



Onderzoek normering wateroverlast

Pilotstudie wateroverlast Friesland

Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer

24 april 2023

Project
Opdrachtgever

Onderzoek normering wateroverlast
Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer

Document
Status
Datum
Referentie

Pilotstudie wateroverlast Friesland
Definitief
24 april 2023
133091/23-006.730


Projectcode
Projectleider
Projectdirecteur

133091
G.P. van Rinsum MSc
Ir. M.L. Aalberts

Auteur(s)
Gecontroleerd door
Goedgekeurd door

Ir. D.B. van den Heuvel, ir. D.G. Fiolet
G.P. van Rinsum MSc, ir. M.L. Aalberts, I.H. Phernambucq MSc
G.P. van Rinsum MSc

Paraaf



Adres

Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V. | Deventer
Daalsesingel 51c
Postbus 24087
3502 MB Utrecht
+31 (0)30 765 19 00
www.witteveenbos.com
KvK 38020751

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden veeelvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	6
1.1	Aanleiding	6
1.2	Definitie integrale risicoanalyse wateroverlast	6
1.3	Onderzoeksopzet	7
1.4	Leeswijzer	7
2	BESCHRIJVING PILOTGEBIED	8
2.1	Ligging	8
2.2	Geschiedenis pilotgebied	9
2.3	Maaiveldhoogte	9
2.4	Bodemopbouw	10
2.5	Boezemwatersysteem	11
2.6	Polderwatersysteem	12
2.7	Landgebruik	13
2.8	Samenvatting van vigerende wateroverlastnormen	13
3	INTEGRAAL BESCHERMINGSNIVEAU	14
3.1	Beschermd belang	14
3.1.1	Inrichting pilotgebied	14
3.1.2	Schade aan beschermd belang als gevolg van wateroverlast	15
3.2	Bedreigingen aan het beschermd belang	16
3.2.1	Functioneren watersysteem	16
3.2.2	Functioneren waterkeringensysteem	18
3.2.3	Faalmechanismen integraal water- en waterkeringensysteem	19
3.2.4	Correlatie faalmechanismen	21
3.3	Wateroverlastrisico en basisbeschermingsniveau	22
3.3.1	Beschrijving wateroverlastrisico	23
3.3.2	Acceptabel wateroverlastrisico (basisbeschermingsniveau)	24
3.3.3	Combineren verschillende wateroverlastrisico's tot een integraal risico	24
3.4	Relatie met water en bodem sturend	25
3.5	Visualisatie / communicatie	25
3.6	Conclusies	25

4	WATEROVERLASTRISICO FAALMECHANISMEN	27
4.1	Neerslagstatistiek	27
4.2	Wateroverlastrisico faalmechanisme 1: wateroverlast door onvoldoende afvoer naar de lokale waterhuishouding	28
4.2.1	Waterdiepte faalmechanisme 1	28
4.2.2	Schade faalmechanisme 1	30
4.2.3	Jaarlijks wateroverlastrisico faalmechanisme 1	30
4.3	Wateroverlastrisico faalmechanisme 2: wateroverlast door onvoldoende capaciteit polderwatersysteem	31
4.3.1	Waterdiepte faalmechanisme 2	31
4.3.2	Schade faalmechanisme 2	31
4.3.3	Jaarlijks wateroverlastrisico faalmechanisme 2	33
4.4	Wateroverlastrisico faalmechanisme 3: falen waterkering	33
4.4.1	Waterdiepte faalmechanisme 3	33
4.4.2	Schade faalmechanisme 3	33
4.4.3	Jaarlijks wateroverlastrisico faalmechanisme 3	34
4.5	Combineren wateroverlastrisico's faalmechanismen tot integraal risico	34
4.5.1	Conclusies afhankelijkheid	37
4.6	Wateroverlastrisico zoals ervaren vanuit het (lokale) beschermd belang	37
4.7	Basisbeschermingsniveau pilotgebied (MKBA)	38
4.7.1	Kosten versterking lokale waterafvoer (faalmechanisme 1)	39
4.7.2	Kosten dijkversterking (faalmechanisme 3)	40
4.7.3	Berekening basisbeschermingsniveau pilotgebied	40
4.8	Conclusies	43
4.9	Reflectie op analyses	44
5	VERGELIJKING HUIDIG WATEROVERLASTRISICO MET BASISBESCHERMINGSNIVEAU	45
5.1	Opgave bij optimaal basisbeschermingsniveau	45
5.2	Opgave bij semi-optimaal basisbeschermingsniveau (binnen 10 % van optimum)	46
5.3	Conclusies	46
6	MOGELIJKE MAATREGELEN TEGEN WATEROVERLAST	48
6.1	Mogelijke maatregelen in het stedelijk waterbeheer	48
6.1.1	Kansreductie	49
6.1.2	Gevolgreductie	50
6.1.3	Specifieke maatregelen in het pilotgebied	50
6.2	Fictieve casus: nieuwe woonkern	53
6.2.1	Relatie fictieve woonkern met faalmechanismen	53
6.2.2	Locatiekeuze op basis van integrale afweging	55

6.3	Conclusies	57
7	GEDIFFERENTIEERD NORMEREN HOOGTE	58
7.1	Falen met bezwijken en falen zonder bezwijken	58
7.2	Falen met bezwijken en falen zonder bezwijken in integrale aanpak	59
7.3	Kans op falen zonder bezwijken (overslag)	59
7.4	Gevolg falen zonder bezwijken (overslag)	60
7.5	Conclusies	61
8	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	62
8.1	Conclusies	62
8.2	Aanbevelingen	65
9	REFERENTIES	66
	Laatste pagina	66
	Bijlage(n)	Aantal pagina's
I	Achtergrond vigerende normen wateroverlast	2
II	Modelkeuzen	2
III	Visualisatie en communicatie van het basisbeschermingsniveau	1
IV	Berekeningen MKBA	3

1

INLEIDING

1.1 Aanleiding

Op het gebied van wateroverlast en waterveiligheid is er sprake van verschillende ontwikkelingen. Zo zijn er recent studies gedaan naar de normeringsmethode en veiligheidsbenadering van regionale keringen. Tegelijkertijd zijn er discussies over de provinciale normen wateroverlast en de toekomstbestendigheid daarvan.

Behalve de ontwikkelingen binnen de huidige veiligheidsmethodieken, is er de laatste jaren ook onderzoek gedaan naar de mogelijkheden voor het toepassen van een integrale aanpak wateroverlast. Sinds 2018 is de STOWA betrokken bij verkennende studies naar en de ontwikkeling van een integrale risicoanalyse voor wateroverlast.

In de huidige fase is het doel om de methode van integrale risicoanalyse wateroverlast weer een stap verder te brengen en toe te werken naar een reproduceerbare en in de praktijk toepasbare methodiek. Dit sluit ook aan bij aanbeveling 17 van de Beleidstafel Wateroverlast van maart 2022 [ref. 1]: 'Verbeter de toepassing normering wateroverlast uit regionale watersystemen door waterschappen en STOWA de mogelijkheden te laten verkennen van een integrale risicobenadering, waarbij naast inundatie vanuit regionale watersystemen ook naar de risico's voor overlast door falen van regionale waterkeringen en water op straat (riolering) wordt gekeken'. De aanbeveling is bekrachtigd in het eindadvies van de commissie wateroverlast [ref. 1] waarin deze wens nadrukkelijk is beschreven¹.

Om de methodiek een stap verder te brengen wordt onder leiding van de STOWA voor vier pilotlocaties een integrale aanpak wateroverlast toegepast. Dit rapport beschrijft één van deze pilotstudies.

1.2 Definitie integrale risicoanalyse wateroverlast

In het vervolg van dit document wordt de onderstaande definitie voor een integrale risicoanalyse gehanteerd:

Bij een integrale risicoanalyse verandert het perspectief van het deelsysteem dat voor bescherming moet zorgen (de riolering, de watergang, de waterkering), naar het 'lijdend voorwerp' dat een bepaalde bescherming verlangt (gebouw, perceel of gebied). De benadering geeft de geboden bescherming voor een gebied of functie weer, in plaats van de eisen per deelsysteem van het watersysteem.

Bij de huidige sectorale benadering wordt elk deel van het watersysteem afzonderlijk beschouwd vanuit zijn/haar eigen veiligheid- en risicobenadering. Er zijn verschillende ontwerprichtlijnen en normeringen voor de riolering, de watergangen en de regionale waterkeringen.

¹ Zie voor het volledige tijdspad ontwikkeling risicogerichte normering bijlage F van het eindadvies [ref. 2].

Bij een integrale risicoanalyse daarentegen wordt het totale risico van wateroverlast beschouwd op een specifieke locatie/gebied veroorzaakt door een bijdrage vanuit de verschillende delen van het watersysteem, de ruimtelijk omgeving én de crisisbeheersing.

Door dit nieuwe perspectief ontstaan twee nieuwe vrijheidsgraden:

- gevolgbeperkende maatregelen hoeven niet langer alleen aan het watersysteem gekoppeld te zijn, maar kunnen ook in een ander deelsysteem (en mogelijk op een andere locatie binnen het beschouwde gebied) uitgevoerd worden;
- maatregelen kunnen worden uitgewisseld tussen de verschillende deelsystemen.

1.3 Onderzoeksopzet

In het voorliggende document is één van de vier pilotonderzoeken beschreven die door de STOWA zijn geïnitieerd [ref. 2] om voor een specifiek pilotgebied een integrale risicoanalyse wateroverlast toe te passen. In dit document is het onderzoek in het beheersgebied van Wetterskip Fryslân beschreven. In deze studie wordt de methodiek onderzocht aan de hand van zeven onderzoeksvragen.

De eerste zes onderzoeksvragen zijn gelijk voor alle pilotstudies:

- 1 Hoe druk je binnen een integrale risicobenadering het (basis)beschermingsniveau op een locatie in het gebied uit en hoe bepaal je het?
- 2 Hoe maak je de vertaling van het (locatie specifieke) beschermingsniveau naar de kans op het falen van een deelsysteem binnen het watersysteem? En hoe maak je vervolgens de vertaling naar de kans van het optreden van een relevante weersomstandigheid?
- 3 Welke aandachtspunten komen naar voren in het proces, bij de uitvoering van de methodiek (onderzoeksvraag 1 en 2)?
- 4 Welke opgave doet zich voor wanneer de huidige situatie in het gebied wordt vergeleken met het gewenste (basis)beschermingsniveau zoals gedefinieerd voor onderzoeksvraag 1 en 2? Met de huidige situatie bedoelen we de huidige inrichting van het maaiveld en de deelsystemen van het watersysteem waarbij die voldoen aan de vigerende normering.
- 5 Welke maatregelen kunnen *de kans van optreden* van wateroverlast bij de locatie/het gebied beïnvloeden? Welke maatregelen zijn het meest kosteneffectief?
- 6 Welke maatregelen kunnen *de gevolgen* van wateroverlast bij de locatie/het gebied beïnvloeden? Welke maatregelen zijn het meest kosteneffectief?

