aanwezig, dat het fysiek niet mogelijk is om maatregelen uit te voeren.

Duiding knoop 4: Erosie breidt zich verder uit richting de kruin van de kering

Beschrijving: Uitgaande van het mislukken van herstel van de initiële schade (erosiekuil rondom bebouwing), en onder voortdurende golfoverslag, danwel als gevolg van aanhoudende hoge ligging van freatische waterstand in dijk kern en binnenberm, treedt vervolgerosie op. Deze erosie zal in eerste instantie in de berm optreden, vervolgens het binnentalud en daarna uitkomen bij de kruin van de kering.

- 1) Waterstand in het dijklichaam blijft aanwezig als gevolg van hoge buitenwaterstand.
- 2) Golfoverslag blijft aanwezig.
- 3) Materiaal van dijklichaam (kern van de kering, materialisatie van berm en aanwezigheid van verharding op kruin) heeft in meer of mindere mate een bepaalde erosiebestendigheid.

1) Waterstand in dijklichaam blijft aanwezig.

Zoals in indicatieve figuur bij duiding van knoop 2 is aangegeven is het vanaf waterstanden met een terugkeertijd van circa 1/1.000 per jaar aannemelijk dat de freatische waterstand in de waterkering zodanig hoog is, dat ook ter hoogte van de insteek van de berm een zeker mate van verzadiging zou kunnen optreden. Als gevolg van het ontstaan van een erosiekuil en of als gevolg van terugschrijdende erosie kan mogelijk het freatische water ter plaatse van de ontstane schade gaan uittreden. Hierdoor zal de snelheid van het erosieproces mogelijk vergroot worden. Daarentegen blijkt dat bij dergelijke buitenwaterstanden de kans op een zeker overslagdebiet over de kering nog verwaarloosbaar klein is. De freatische waterstand zal dan ook niet als gevolg van overslaand water gevoed worden en daardoor nog hoger in het dijklichaam aanwezig zijn.

2) Golfoverslag blijft aanwezig.

Als gevolg van hogere buitenwaterstanden in combinatie met golven op de rivier ontstaat er een kans op een overslagdebiet over de kruin van de kering. Deze golven worden veroorzaakt bij dagelijkse omstandigheden door een combinatie van scheeps- en windgolven. Bij extreme rivierafvoeren zal de scheepvaart op de rivier gestremd zijn/worden. In die situatie zullen golven alleen ontstaan als gevolg van wind. Daarnaast zal er bij deze waterstanden ook grote waterdiepte boven het voorland aanwezig zijn, zijn strijklengte het grootste (van banddijk tot banddijk) en zullen dan ook de grootste golven ontstaan. Deze stormomstandigheden hebben echter een in verhouding met de duur van de hoogwaterperiode (hoogwatergolf) een relatief korte duur. Voor het bovenrivierengebied is daarover geen eenduidig beeld, anders dan dat dit zal variëren tussen duur van een aantal uren en een maximale duur van 8 tot 12 uur.

Opgemerkt wordt dat een deel van deze tijdsduur al benodigd is om de initiële erosiekuil, zoals weergegeven in knoop 2, te doen laten ontstaan. De resterende stormduur zal dan ook de erosie moeten uitbreiden tot en met de buitenkruinlijn van de waterkering.