Deze pilotstudie behandelt als enige het onderstaande extra onderwerp:

- 7 In de pilot is voor een kadevak langs een meer voor het falen op hoogte (zonder dijkdoorbraak) een andere norm gehanteerd dan voor het falen op sterkte (een dijkdoorbraak), vanwege het aanzienlijke verschil in de omvang van de gevolgen. De vereiste norm voor hoogte is daarbij bepaald op basis van een toelaatbaar volume overslaand water, gebaseerd op het ontstaan van wateroverlast in het beschermd gebied. De maatgevende situatie betreft dan harde wind uit noordelijke richting. Werk in deze pilot de eis ten aanzien van de hoogte nader uit, op basis van een integrale norm ten aanzien van de kans op wateroverlast.

1.4 Leeswijzer

De zeven onderzoeksvragen vormen de structuur van voorliggend rapport en zijn beschouwd in onderstaande hoofdstukken:

- in hoofdstuk 2 is eerst een omgevingsanalyse uitgevoerd;
- in hoofdstuk 3 is deelvraag 1 beschouwd;
- in hoofdstuk 4 zijn deelvragen 2 en 3 beschouwd;
- in hoofdstuk 5 is deelvraag 4 beschouwd;
- in hoofdstuk 6 zijn deelvragen 5 en 6 beschouwd;
- in hoofdstuk 7 is deelvraag 7 beschouwd;
- in hoofdstuk 8 zijn conclusies en aanbevelingen opgenomen.

2

BESCHRIJVING PILOTGEBIED

In dit hoofdstuk is het pilotgebied beschreven.

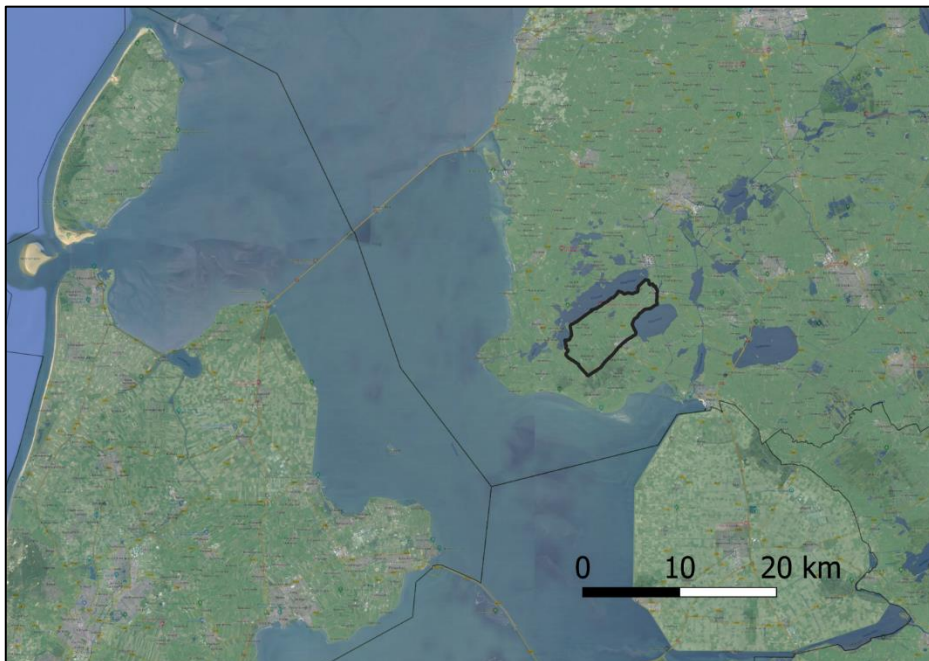
2.1 Ligging

De ligging van het pilotgebied is weergegeven in afbeelding 2.1. Het pilotgebied is gesitueerd in het zuidwesten van de provincie Friesland tussen het Fluessen en het Slotermeer. Het pilotgebied valt binnen twee gemeenten (grens weergegeven in afbeelding 2.2):

- gemeente Súdwest-Fryslân;
- gemeente De Fryske Marren.

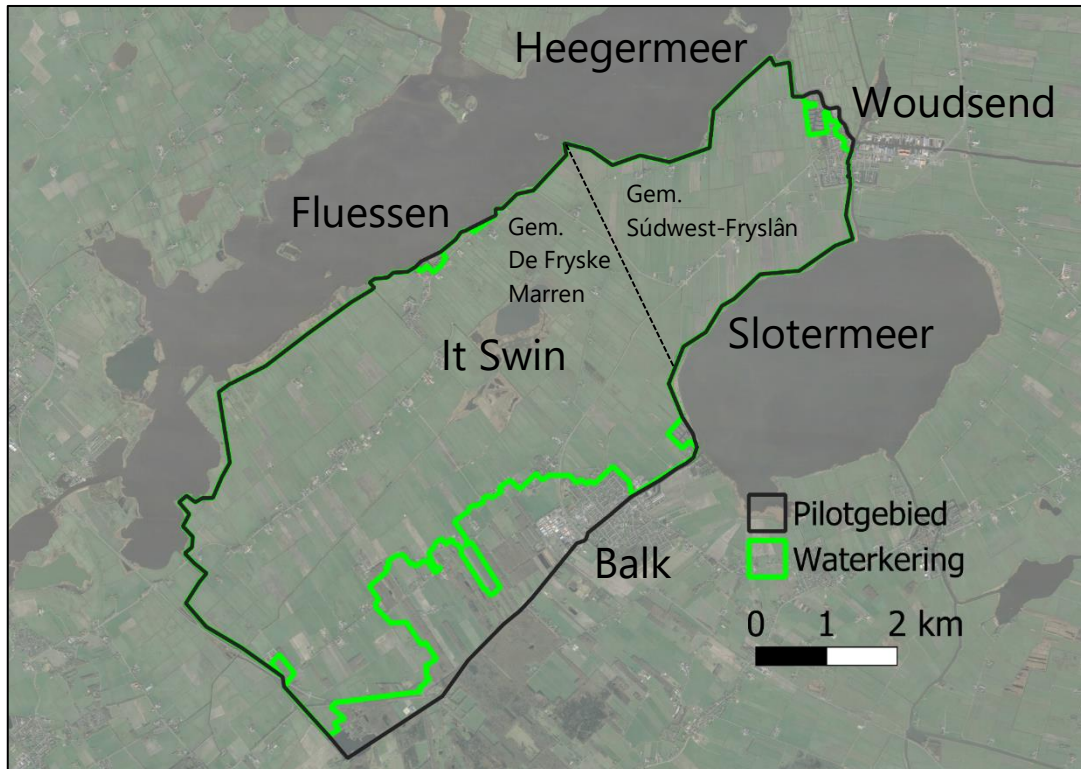
Het gebied is omringd door een regionale waterkering van Wetterskip Fryslân, genaamd kadering 103, met een lengte van 48,3 km.

Afbeelding 2.1 Ligging pilotgebied in Zuidwest Friesland



Het pilotgebied ligt in landelijk gebied en bestaat uit verschillende polders: Grootte Noordwolderpolder, Venenpolder, Spookhoekstervaart, Harich-Elahuizen en Yndyk. Aan de randen van het pilotgebied bevinden zich twee dorpen: Woudsend en Balk, waarvan de locatie is weergegeven in afbeelding 2.2. Binnen het gebied bevinden zich nog een aantal kleinere woonkernen, landbouwgronden en een natuurgebied (It Swin). Rondom Balk en Woudsend volgt de waterkering de hoge grond, waardoor deze niet direct langs de waterlijn loopt.

Afbeelding 2.2 Pilotgebied (N.B. de aangegeven gemeenten lopen verder buiten het pilotgebied)



2.2 Geschiedenis pilotgebied

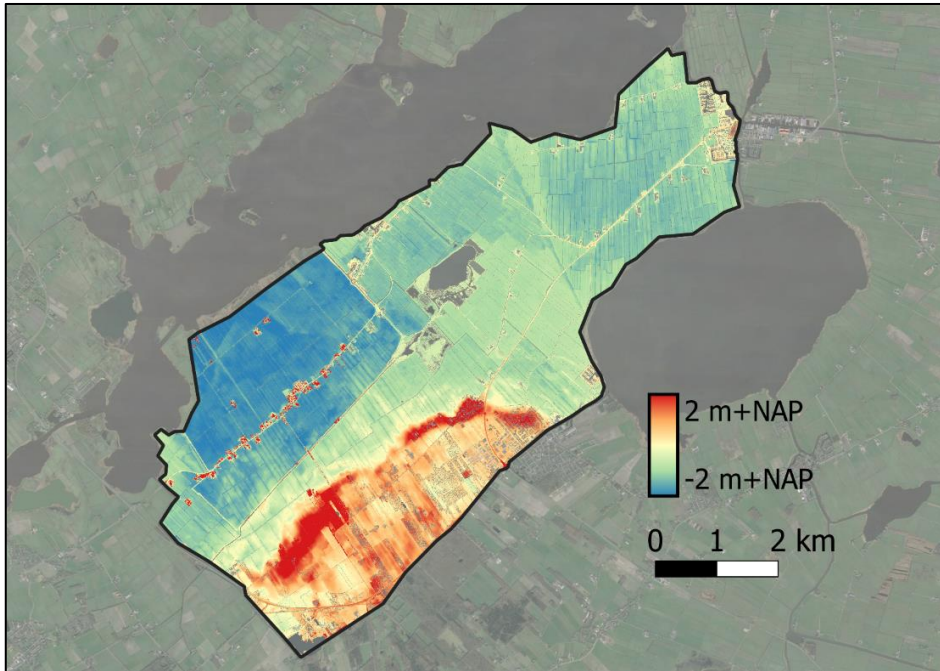
De contouren van Zuidwest Friesland zijn in de voorlaatste ijstijd (circa 800 v. Chr.) gevormd [ref. 3]. Door de beweging van een ijskap vanuit Scandinavië over Noord- en Midden Nederland ontstaat het Gaasterlandse stuwwal-landschap. In de periode na de voorlaatste ijstijd zorgden inbraken vanuit de zee voor de afzetting van klei. Daarbij vormde zich een nieuw kleilandschap met strandwallen en kwelders. Verder landinwaarts ontwikkelde zich gedurende deze periode een grootschalig veenlandschap. Aan het begin van de ijzertijd (circa 700 v. Chr.) werden de kweldergronden steeds meer gebruikt voor veeteelt en akkerbouw. Het kweldergebied slibde steeds verder op en het achterland bleef steeds langer droog liggen tijdens vloed. In deze periode ontstond er permanente bewoning in Zuidwest Friesland op terpen. Vanaf de twaalfde eeuw werden de hoofdstructuren van het landschap definitief. De veenontginningen hadden in deze periode hun grens bereikt en door de dalende bodem werd het steeds moeilijker om de veengebieden te ontwateren. Om toch droge voeten te houden, werd een netwerk van sloten, kanalen en vaarten aangelegd. Ook veel van de Friese meren zijn in deze periode ontstaan.