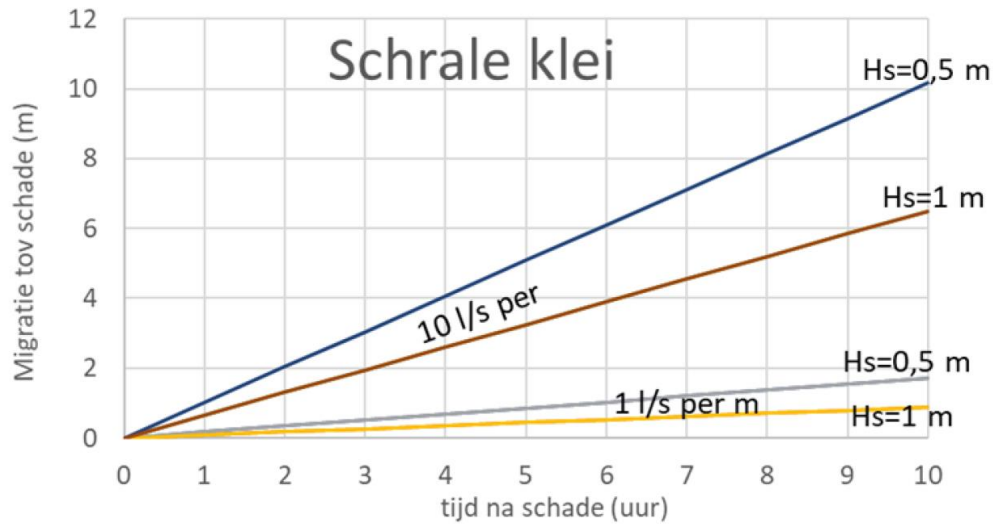
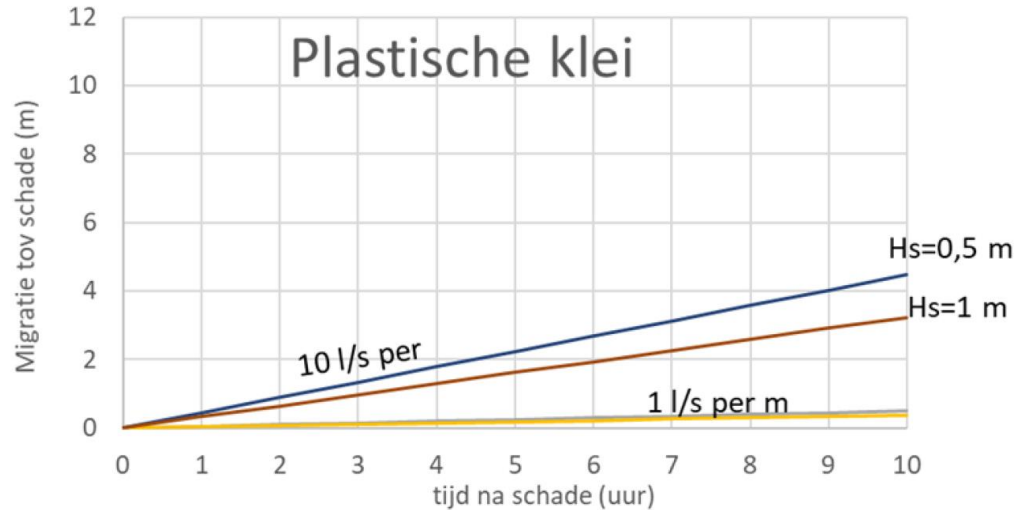
3) Materialisatie van dijk kern en berm

De opbouw van de waterkering heeft een groot effect op de aanwezige erosiebestendigheid als gevolg van uittredend freatische water en of overslaand water als gevolg van neerslag en golfoverslag. Het is duidelijk dat een waterkering, welke in het geheel is opgebouwd uit klei erosiebestendiger is, dan een kering waarbij de kern uit zandig materiaal bestaat. In het projectgebied van TiWa zijn naast de uit klei opbouwde waterkeringen ook keringen aanwezig die tijdens de laatste dijkversterking met een zandkern (zandscheg) binnenwaarts zijn versterkt. Door deze combinatie is de erosiebestendigheid van de eerste meters zeer beperkt, maar neemt mogelijk toe als de oude kleikern aan de buitenzijde van de waterkering wordt bereikt.

Er zijn voor waterkeringen echter op dit moment nog geen goed gevalideerde erosiemodellen beschikbaar om de snelheid en grootte van de erosie te kunnen bepalen/voorspellen. In de rapportage van Deltares (okt 2019) ‘Erosie binnentalud bij golfoverslag na falen bekleding’ is op basis van een kliferosiemodel (SSEA – Site Spillway Erosion Analyses) een analogie gezocht met de waargenomen schadebeelden bij waterkeringen die zijn overstroomd of golfoverslag hebben gehad en met waargenomen schadebeelden bij golfoverslagproeven. Echter het model staat voor de beoogde toepassing nog in de kinderschoenen vanwege het ontbreken van goede validatie.