Het pilotgebied ligt midden in Zuidwest Fryslân en wordt omsloten door verschillende meren, vaarten en kanalen. De polders die omsloten worden door kadering 103 bestaan voornamelijk uit (deels ontgonnen) veengronden. Richting het zuidelijke deel van de polder verandert de ondergrond langzaam naar zand en de hoge gronden van het Gaasterland. Dit is duidelijk terug te zien in de zandige hoge gronden in het zuiden van het pilotgebied. Typerend voor dit gebied is de ligging van de dorpskernen op relatieve hoge gronden, zoals de ligging van de dorpskernen Balk en Woudsend.

2.3 Maaiveldhoogte

In afbeelding 2.3 is een hoogtekartaat weergegeven van het gebied op basis van het AHN3. Het westelijk deel van het achterland ligt laag met een maaiveldhoogte rond NAP -2,0 á NAP -1,5 m. Het noordelijke deel van het achterland ligt rond NAP -1,5 á NAP -1,0 m. De rest van het achterland ligt rond NAP -1,0 á NAP +0,5 m, met uitzondering van de hoge gronden in het zuiden. Deze liggen rond NAP +1,0 m en hoger.

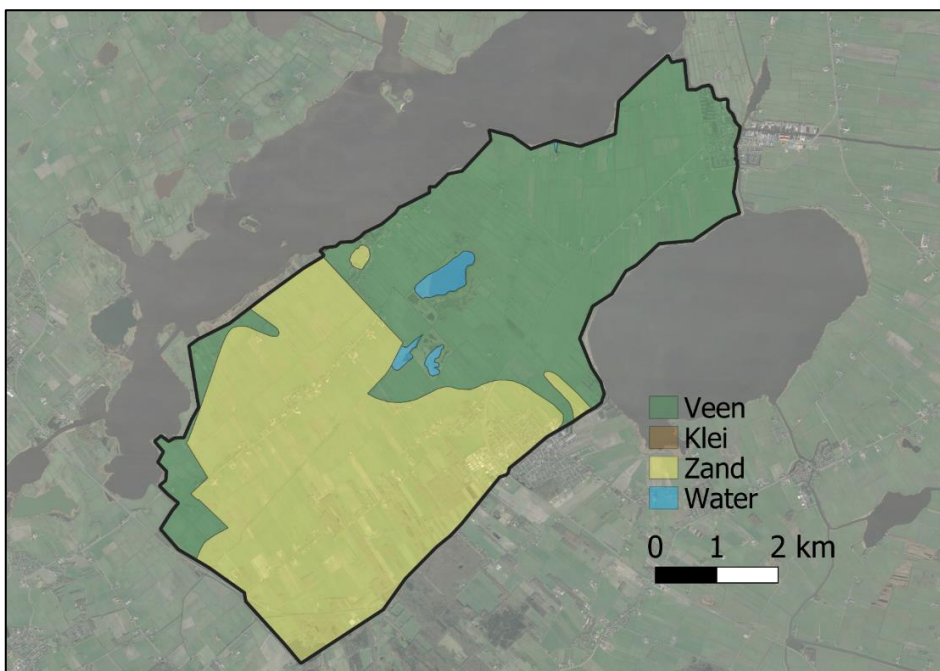
Afbeelding 2.3 Hoogteprofiel achterland op basis van AHN3



2.4 Bodemopbouw

In afbeelding 2.4 is een bodemtypekaart van het pilotgebied weergegeven. Hiervoor is gebruik gemaakt van de Bodemfysische Eenhedenkaart (BOFEK) [ref. 4]. In de bodemtypekaart is te zien dat de bodem van het noordwestelijke deel van het pilotgebied hoofdzakelijk bestaat uit veen. In het zuidelijk deel is de bodem geclassificeerd als zand. Het lager gelegen deel van dit gebied waren oorspronkelijk veengronden die zijn ontgonnen. In het hoger gelegen zuiden zijn zandgronden aanwezig. Dit sluit aan bij de verwachte bodemopbouw op basis van de geschiedenis van het pilotgebied zoals beschreven in paragraaf 2.2.

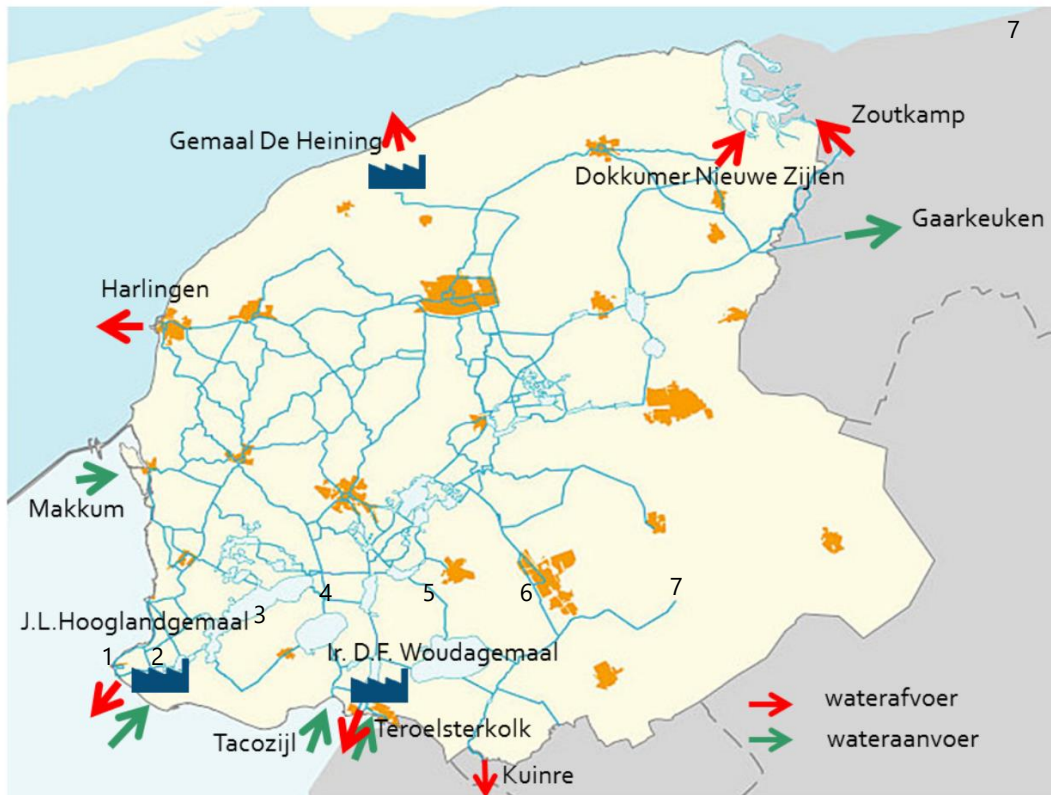
Afbeelding 2.4 Bodemtypologie in het pilotgebied volgens BOFEK [ref. 4]



2.5 Boezemwatersysteem

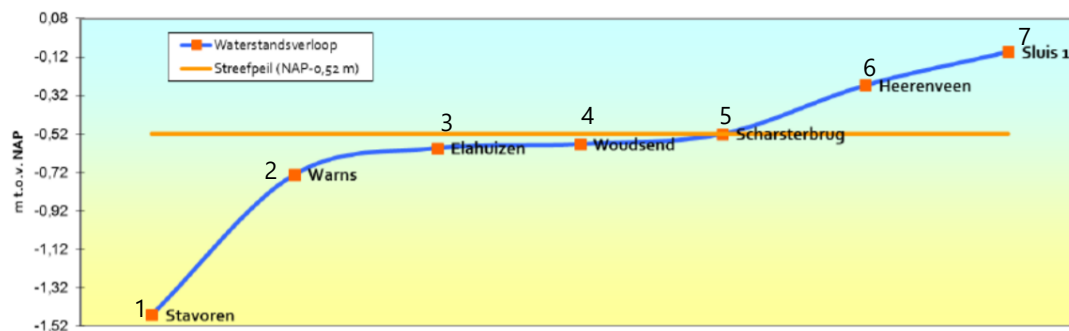
Overtollig water uit de polder wordt geloosd op de Friese boezem. Als het waterpeil in de boezem stijgt (neerslag en/of scheefstand door wind) zorgt dit ook voor een (hoger) overstromingsrisico. Het watersysteem is dus een essentieel onderdeel in de verschillende wateroverlastrisico's. De Friese boezem is een aaneengesloten wateroppervlak van circa 17.000 hectare. Het boezemstelsel van Wetterskip Fryslân wtert af op het IJsselmeer en de Waddenzee middels gemalen en (spui)sluizen, zoals weergegeven in afbeelding 2.5. Daarnaast is er een aansluiting op de boezem van Noorderzijlvest.

Afbeelding 2.5 Watersysteem Friese boezem [ref. 5]



Door opwaaiing en scheefstand kan het waterpeil variëren langs de boezem. In afbeelding 2.6 is hiervan een voorbeeld weergegeven.

Afbeelding 2.6 Het verschil in waterpeil over de boezem als gevolg van extreme wind in 2017 [ref. 5] (ligging zie afbeelding 2.5)

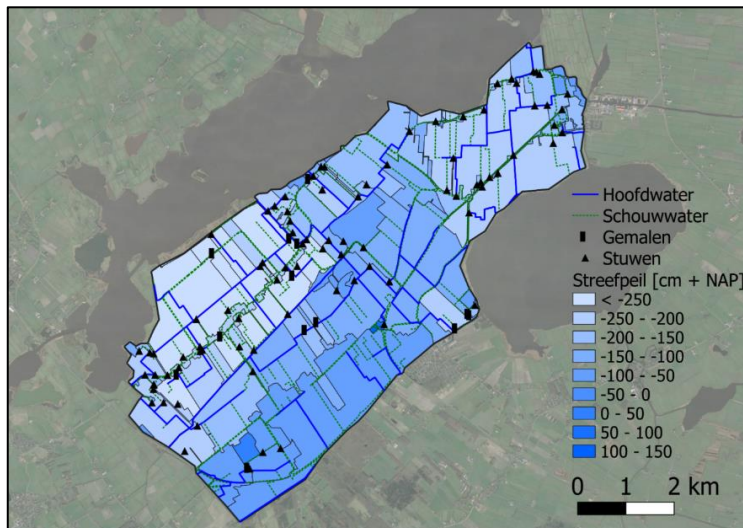


2.6 Polderwatersysteem

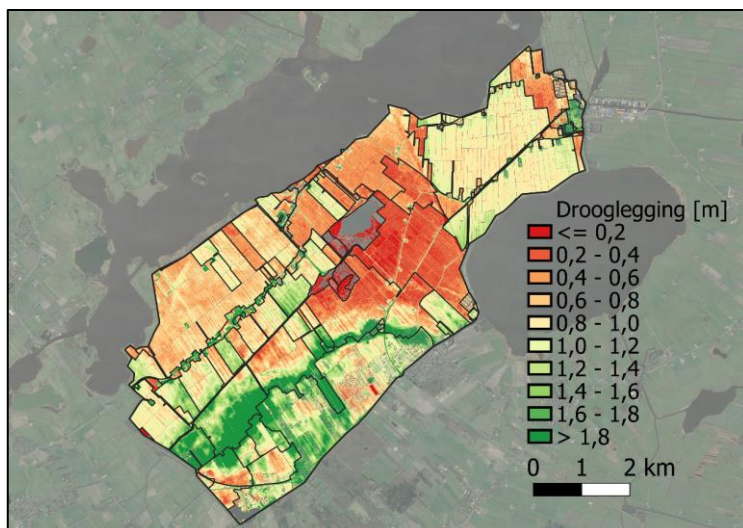
Binnen de polder ligt een watersysteem dat bestaat uit verschillende watergangen. In afbeelding 2.7 is het watersysteem in de polder op hoofdlijnen weergegeven, evenals de peilgebieden en de gemalen:

- binnen het watersysteem worden hoofdwateren en schouwwateren onderscheiden:
 - hoofdwateren zijn van primair belang voor de aan- en afvoer van water. Om die reden hebben de hoofdwateren een minimaal dwarsprofiel. De hoofdwateren worden onderhouden door het Wetterskip Fryslân;
 - schouwwateren voorzien in de water-aan- en afvoer van individuele percelen. Schouwwateren worden onderhouden door de aanliggende perceeleigenaren;
- de polder is verdeeld in verschillende peilvakken waarin een streefpeil geldt. In ongeveer de helft van de peilgebieden wordt er onderscheid gemaakt tussen zomer- en winterpeil. In de regel bedraagt dit verschil circa 20 cm met uitschieters tot 30 cm verschil. Het streefpeil ligt lager in de laagstgelegen delen van het studiegebied. Ter plaatse van de hoge gronden ligt het peil juist hoger. De resulterende drooglegging is weergegeven in afbeelding 2.8;
- de grenzen van de peilgebieden worden gevormd door stuwen, gemalen en dammen. De stuwen en gemalen zorgen voor de peilregeling in de gebieden.

Afbeelding 2.7 Watersysteem (per peilvak is het hoogste streefpeil weergegeven)



Afbeelding 2.8 Drooglegging bij hoogste streefpeil per peilvak

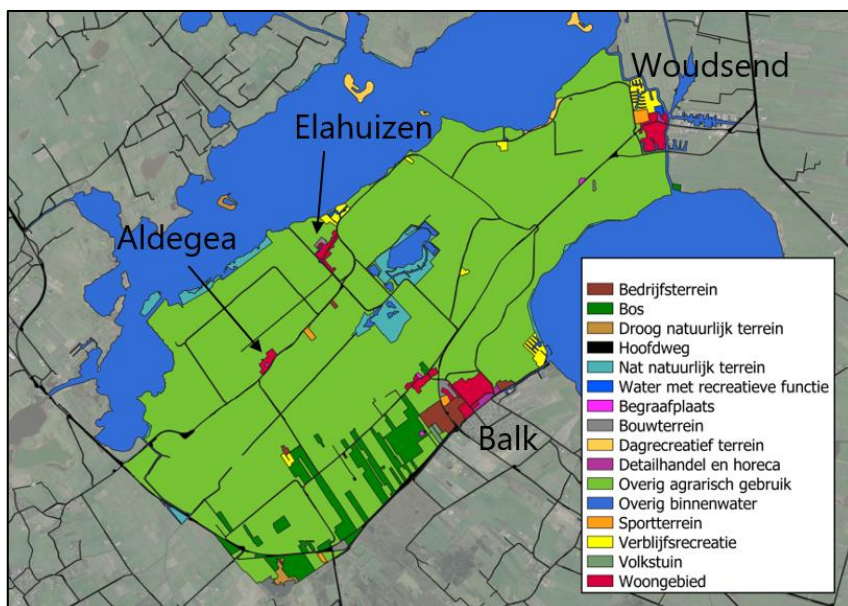


2.7 Landgebruik

In afbeelding 2.9 is het landgebruik in het pilotgebied weergegeven. Grote delen van het pilotgebied hebben een agrarische functie. De bebouwde gebieden Balk en Woudsend zijn duidelijk te herkennen aan de randen van het pilotgebied. Er zijn nog twee relevante bebouwde gebied (Aldegea en Elahuizen) weergegeven. Er is ook nog verspreid liggende bebouwing in het buitengebied aanwezig. De hoge gronden in het zuiden zijn bosgebied. Een aantal landgebruikfuncties zijn door het schaalniveau niet goed te zien in afbeelding 2.9 en worden separaat vermeld:

- drinkwaterwinning: er is een waterwinningslocatie aanwezig ten noordwesten van Aldegea. Op deze locatie wordt jaarlijks circa 10 miljoen m³ grondwater onttrokken;
- tankstations: in Aldegea (2) en Balk (1) bevinden zich tankstations. Deze zijn niet apart gecategoriseerd in afbeelding 2.8.

Afbeelding 2.9 Landgebruik pilotgebied op basis van Bestand Bodemgebruik 2015 (BBG) van het CBS



2.8 Samenvatting van vigerende wateroverlastnormen

In bijlage I zijn de huidige normen met betrekking tot wateroverlast in het pilotgebied beschreven:

- Voor kleinere neerslaghoeveelheden zijn er geen eisen of normen. Voor grotere neerslaghoeveelheden verzorgt de riolering in het stedelijk gebied een belangrijk deel de afvoer van overtollig hemelwater. Er gelden geen wettelijke eisen of normen aan de riolering, maar er bestaan wel praktijkrichtlijnen. Het betreft bijvoorbeeld de Kennisbank van Stichting RIONED [ref. 6], die uitgaat van een herhalingstijd van twee jaar (bui08, 20 mm in één uur) voor water op straat.
- bovendien zijn de gemeenten Súdwest-Fryslân en De Fryske Marren zijn verplicht om met een beleidsplan invulling te geven aan de gemeentelijke zorgplichten voor hemelwater, afvalwater en grondwater. De invulling is beschreven in de Gemeentelijke Rioleringsplannen (GRP's). Daarnaast voeren beide gemeenten een periodieke hydraulische toetsing op de riolering. De hydraulische toets is beschreven in het Basisrioleringsplan;
- voor het regionale watersysteem zijn inundatienormen voor de afvoer- en bergingscapaciteit in de provinciale waterverordening (voorgeschreven door de Waterwet). Deze normen staan ook bekend als de NBW-normen (Nationaal Bestuursakkoord Water) en verschillen per categorie landgebruik. In bijlage I zijn de verschillende categorieën weergegeven die de provincie Friesland hanteert;
- voor de regionale waterkeringen gelden normeringen conform de IPO-systematiek (IPO-klasse). Deze normen zijn vastgelegd in de provinciale waterverordening. De waterkering in het pilotgebied heeft een IPO-klasse III met een bijbehorende overschrijdingskans van 1/100 per jaar.

3

INTEGRAAL BESCHERMINGSNIVEAU

In dit hoofdstuk is het concept van het beschermingsniveau beschouwd t.b.v. onderzoeksvraag 1: *Hoe druk je binnen een integrale risicobenadering het (basis)beschermingsniveau op een locatie in het gebied uit en hoe bepaal je het?*

In paragraaf 3.1 is het beschermd belang beschouwd. Hierin is gekeken naar de inrichting van het pilotgebied en de effecten van wateroverlast. In paragraaf 3.2 zijn de aanwezige hydraulische dreigingen beschouwd inclusief de raakvlakken en afhankelijkheden. In paragraaf 3.3 zijn op basis van het beschermd belang en de hydraulische dreigingen de concepten wateroverlastrisico en basisbeschermingsniveau gedefinieerd.

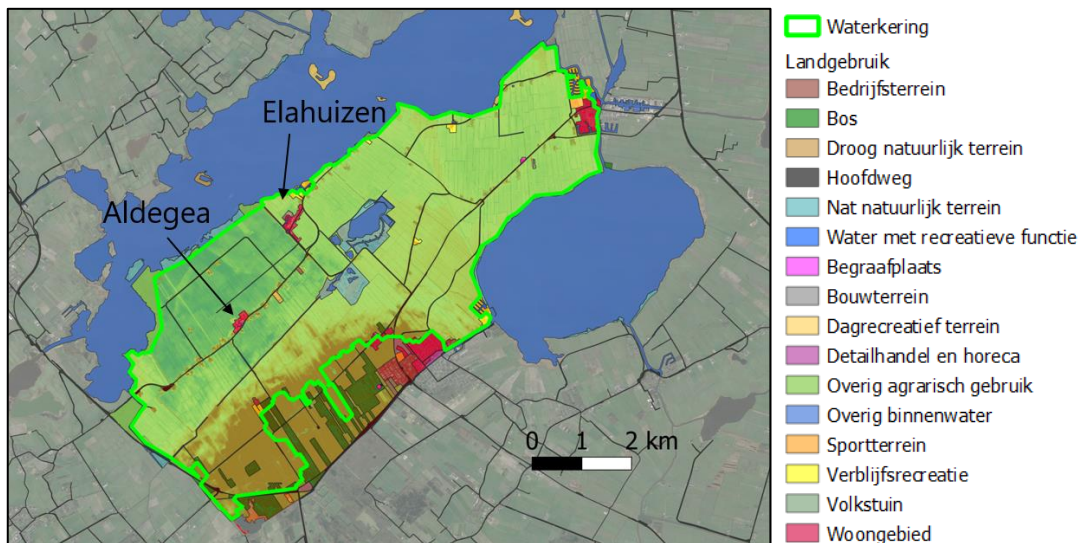
3.1 Beschermd belang

Het beschermd belang is beschouwd op basis van het landgebruik en een analyse van de potentiële gevolgen van wateroverlast, met als doel het beschrijven hoe dit leidt tot schade in het pilotgebied.