Echter met alle mitsen en maren, is er voor plastische klei en voor schrale klei enkele grafieken beschikbaar, waarmee inzicht kan verkregen worden in migratie van de schade (erosiekuil met een klifhoogte van 1,0 m zonder dat daarbij verdieping optreedt) afhankelijk van de belastingduur, het overslagdebiet en de aanwezige golfhoogte (significante golfhoogte (H_s) op de rivier). Het blijkt dat veel kleinere golven bij hetzelfde golfoverslagdebiet leidt tot een grotere migratie van de erosie, dan een beperkt aantal grotere golven. In de onderstaande figuren zijn de grafieken voor plastische en schrale klei weergegeven.

Uitgaande van een duur van golfoverslag van circa 8 uur en een voor TiWa veel voorkomende kleine golfbelasting ($H_s = 0,5$ m) zal de migratie van de erosie bij plastische klei over ongeveer 3 tot 5 m verplaatsen. Bij de schrale klei zal er bij gelijk omstandigheden ongeveer 6 tot 10 m migratie kunnen optreden.



Duiding knoop 5: Erosie leidt direct tot bres of indirect tot bresgroei

Beschrijving: Uitgaande van het mislukken van herstel van de initiële schade (erosiekuil rondom bebouwing), en het migreren van het erosiekuil richting de kruin van de kering, zal de waterkering uiteindelijk falen met een overstroming tot gevolg. De kruin van de kering zal daarbij uiteindelijk moeten verzakken, dan wel afschuiven als gevolg van het afnemen van passieve weerstand en de aanblijvende belasting tegen de waterkering.

Op de kruin van de waterkering ligt voor het overgrote deel een asfaltverharding van enkele meters breedte met daaronder een wegfundering. Erosieprocessen ter hoogte van de kruin zijn daardoor mogelijk nog moeilijker te voorspellen. Wel kan gesteld worden dat dit erosiebestendiger is dan bijvoorbeeld de schrale klei.

Vanwege de grote onzekerheden in deze faalprocessen is deze knoop niet los beschouwd maar gelijktijdig met knoop 4 gescoord.

Resultaten van de faalpadanalyses

Voor dit faalpad zijn door in totaal vier projectteamleden van het project TiWa in een aantal sessies de overgangskansen voor de knopen 2, 3 en 4/5 bepaald. Daarbij zijn in voorbereiding op de sessies wat voorwerk uitgevoerd, zoals het inventariseren van de beschikbare gegevens van de case in dijkvak 17. De overgangskansen met een code (1 t/m 7) bepaald, zoals in de hoofdrapportage is aangegeven.

Code	Faalkans	Omschrijving
1	0,999	Virtually certain
2	0,99	Very likely
3	0,9	Likely
4	0,5	Neutral
5	0,1	Unlikely
6	0,01	Very Unlikely
7	0,001	Virtually Impossible

Knoop 2: Overslag leidt tot erosie		Zone 5: falen door erosie - dijkvak 17 Knoop 2:overslag leidt tot erosie						
<p>Al zeer snel was het duidelijk dat bij lage buitenwaterstanden (lager dan NAP +10,55 m, terugkeertijd van 1/3.000 per jaar) er geen dusdanige hoeveelheden overslag over de kering zal ontstaan, waarbij erosie zal kunnen optreden. Dit resulteert in een code 7 voor deze en de lagere buitenwaterstanden. Vanaf buitenwaterstanden groter dan NAP +10,85 m is ingeschat het ontstaan van initiële erosie zou kunnen ontstaan. Daarbij wordt is het verschil tussen de individuele scores niet groter 2 punten, waarbij een goede consensus voor deze knoop is ontstaan. In de figuur hiernaast zijn de resultaten van de overgangskansen voor deze knoop weergegeven en is ook de gemiddelde score en de consensus aangegeven.</p>	Waterstand	Levinus	Martin	Andre	Cor	gemiddelde	consensus	
	gemiddeld	8,35	7	7	7	7	7,0	7
		9,55	7	7	7	7	7,0	7
		10,2	7	7	7	7	7,0	7
		10,55	6	6	5	6	5,8	6
		10,85	4	5	4	5	4,5	5
		11	3	3	2	4	3,0	3
		11,15	2	2	1	2	1,8	2
	ondergrens	8,35	7	7	7	7	7,0	6
		9,55	7	7	7	7	7,0	6
		10,2	7	7	7	7	7,0	6
		10,55	6	7	6	7	6,5	7
		10,85	4	7	5	6	5,5	6
		11	3	5	3	5	4,0	4
		11,15	2	3	1	4	2,5	3
	bovengrens	8,35	7	7	7	7	7,0	7
		9,55	7	7	7	7	7,0	7
		10,2	7	7	7	7	7,0	7
		10,55	4	5	4	5	4,5	5
		10,85	2	3	3	5	3,3	3
11		1	1	2	4	2,0	2	
11,15		1	1	1	2	1,3	1	

Knoop 3: kans op geen herstel

Ook hier is er consensus dat er bij de lage waterstanden een goede kans op tijdige signalering en er voldoende mogelijkheden zijn op het uitvoeren van herstelmaatregelen. Echter de verwachting is wel dat er bij de hogere buitenwaterstanden doordat onder andere evacuaties zullen zijn opgetreden de signalering moeilijker zal plaatsvinden. Ook is het de verwachting dat bij hoger waterstanden er elders (bij andere schademeldingen) meer prioriteit zal liggen dan op deze locaties.

Vanaf buitenwaterstanden groter dan NAP +10,85 m is de inschatting dat het herstellen van schade in zeer beperkte mate maar zal kunnen gebeuren. Daarbij is het verschil tussen de individuele scores niet groter 2 punten, waarbij een goede consensus voor deze knoop is ontstaan.

Zone 5: falen door erosie - dijkvak 17

Knoop 3: Geen herstel

	Waterstand	Levinus	Martin	Andre	Cor	Knoop 3: Geen herstel	
						gemiddelde	consensus
gemiddeld	8,35	7	7	7	7	7,0	7
	9,55	7	7	7	7	7,0	7
	10,2	6	7	6	7	6,5	7
	10,55	5	6	5	6	5,5	6
	10,85	2	3	3	4	3,0	3
	11	2	3	4	3	3,0	3
	11,15	1	2	3	2	2,0	2
ondergrens	8,35	7	7	7	7	7,0	7
	9,55	7	7	7	7	7,0	7
	10,2	6	7	7	7	6,8	7
	10,55	6	7	6	7	6,5	7
	10,85	4	4	4	5	4,3	4
	11	3	4	5	4	4,0	4
	11,15	2	3	4	3	3,0	3
bovengrens	8,35	7	7	7	7	7,0	7
	9,55	6	7	6	7	6,5	7
	10,2	5	7	5	7	6,0	6
	10,55	4	5	4	6	4,8	5
	10,85	2	2	2	3	2,3	2
	11	1	2	3	3	2,3	2
	11,15	1	1	2	2	1,5	2

Knoop 4/5: erosie breidt zich uit en leidt uiteindelijk tot bres en daarmee falen van de kering

Voor het ontstaan van terugschrijdende erosie richting de kruin van de kering is een overslagdebiet en daarmee een hoge buitenwaterstanden nodig. Vandaar dat bij de lage buitenwaterstanden het zeer onwaarschijnlijk is dat de erosie tot falen leidt. Bij hogere buitenwaterstanden en migratie van de erosie richting het knikpunt van het binnentalud en de berm zal mogelijk als gevolg van uittredend water een versnelling van het erosieproces ontstaan. Daardoor is vanaf een waterstand van NAP +10,85 m een lagere score toegekend aan deze knoop. Bij hogere buitenwaterstand kan, als gevolg van overslag, dit proces zich mogelijk nog sneller ontwikkelen.

Echter de afstand tussen de initiële erosiekuil en de buitenkruinlijn van de kering bedraagt al snel zo'n 15 m. Zelfs uitgaande van de dijkopbouw in z'n geheel van schrale klei een duur van 10 uur is de migratie orde grootte 10 m. Hierdoor wordt de kans op een score 3 à 4 gegeven voor de hoogste buitenwaterstand dat falen optreedt.

Ook hier is het verschil tussen de individuele scores niet groter dan 2 punten, waarbij een goede consensus voor deze knoop is bereikt.