3.1.1 Inrichting pilotgebied

De ligging van de waterkering, de hoogteligging en het landgebruik van het pilotgebied (zie hoofdstuk 2) zijn over elkaar gelegd en weergegeven in afbeelding 3.1. Er is te zien dat de waterkering in het zuiden de hogere gronden rondom de bossen volgt. De dorpen Balk en Woudsend liggen ook op hoge grond. Aldegea en Elahuizen zijn lager gelegen en lijken door de lage ligging van het gebied kwetsbaar voor wateroverlast evenals de verspreid liggende bebouwing in de polder.

Afbeelding 3.1 Waterkering, landgebruik en hoogteligging overlappend



3.1.2 Schade aan beschermd belang als gevolg van wateroverlast

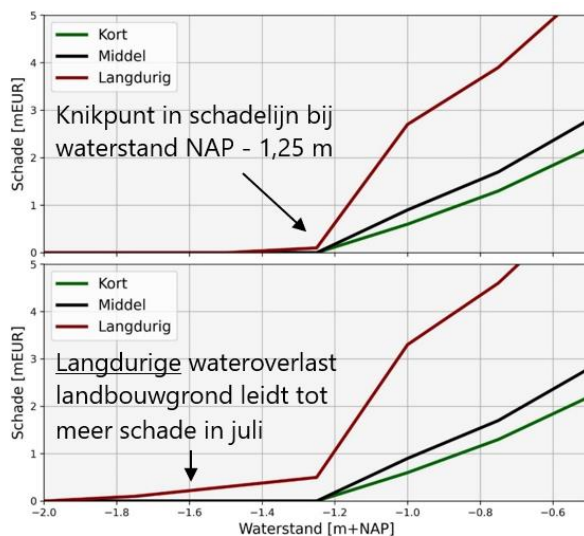
Met de Waterschadeschatter zijn verkennende waterschadeberekeningen uitgevoerd om inzicht te krijgen in potentiële waterschade in het pilotgebied. Het gehele gebied is hierbij beschouwd als één kom met een gelijke binnenwaterstand (N.B. dit leidt niet tot een constante waterdiepte door verschillen in maaiveldhoogte). Deze binnenwaterstand is gevarieerd van NAP -2,0 tot -0,75 m. Daarnaast is de duur van de belasting (blootstelling) gevarieerd, waarbij de volgende uren zijn aangehouden:

- kortdurend: één uur lang wateroverlast, na 6 uur functieherstel wegen en bebouwing;
- middel: 12 uur lang wateroverlast, na twee dagen functieherstel wegen en bebouwing;
- langdurig: 48 uur lang wateroverlast, na 10 dagen functieherstel wegen en bebouwing;

Vanwege de aanwezigheid van veel agrarisch gebied is zowel wateroverlast in januari (beperkte schade aan gewassen) als in juli (relatief meer schade aan gewassen) beschouwd. Het seizoen heeft potentieel ook effect op de schade voor recreatie, maar deze functie is zeer beperkt aanwezig in het pilotgebied (wel beschouwd).

De resulterende totale schade is weergegeven in afbeelding 3.2. De schade begint op te lopen vanaf een binnenwaterstand van NAP - 1,25 m. In de Waterschadeschatter is de schade ingedeeld per functie, waaruit blijkt dat vanaf deze waterstand de kantoorfunctie snel stijgende schade ondervindt. In juli leidt wateroverlast in laaggelegen agrarische gebieden tot significant meer schade dan in januari, maar alleen bij langdurige wateroverlast. Het knippunt in de schade treedt op zodra het water Aldegea bereikt, waar enkele (niet agrarische) bedrijven gevestigd zijn. Het functieverlies (kantoorfunctie in Waterschadeschatter) van deze bedrijven zorgt voor een snelle groei van de schade (met name bij langdurend functieverlies).

Afbeelding 3.2 Schade januari (boven) en juli (onder)



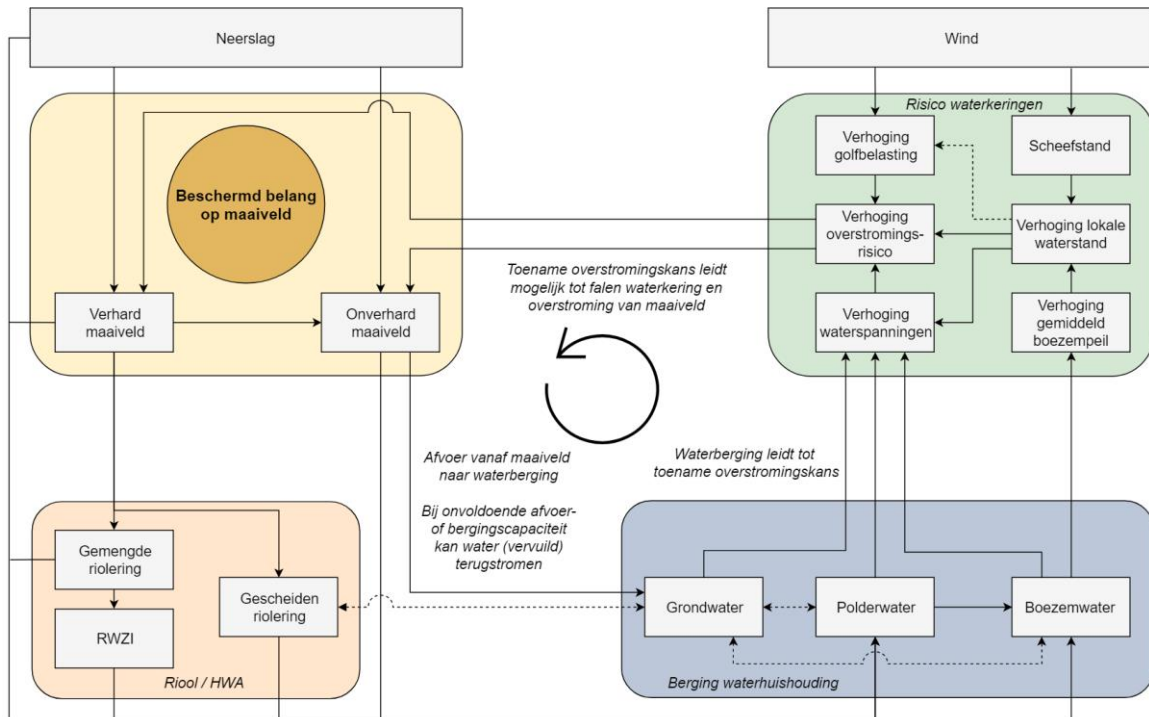
De Waterschadeschatter berekent de schade aan de hand van een functiekaart van het gebied (opgesteld op basis van BAG, TOP10NL, BRP, BGT en NWB¹). Indirecte schade, zoals misgelopen inkomsten door functieverlies, wordt door de Waterschadeschatter minder nauwkeurig meegenomen. Op basis van het type weg (primaair, secundair, tertiair of overig) is een schadebedrag per dag berekend voor de indirecte schade. Bij secundaire, tertiaire en overige wegen is deze indirecte schade zeer beperkt, maar als de bedrijven in Aldegea hierdoor hun functie verliezen, dan kan de schade significant zijn.

¹ Basisregistratie Adressen en Gebouwen, Topografisch basisbestand Kadaster, Basisregistratie Personen, Basisregistratie Grootchalige Topografie en Nationaal Wegenbestand respectievelijk.

3.2 Bedreigingen aan het beschermd belang

Het beschermd belang wordt bedreigd door verschillende hydraulische processen (bedreigingen). In afbeelding 3.3 is een overzicht gegeven van de verschillende interacties tussen het watersysteem en het waterkeringensysteem. Deze interacties zijn nader toegelicht in paragraaf 3.2.1 en 3.2.2.

Afbeelding 3.3 Overzicht functioneren watersysteem en waterkeringensysteem (stippellijnen zijn aanwezige relaties maar niet beschouwd in deze studie)



3.2.1 Functioneren watersysteem

Wateroverlast treedt op wanneer het maaiveld inundeert. Dit treedt op wanneer neerslag onvoldoende kan worden afgevoerd of op (daarvoor bestemde) lage plekken tijdelijk kan worden geborgen. Watertekorten, zoals droogte, verdamping en beperkte infiltratie door droge grond, zijn niet beschouwd. De volgende waterstromen worden onderscheiden:

- **Neerslag valt:** neerslag valt op het onverharde maaiveld, het verharde maaiveld of direct op het oppervlaktewater. Om wateroverlast te voorkomen dient dit water afgevoerd te worden naar het grondwater, het polderwater of het boezemwater (de waterberging), of naar tijdelijke bergingsvoorzieningen zoals wadi's;
- **Afstromen en infiltratie vanaf maaiveld:**
 - vanaf het onverharde maaiveld infiltreert water naar het grondwater. De mate waarin dit gebeurt is afhankelijk van het grondwaterniveau en de bodemkundige situatie. Daarnaast kan het water vanaf het onverharde maaiveld afstromen naar het oppervlaktewater;
 - vanaf het verharde maaiveld stroomt het water af naar het onverharde maaiveld, naar het oppervlaktewater of via de kolken naar het rioolstelsel.
- **Afvoeren via riolering / HWA:**
 - indien het rioolstelsel gescheiden is (HWA) kan het (overtollige) water direct naar het oppervlaktewater stromen. In Woudsend en Balk zijn enkele hemelwaterstelsels, maar is de riolering grotendeels gemengd;

- indien het rioolstelsel gemengd is, raakt het water vervuild met afvalwater. In dit geval dient het water langs de RWZI te gaan, voordat het naar het oppervlaktewater kan (mag) stromen. Het gemengde riool heeft daarnaast een overstort, zodat een te grote wateraanvoer vanaf het maaiveld direct kan afstromen op het oppervlaktewater en dit niet leidt tot een overbelasting van de RWZI en contact met gemengd afvalwater en regenwater in gebouwen en op straat wordt voorkomen;
- in het geval van een IT (infiltratie-transport)-riool (niet aanwezig in het pilotgebied) en bij lekkende rioolbuizen vindt er uitwisseling plaats tussen het schone hemelwater in het riool en het grondwater. Wanneer het grondwater hoger staat dan het niveau van het IT-riool, heeft het IT-riool een drainerende functie. Wanneer het grondwater lager staat dan het niveau van het IT-riool, heeft het IT-riool een infiltrerende functie. Dit specifieke riooltype is niet nader beschouwd in deze pilotstudie;
- **waterberging:** de waterberging bestaat uit berging op maaiveld, het grondwater, polderwater en het boezemwater. Het polderwater wordt, indien mogelijk, naar het boezemwater gepompt met gemalen. Er vindt daarnaast enige uitwisseling plaats tussen het grondwater en het oppervlaktewater. De mate waarin dit gebeurt, is afhankelijk van het peilverschil en van de bodemkundige situatie. Deze interactie is niet nader beschouwd in deze pilotstudie.