Zone 5: falen door erosie - dijkvak 17

Knoop 4 / 5: Erosie leidt tot bres

	Waterstand	Levinus	Martin	Andre	Cor	Knoop 4 / 5: Erosie leidt tot bres	
						gemiddelde	Consensus
gemiddeld	8,35	7	7	7	7	7,0	7
	9,55	7	7	7	7	7,0	7
	10,2	7	7	7	7	7,0	7
	10,55	7	7	7	7	7,0	7
	10,85	6	6	5	7	6,0	6
	11	5	5	4	6	5,0	5
	11,15	4	4	3	5	4,0	4
ondergrens	8,35	7	7	7	7	7,0	7
	9,55	7	7	7	7	7,0	7
	10,2	7	7	7	7	7,0	7
	10,55	7	7	7	7	7,0	7
	10,85	7	6	6	7	6,5	6
	11	6	6	5	6	5,8	6
	11,15	5	6	4	5	5,0	5
bovengrens	8,35	7	7	6	7	6,8	7
	9,55	7	7	7	7	7,0	7
	10,2	6	7	7	7	6,8	7
	10,55	7	7	7	7	7,0	7
	10,85	5	6	4	7	5,5	5
	11	4	4	3	6	4,3	4
	11,15	3	2	2	5	3,0	3

Uit de combinatie van de overgangskansen en de uitintegratie met de kans van voorkomen van de rivierwaterstand is met excel een faalkans berekend, zoals in onderstaan de uitsnede is weergegeven.

	Waterstand [m tov NAP]	Knoop 2: overslag leidt tot erosie	Knoop 3: Geen herstel	Knoop 4 / 5: Erosie leidt tot bres	Gecombineerd (Pf;knp 1 x 3 x 4/5)		Uitgeintegreerd:
Gemiddelde	8,35	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-09	}	Pf = 1,34E-05 per jaar β = 4,20 op jaarbasis
	9,55	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-09		
	10,20	1,00E-03	5,50E-03	1,00E-03	5,50E-09		
	10,55	3,25E-02	5,50E-02	1,00E-03	1,79E-06		
	10,85	3,00E-01	8,23E-01	3,03E-02	7,46E-03		
	11,00	8,23E-01	8,23E-01	1,78E-01	1,20E-01		
	11,15	9,92E-01	9,70E-01	5,00E-01	4,81E-01		
	Waterstand [m tov NAP]	Knoop 2: overslag leidt tot erosie	Knoop 3: Geen herstel	Knoop 4 / 5: Erosie leidt tot bres	Gecombineerd (Pf;knp 1 x 3 x 4/5)		Uitgeintegreerd:
Consensus	8,35	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-09	}	Pf = 1,10E-05 per jaar β = 4,24 op jaarbasis
	9,55	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-09		
	10,20	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-09		
	10,55	1,00E-02	1,00E-02	1,00E-03	1,00E-07		
	10,85	1,00E-01	9,00E-01	1,00E-02	9,00E-04		
	11,00	9,00E-01	9,00E-01	1,00E-01	8,10E-02		
	11,15	9,90E-01	9,90E-01	5,00E-01	4,90E-01		

Uit de resultaten blijkt dat bij de gemiddelde score een betrouwbaarheidsindex van 4,20 is berekend en voor de consensus een index van 4,24. Beide zijn groter dan de vereiste betrouwbaarheid zoals voor het mechanisme Graserosie kruin en binnentalud (GEKB) van 4,07 is vereist voor TiWa. Daarmee wordt aan de vereiste veiligheid voldaan.

Stel dat de kering uit minder erosiebestendig materiaal (meer zandiger materiaal of aanwezigheid van zandscheg) bestaat, dan zal de score voor de knoop 4/5 wat lager uit kunnen vallen (ondanks dat er hier vermoedelijk in de basisbeoordeling nog de nodige conservatisme is meegenomen). Stel dat vanaf buitenwaterstanden met kans van voorkomen van 1/3.000 per jaar een kansklasse lager scoren, leidt dat tot de volgende resultaten.

	Waterstand [m tov NAP]	Knoop 2: overslag leidt tot erosie	Knoop 3: Geen herstel	Knoop 4 / 5: Erosie leidt tot bres	Gecombineerd (Pf;knp 1 x 3 x 4/5)		Uitgeintegreerd:
Consensus	8,35	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-09	}	Pf = 3,16E-05 per jaar β = 4,00 op jaarbasis
	9,55	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-09		
	10,20	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-03	1,00E-09		
	10,55	1,00E-02	1,00E-02	1,00E-02	1,00E-06		
	10,85	1,00E-01	9,00E-01	1,00E-01	9,00E-03		
	11,00	9,00E-01	9,00E-01	5,00E-01	4,05E-01		
	11,15	9,90E-01	9,90E-01	9,00E-01	8,82E-01		

De betrouwbaarheidsindex reduceert van een waarde van 4,24 (consensus) naar een waarde van 4,0. De faalkans neemt hierdoor met orde grootte een factor 3 toe.

Gebeurtenis: Gebouw op binnentalud/berm van de kering -falen door onderloopsheid

De woning(en) is/zijn aanwezig en ook de aansluiting op het dijklichaam is in goede staat (zoals bv. vergund). De waterstand op de rivier stijgt. Als gevolg van deze stijging stijgt de freatische waterstand in de kering en de stijghoogte in de watervoerende zandlaag. Als gevolg van deze stijghoogte treedt opbarsten op ter plaatse van kruipruimte en/of in kelders van woning. De geconcentreerde kwelstroom neemt zand mee (ontstaan van zandmeevoerende wel). Deze kwelstroming wordt niet opgemerkt en/of niet 'opgekist'. Er ontstaat een doorgaande pipe in de richting van de waterkering. De pipe ruimt verder en leidt uiteindelijk tot een kruinverlaging van de waterkering. Buitenwaterstand is dermate groot dat erosie als gevolg van golfoverslag en/of golfoverloop en of instabiliteit van het dijklichaam leidt tot een bres. Deze bres heeft een overstroming van het achterliggende gebied met substantiële schade en slachtoffers tot gevolg.

Gebouw is geamoveerd (niet meer aanwezig) in aanloop van een hoogwaterperiode of gebouw bezwijkt als gevolg van hoogwateromstandigheden.

Gebeurtenis: gebouw gesloopt in aanloop van hoogwaterperiode

In aanloop van een dijkversterking is gebouw gesloopt en er is 'gat' in bekleding aanwezig. In periode, na signalering van komst van hoogwater, zijn geen (provisorische) herstelmaatregelen uitgevoerd. Als gevolg van golfoverslag ontstaat er een overslagdebiet over de kering. Het overslagdebiet leidt tot stroomsnelheden op binnentalud en/of berm. Indien een kritieke snelheid wordt overschreven zal de aanwezige 'erosie'kuil zich buitenwaarts en dus richting de kruin verschuiven. Uiteindelijk ontstaat er een bres (als gevolg van headcut-erosie en/of bijvoorbeeld STMI) die leidt tot een overstroming van het achterliggende gebied met substantiële schade en slachtoffers tot gevolg.

Gebeurtenis: gebouw stort in tijdens hoogwaterperiode

Gedurende een hoogwaterperiode stort de aanwezige bebouwing in. Als gevolg hiervan ontstaat 'schade' aan het binnentalud en/of berm van de waterkering. De waterstand op de rivier stijgt. Als gevolg van deze stijging stijgt de freatische waterstand in de kering en de stijghoogte in de watervoerende zandlaag. Als gevolg van golfoverslag ontstaat er een overslagdebiet over de kering. Het overslagdebiet leidt tot een geconcentreerde stroming langs de bebouwing. Indien een kritieke snelheid wordt overschreven ontstaat er een erosiekuil langs de gevels van de bebouwing. Deze beginnende erosie wordt niet opgemerkt, (provisorisch) hersteld. Overslagdebiet (en daarmee waterstand op de rivier blijft aanwezig) waardoor een erosiekuil zich buitenwaarts en dus richting de kruin verschuift. Uiteindelijk ontstaat er een bres (als gevolg van headcut-erosie en/of bijvoorbeeld STMI) die leidt tot een overstroming van het achterliggende gebied met substantiële schade en slachtoffers tot gevolg



Waterschap
Rivierenland

Waterschap Rivierenland
Postbus 599
4000 AN Tiel
(0344) 64 90 90
www.waterschaprivierenland.nl