Wateroverlast ('water op straat') treedt op wanneer de waterafvoer onvoldoende is en leidt tot een waterstand op het maaiveld met schade als gevolg. Dit kan optreden bij het incorrect functioneren van één of meerdere waterstromen. Daarbij bepaalt de intensiteit van de neerslaggebeurtenis in sterke mate hoe dominant welke waterstroom is.

- **falen infiltratie:** het grondwater staat dusdanig hoog en/of de bodem is dusdanig ondoorlatend dat de infiltratie wordt beperkt. Het water infiltreert dan niet van het onverharde maaiveld naar het grondwater. Dit leidt tot water op het onverharde maaiveld of tot afstroming naar het verharde maaiveld, waardoor de kans op wateroverlast daar toeneemt.
- **falen afstroming:** de inrichting van het verharde maaiveld laat (op het kleinste schaalniveau) geen oppervlakkige afstroming naar onverhard maaiveld of het oppervlaktewater toe. Dit kan bijvoorbeeld komen door obstakels (muren, geluidsschermen, etc.) of door bodemdaling waardoor lokale depressies in het maaiveld ontstaan. Het resultaat is dat de riolering zwaarder wordt belast of dat wateroverlast optreedt;
- **falen instroming riolering:** de instroom van het verharde maaiveld naar de riolering is belemmerd. Dit kan veroorzaakt worden door een tekort aan of foutieve ligging van kolken, maar ook door achterstallig onderhoud of overbelasting van het rioolstelsel. Het gevolg is dat er meer water op het maaiveld blijft staan (wateroverlast) of dat het in andere richtingen afstroomt;
- **falen gemengde riolering:** het gemengde riool kan overbelast raken wanneer het aanbod groter is dan de capaciteit. Ook kan het gebeuren dat de RWZI het aanbod aan afvalwater niet kan verwerken. In die gevallen treden overstorten in werking. Deze overstorten lozen overtollig gemengd water direct op het oppervlaktewater, wat leidt tot vervuiling (schade). Ook is het mogelijk dat er terugstroom plaatsvindt met wateroverlast als gevolg.
- **falen HWA:** wanneer de waterstand op het oppervlaktewater te hoog is kan de HWA het hemelwater niet goed lozen. Het kan ook voorkomen dat oppervlaktewater via de uitlaten terugstroomt in het HWA-stelsel. In beide gevallen raakt het HWA hydraulisch overbelast en kan wateroverlast ontstaan.
- **falen watergangen:** door hemelwater (neerslag), afstroming vanaf maaiveld, uitstroom van grondwater, overstorten, hemelwaterlozingen en RWZI-lozingen, stijgen de oppervlaktewaterstanden zo hoog dat het oppervlaktewater buiten haar oevers treedt. Daarnaast kan de transportcapaciteit binnen de watergangen onvoldoende zijn door begroeiing, vernauwing of blokkeringen. Dit probleem kan versterkt worden door beperkte capaciteit of het falen van poldergemalen. Vanuit de watergangen vindt dan inundatie van de omgeving plaats.

Er wordt benadrukt dat de detailontwatering op microniveau ook kan falen. Dit is niet beschouwd in de systemen die hierboven zijn beschreven. Dit geldt bijvoorbeeld wanneer de detailontwatering op een landbouwperceel onvoldoende functioneert om al het overtollige water af te voeren. Lokaal ontstaat dan wateroverlast. Omdat deze wateroverlast zeer lokaal blijft en er weinig informatie bekend is over alle detailontwateringssystemen, is dit buiten beschouwing gelaten.

Voorbeeld: wateroverlast Woudsend augustus 2021 [ref. 7]

Een piekbui leidde op 22 augustus 2021 circa 80 mm neerslag in Woudsend binnen enkele uren (terugkeertijd neerslag circa 100 jaar). De grondwaterstand was al hoog (ongewoon voor augustus), waardoor infiltratie bemoeilijkt werd en het grootste deel van de neerslag afgevoerd moest worden door het rioolsysteem. Het rioolsysteem kon deze hoeveelheid water onvoldoende afvoeren, wat leidde tot wateroverlast in verschillende straten (enkele decimeters waterdiepte). Bovendien liggen delen van Woudsend laag (in een kom) en kon het gemaal het aanbod van hemelwater via het oppervlaktewater niet snel genoeg afvoeren. Daardoor vond ook inundatie vanuit het lokale oppervlaktewatersysteem plaats.

In deze casus zijn de volgende faalmechanismen te herkennen:

- het falen van infiltratie van onverhard maaiveld naar grondwater als gevolg van een hoge grondwaterstand;
 - het falen van afstroming van het verharde oppervlakte naar het rioolsysteem. De oorzaak lag vermoedelijk in overbelasting van het rioolstelsel, waardoor instroom bemoeilijkt werd. Er zijn geen aanwijzingen voor verkeerde liggingen van kolken of verstopte kolken;
 - het falen van het verpompen van hemelwater uit het lokale oppervlaktewatersysteem naar de boezem. Er was onvoldoende gemaalcapaciteit om het aanbod van hemelwater bij te benen. Daardoor vond inundatie vanuit lokale watergangen plaats. Daarnaast was er te weinig berging in het watersysteem beschikbaar.
-

3.2.2 Functioneren waterkeringensysteem

Wateroverlast door het falen van een waterkering komt (naar verwachting) veel minder frequent voor dan wateroverlast door het falen van een deel van het stedelijk watersysteem. Er is daarom gekozen om de wateroverlast vanuit het waterkeringensysteem uit te drukken in overstromingsrisico. Het overstromingsrisico is het gemiddeld jaarlijkse risico (op basis van kans op falen waterkering en de schade bij een dijkdoorbraak) en drukt in feite een soort verwachtingswaarde van de schade uit.

Faalmechanismen waterkering

Een waterkering kan falen als gevolg van verschillende faalmechanismen. In dit kader zijn kort enkele belangrijk faalmechanismen benoemd (niet limitatief). Voor een uitgebreidere uitleg van alle relevante faalmechanismen wordt verwezen naar [ref. 8]:

- **Hoogte:** een waterkering kan falen als gevolg van een hoogtetekort als de kruin van de waterkering niet hoog genoeg is. Tijdens hoogwater komt dan teveel water over de dijk heen. Dit kan leiden tot erosie van het binnentalud en bezwijken van de waterkering. Daarnaast kan het water zelf leiden tot wateroverlast (zonder bezwijken van de waterkering) bij een overschrijding van de komberging (vaak in combinatie met aanhoudende neerslag en hoge grondwaterstand).
 - **Piping:** als gevolg van doorlatendheid van een zandige ondergrond kan water door de ondergrond stromen (kwel). Tijdens hoogwater neemt deze stroming toe, door het grotere verval over de waterkering. Als deze stroming te sterk is, kan deze erosie onder de waterkering veroorzaken. Deze erosie kan leiden tot bezwijken van de waterkering. Voor regionale waterkeringen is dit faalmechanisme over het algemeen niet dominant.
 - **Macrostabieliteit:** als gevolg van een hoge freatische lijn in de waterkering neemt de waterspanning in de dijk toe. Als gevolg van deze toegenomen waterspanning neemt de effectieve korrelspanning af en kan het dijk materiaal minder schuifspanning opnemen. Als gevolg hiervan kan de grond van het binnentalud afschuiven, waardoor de waterkering bezwijkt.
 - **Bekleding:** als gevolg van golfaanval kan de bekleding van de dijk bezwijken, waardoor het kernmateriaal bloot komt te liggen. Door de golfaanval erodeert dit kernmateriaal, waardoor de dijk bezwijkt. Golven breken wanneer de waterdiepte te klein is. Daarnaast kan de bekleding falen door een te hoge waterdruk onder de bekleding (waterspanningen).
-

Het overstromingsrisico neemt toe wanneer de overstromingskans toeneemt (gegeven geen wijzigingen in de resulterende schade). Een toename van de overstromingskans wordt veroorzaakt door een toename van de hydraulische belasting (degradatie van de sterkte van de waterkering als gevolg van bijvoorbeeld zettingen, scheuren of veenoxidatie wordt niet beschouwd). De hydraulische belasting neemt toe door drie mogelijk oorzaken:

- 1 een **vaker voorkomende en hogere buitenwaterstand** kan worden veroorzaakt door een toename van het gemiddelde boezempeil en/of een toename van de lokale waterstand door scheefstand en leidt tot:
 - een toename van de faalkans door hoogtetekort en/of piping;
 - een verhoging van de waterspanningen (beschouwd onder punt 2);
 - een verhoging van de golfbelasting omdat golven minder breken (niet nader beschouwd);
- 2 een **verhoging van de waterspanningen** kan worden veroorzaakt door een verhoging van de grond-, polder- en/of boezemwaterstand of door neerslag. Daarnaast kan een verhoging van de lokale waterstand door scheefstand leiden tot een toename van de waterspanningen. Een toename van de waterspanningen leidt tot een toename van de faalkans door macrostabiliteit en/of falen van de bekleding;
- 3 een **verhoging van de golfbelasting** kan worden veroorzaakt door wind en leidt tot een toename van de faalkans. De invloed van golfbelasting is echter beperkt bij regionale waterkeringen door de beperkte golfhoogte (enkel benoemd voor de compleetheid).

3.2.3 Faalmechanismen integraal water- en waterkeringensysteem

Het integrale water- en waterkeringensysteem dat is beschreven in afbeelding 3.3 kan op verschillende manieren falen. In paragraaf 3.2.1 zijn verschillende faalwijzen beschreven. M.b.t. waterveiligheid is enkel het regionale waterkeringensysteem beschouwd, niet het primaire waterkeringensysteem (de zeekeringen).

In voorliggende paragraaf zijn deze faalwijzen geclusterd tot drie maatgevende faalmechanismen die kunnen leiden tot wateroverlast op het maaiveld en het beschermd belang, weergegeven in afbeelding 3.4:

- 1 **wateroverlast door onvoldoende afvoer en berging** in lokale laagtes in het maaiveld (o.a. wadi's) naar de lokale waterhuishouding. Neerslag kan lokaal onvoldoende worden afgevoerd naar de waterhuishouding van de polder door een tekort aan afvoer- en/of infiltratiecapaciteit van het maaiveld, bergingsvoorzieningen en/of de riolering. Hierdoor treedt wateroverlast op in zowel bebouwd als landelijk gebied;
- 2 **wateroverlast door onvoldoende capaciteit polderwatersysteem**. Als er onvoldoende berging en/of afvoer capaciteit van het oppervlaktewatersysteem is, treedt inundatie op vanuit de polderwatergangen;
- 3 **overstroming door falen van de waterkering**.

Deze drie faalmechanismen zijn relevant op verschillende schaalniveaus en bij verschillende neerslagtypen. Dit is beschouwd per faalmechanisme. Alle vormen van water op het maaiveld worden in de integrale aanpak beschreven als 'wateroverlast'.

Faalmechanisme 1: wateroverlast door onvoldoende afvoer naar de lokale waterhuishouding

Er kan onvoldoende neerslag worden afgevoerd vanaf het maaiveld richting de waterhuishouding, waardoor wateroverlast optreedt. Dit kan worden veroorzaakt door de inrichting van het maaiveld, waardoor het water niet naar het oppervlaktewater of naar de riolering kan stromen. Daarnaast is het mogelijk dat de riolering onvoldoende in staat om water van het verhard maaiveld af te voeren door een blokkade waardoor de capaciteit is afgenomen of door een te lage hydraulische ontwerpcapaciteit. Het faalmechanisme kan worden veroorzaakt door één of meerdere van de volgende deelmechanismen uit het watersysteem (zie paragraaf 3.2.1):

- falen infiltratie;
- falen afstroming;
- falen bergingsvoorzieningen aan maaiveld (onvoldoende capaciteit);
- falen instroming riolering;
- falen gemengde riolering (onvoldoende capaciteit);
- falen HWA.

Het is mogelijk dat één van deze deelmechanismen faalt, maar dat dit niet leidt tot wateroverlast. Het kan bijvoorbeeld dat instroming naar de riolering faalt, maar dat dit leidt tot extra afstroming naar het oppervlaktewater in plaats van water op het maaiveld. Bij een gemengd riool kan een deel van het water middels een overstort (vervuild) worden afgevoerd naar oppervlaktewater. Wanneer ondanks de overstorting de rioolcapaciteit ontoereikend is en hemelwater ook niet aan het maaiveld geborgen kan worden, niet voldoende infiltreert of oppervlakkig afstroomt naar oppervlaktewater, leidt dit tot water op het verharde maaiveld. Daarnaast kan het water vanuit het riool (mogelijk vervuild) terugstromen naar het verharde maaiveld (en daar vandaan ook weer het naar onverharde maaiveld of het oppervlaktewater. De deelmechanismen dienen daarom als één integraal faalmechanisme beschouwd te worden.

Het faalmechanisme 'wateroverlast door onvoldoende afvoer naar de lokale waterhuishouding' speelt op een kleine ruimtelijke schaal (perceel- tot straatniveau) en kan bij relatief beperkte hoeveelheden neerslag al leiden tot wateroverlast (een korte hevige bui).

Faalmechanisme 2: wateroverlast door onvoldoende capaciteit polderwatersysteem

Wateroverlast door onvoldoende capaciteit treedt op wanneer de hydraulische capaciteit van de riolering (of direct afstromen vanaf het verharde maaiveld) wel toereikend is, maar er onvoldoende bergings- en afvoercapaciteit in het polderwatersysteem is. Een praktisch voorbeeld hiervan is een maalstop in de polder om de hydraulische belasting op de boezemkeringen niet verder te vergroten. Daarnaast hebben ook poldergemalen binnen het watersysteem in de polder een beperkte capaciteit, waardoor opstuwning kan optreden. Dit kan leiden tot wateroverlast vanuit de polderwatergangen. Dit is het deelmechanisme (zie paragraaf 3.2.1):

- falen watergangen.

Daarnaast kan dit tot wateroverlast leiden als er terugstroom (of negatieve overstorting) plaatsvindt via de riolering. Hierbij loopt het bebouwd gebied risico, omdat de wateroverlast plaatsvindt vanuit de straatkolken en/of -putten. De afvoercapaciteit kan worden vergroot door het lozen van water op de boezem via gemalen. Dit is alleen mogelijk als het water op de boezem niet te hoog staat (maalstop). De bergingscapaciteit kan worden vergroot door meer of bredere watergangen.

Het faalmechanisme 'onvoldoende capaciteit polderwatersysteem' speelt op een grotere ruimtelijke schaal (buurt- tot gemeenteniveau) en leidt tot wateroverlast bij langere, regionale buien of bij korte buien met een relatief groot ruimtelijk bereik. Een bijkomende belasting bij dergelijke langdurige buien is dat de bodem na verloop van tijd verzadigd raakt. De infiltratiecapaciteit neemt daardoor af en het onverharde maaiveld gaat zich meer gedragen als verhard gebied dat afstroomt.

Faalmechanisme 3: wateroverlast door falen waterkering

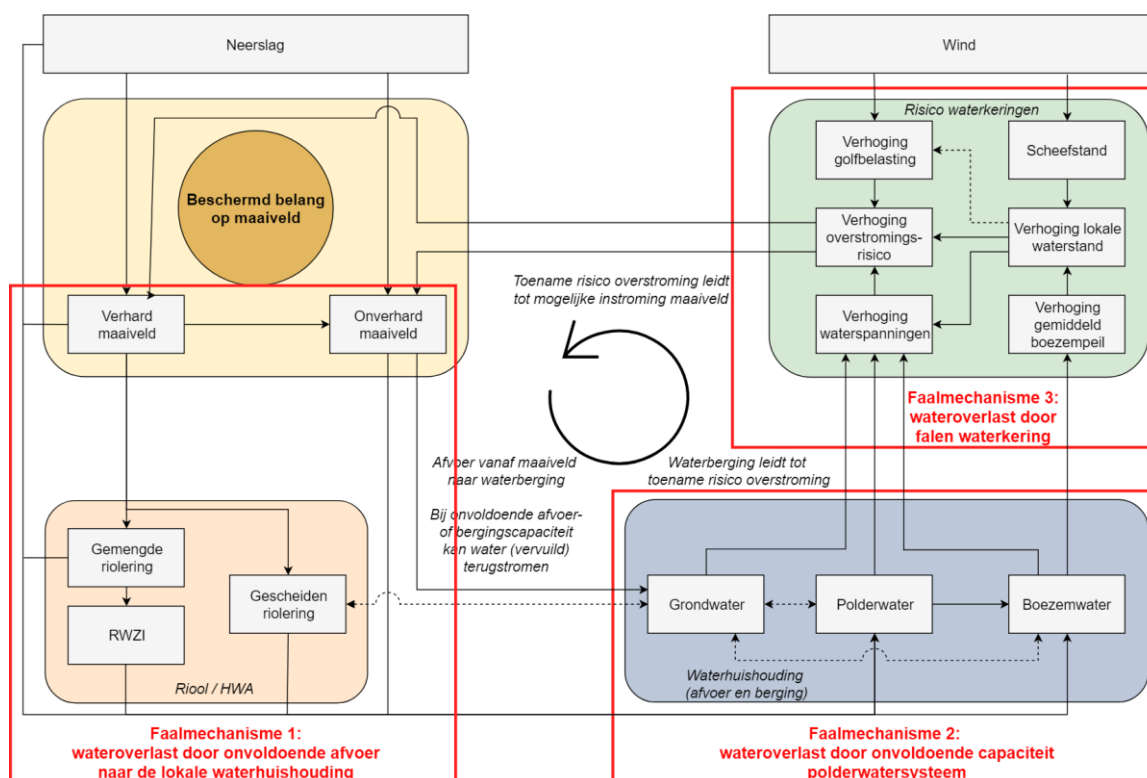
De waterkering kan falen wanneer de hydraulische belasting van het buitenwater (boezem) hoger wordt dan de sterkte van de waterkering. Dit kan leiden tot een bres in de waterkering, waardoor buitenwater kan instromen en tot een overstroming kan leiden (wateroverlast).

De hydraulische belasting kan toenemen onder invloed van lokale neerslag, maar ook door niet-lokale neerslag (de toename zal beperkt zijn als de neerslag alleen lokaal is). De Friese boezem functioneert als watersysteem op grotere schaal dan alleen het pilotgebied. Daarnaast kunnen andere niet-lokale effecten invloed hebben op de hydraulische belasting, zoals scheefstand door wind.

De waterkering kan ook falen als gevolg van een vermindering van de sterkte, bijvoorbeeld als gevolg van zettingen of droogte. De waterkering faalt dan mogelijk onder dagelijkse omstandigheden, zonder verhoging van de hydraulische belasting. Daarnaast kan sterkte van de waterkering afnemen door verzadiging als gevolg van neerslag.

Het faalmechanisme 'falen waterkering' speelt op een grotere ruimtelijke schaal (gemeente- tot provincieniveau). Langdurige, regionale neerslag heeft invloed op dit faalmechanisme, maar het overstromingsrisico kan ook toenemen zonder neerslag (bijvoorbeeld als gevolg van scheefstand door wind).

Afbeelding 3.4 Faalmechanismen



3.2.4 Correlatie faalmechanismen

In afbeelding 3.3 zijn het functioneren van het watersysteem en het waterkeringensysteem schematisch weergegeven. Er zijn twee vormen van correlatie te zien tussen de faalmechanismen.

Alle faalmechanismen worden geïnitieerd door neerslag (faalmechanismen 1 en 2 treden niet op zonder neerslag, faalmechanisme 3 kan naast neerslag ook door bijvoorbeeld scheefstand op de boezem optreden). **Daarnaast** wordt deze neerslag afgevoerd naar de boezem, wat zorgt voor een hogere waterstand. Deze hogere waterstand zorgt weer voor een toename van het overstromingsrisico.

Er zijn zodoende twee vormen van correlatie te herkennen:

- 1 correlatie van optreden: alle faalmechanismen worden geïnitieerd door neerslag:
 - neerslag die valt in de polder leidt tot een afvoer-vraag vanuit het maaiveld naar de waterhuishouding (mogelijk falen door faalmechanismen 1 en 2);
 - neerslag die valt in de boezem leidt tot een stijging van de overstromingskans (mogelijk falen door faalmechanisme 3);

Dus **zonder dat de correlatie als gevolg van het afvoeren van neerslag naar de boezem** wordt beschouwd is er correlatie tussen de faalmechanismen te herkennen. Daarnaast is er correlatie omdat neerslag in de polder wordt afgevoerd naar de boezem. Dit wordt **correlatie tussen faalkansen** genoemd:

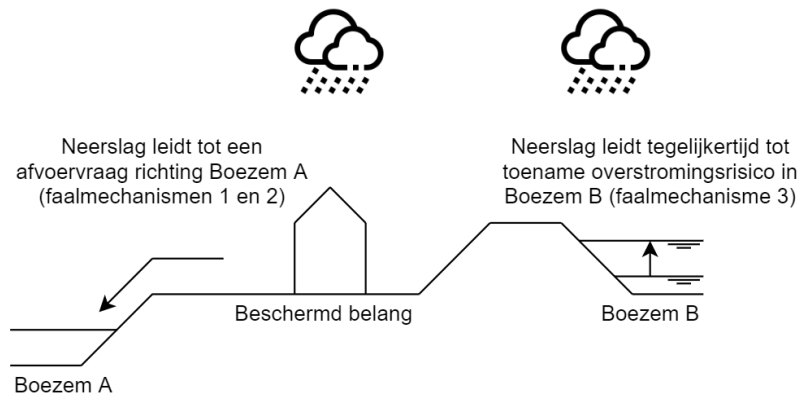
- 2 correlatie tussen faalkansen: als er water wordt afgevoerd van de polder naar de boezem (faalmechanisme 2 is relevant) dan stijgt de faalkans van de waterkering (faalmechanisme 3). Deze relatie geldt ook andersom. Als er een hoge boezemwaterstand is (faalmechanisme 3 is relevant) dan stijgt de faalkans van het polderwatersysteem (faalmechanisme 2), omdat er mogelijk een maalstop is.

In onderstaand kader is een fictief voorbeeld beschreven waarin slechts één vorm van correlatie zou zijn.

Fictief voorbeeld waarin slechts één vorm van correlatie zou zijn

Er kan een fictieve situatie worden bedacht waarin er twee boezemsystemen zijn:

- boezem A, waar het polderwatersysteem neerslag op loost. Boezem A kan echter niet leiden tot een overstroming;
- boezem B, waar wel een overstroming kan optreden. Tussen de polder en boezem B ligt daarom een waterkering (die kan falen).



In deze fictieve situatie zorgt neerslag als initiërend mechanisme nog steeds voor correlatie, omdat neerslag leidt tot een afvoervraag vanuit de polder (faalmechanismen 1 en 2) en tot een verhoging van het boezempeil in boezem B (faalmechanisme 3). Dit is de hierboven beschreven **correlatie van optreden**.

In deze fictieve situatie is er echter geen verhoging van het boezempeil in boezem B als er neerslag wordt afgevoerd. Deze wordt immers naar boezem A afgevoerd en boezem A kan niet leiden tot een overstroming. De faalkans van de waterkering neemt dus niet toe als gevolg van het afwateren van neerslag. De hierboven beschreven **correlatie tussen faalkansen** ontbreekt in deze fictieve situatie.

3.3 Wateroverlastrisico en basisbeschermingsniveau

In paragraaf 3.1 is beschouwd hoe wateroverlast tot schade leidt. In paragraaf 3.2 is beschouwd hoe verschillende faalmechanismen binnen een integraal water- en waterkeringensysteem tot wateroverlast kunnen leiden en hoe deze gecorreleerd zijn. In voorliggende paragraaf is een basisbeschermingsniveau beschreven, waarmee de totale schade door verschillende faalmechanismen integraal kan worden beschouwd. Het beschermingsniveau beschrijft een acceptabel risico. Het integraal risico als gevolg van wateroverlast wordt in voorliggend rapport het **wateroverlastrisico** genoemd en heeft als eenheid euro per jaar.

Definitie beschermingsniveau

Het beschermingsniveau is de mate waarin een beschermd belang (gebied, object, gebouw of perceel) wordt beschermd tegen wateroverlast door verschillende (deel)systemen. Het beschermingsniveau is ook wel het *acceptabel risico* te noemen. Hieronder wordt een normatieve waarde verstaan die, impliciet of expliciet, wordt geaccepteerd, omdat maatregelen dan niet meer effectief zijn (de kosten wegen niet op tegen de baten).

Het *acceptabele risico* (de gewenste mate van bescherming vanuit doelmatigheid) kan afwijken van het *actuele risico* (de huidige mate van bescherming). Het *actuele risico* kan hoger zijn dan het *acceptabele risico*, waardoor er mogelijk een opgave is. Het *actuele risico* kan ook lager zijn dan het *acceptabele risico*, waardoor er mogelijk enige overcapaciteit (mogelijk gewenst met het oog op klimaatverandering).

3.3.1 Beschrijving wateroverlastrisico

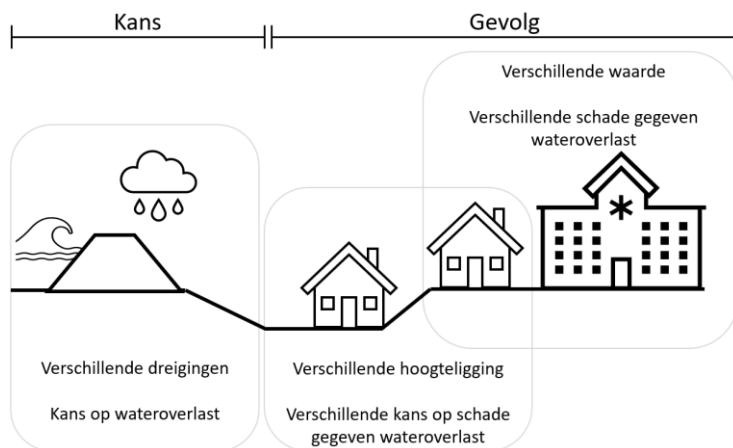
Risico is gedefinieerd als een kans van optreden (P) maal een gevolg (schade). Het wateroverlastrisico beschrijft zodoende een kans op wateroverlast leidend tot schade maal de schade gegeven wateroverlast:

$$\text{Wateroverlastrisico} = P(\text{wateroverlast}) * P(\text{schade}|\text{wateroverlast}) * \text{Schade}|\text{wateroverlast}$$

Waarin:

$P(\text{wateroverlast})$	de kans op wateroverlast. Deze kans wordt bijvoorbeeld bepaald door de <u>veiligheid van een systeem</u> , zoals de overstromingskans van een dijk of de faalkans van een riolering;
$P(\text{schade} \text{wateroverlast})$	de kans op schade gegeven wateroverlast (water op maaiveld). Deze wordt bepaald door de <u>inrichting van het gebied</u> . Hoog gelegen beschermde belangen inunderen bijvoorbeeld minder snel dan laag gelegen beschermde belangen;
$\text{Schade} \text{wateroverlast}$	de schade gegeven wateroverlast. Deze kans wordt bepaald door de <u>waarde van het beschermd belang</u> . Wateroverlast in een losstaande woning leidt waarschijnlijk tot minder schade dan een wateroverlast in een ziekenhuis.

Afbeelding 3.5 Wateroverlastrisico wordt bepaald door kans op wateroverlast, kans op schade en schade gegeven wateroverlast



De hoogteligging en waarde van verschillende functies in een gebied varieert. Dit is terug te zien in de verkennende schadeberekeningen in paragraaf 3.1:

- Aldegea en Elahuizen liggen lager dan Balk en Woudsend en ervaren zodoende eerder wateroverlast als er water in het pilotgebied staat/stroomt ($P(\text{schade}|\text{wateroverlast})$);
- de schade loopt langzaam op zolang alleen wateroverlast in de weilanden optreedt, maar schiet omhoog zodra bedrijven met kantoorfunctie hun functie verliezen ($\text{Schade}|\text{wateroverlast}$).

Het wateroverlastrisico kan worden beheerst door:

- 1 de kans op wateroverlast te beheersen door de faalkans van systemen te verlagen, bijvoorbeeld door het versterken van een waterkering of de aanleg van extra afvoercapaciteit voor rioleringen.
- 2 de kans op schade gegeven een wateroverlast te beheersen door het gebied anders in te richten. Voorbeelden daarvan zijn nieuwe woonwijken aanleggen in hoger gelegen gebieden. Ook kunnen (bestaande) woningen zo worden ingericht dat schade tijdens wateroverlast wordt voorkomen, bijvoorbeeld door verhoogde delen of deurschotten aan te leggen;
- 3 de schade gegeven wateroverlast te beperken, bijvoorbeeld door meer kostbare beschermde belangen op hogere locaties te bouwen dan minder kostbare beschermde belangen.

Dit sluit aan op de concepten 'meerlaagse waterveiligheid' en 'bodem en water als basis' (zie paragraaf 3.4).

3.3.2 Acceptabel wateroverlastrisico (basisbeschermingsniveau)

Het gecombineerde wateroverlastrisico als gevolg van deze verschillende dreigingen dient te voldoen aan een acceptabel risico (het 'basisbeschermingsniveau'). Hoeveel risico acceptabel is in een bepaald gebied is een beleidsmatige keuze en geen fysieke eigenschap van het gebied. Wel kunnen de fysieke eigenschappen van een gebied van invloed zijn op de keuze over acceptabel risico.

Vervolgens kunnen maatregelen worden getroffen in een gebied indien het aanwezige wateroverlastrisico (wel een fysieke eigenschap van het gebied) niet voldoet aan het beleidsmatig gekozen acceptabele risico. Het acceptabele risico is meestal o.a. het resultaat van een maatschappelijk kosten-baten analyse (MKBA) waarin de netto contante waarde (NCW) van de kosten en het risico worden vergeleken. Het optimale punt uit de MKBA betekent dat een verdere reductie van het risico is niet kosteneffectief is. In hoofdstuk 4 is een integrale MKBA opgesteld voor het pilotgebied.

3.3.3 Combineren verschillende wateroverlastrisico's tot een integraal risico

Het basisbeschermingsniveau is een beschermingsniveau dat in heel Nederland kan worden toegepast. In elk gebied in Nederland spelen verschillende wateroverlastaspecten echter een verschillende rol: het ene gebied is kwetsbaar voor zware regen, terwijl een ander gebied mogelijk kwetsbaarder is voor een overstroming van een waterkering. Het acceptabele risico bestaat uit verschillende wateroverlastbijdragen (zoals wateroverlast als gevolg van faalmechanisme 1, 2 en/of 3). Het integrale risico als gevolg van deze verschillende bijdragen dient te voldoen aan het basisbeschermingsniveau.

De wijze van sommeren wordt bepaald door de mate van correlatie tussen de wateroverlastaspecten:

- indien verschillende vormen van wateroverlast volledig onafhankelijk zijn wordt het totale risico berekend door elke risicobijdrage te sommeren. Deze aanpak geeft een bovengrens van het totale wateroverlastrisico (en het risico dient kleiner te zijn dan het acceptabele risico):

$$\text{Basisbeschermingsniveau (acceptabel risico)} > \text{totaal wateroverlastrisico} = \text{risico 1} + \dots + \text{risico } n$$

- indien verschillende vormen van wateroverlast volledig afhankelijk zijn wordt het totale risico berekend door de grootste van de verschillende risicobijdragen te nemen. Deze aanpak geeft een ondergrens van het totale wateroverlastrisico (en het risico dient kleiner te zijn dan het acceptabele risico):

$$\text{Basisbeschermingsniveau (acceptabel risico)} > \text{totaal wateroverlastrisico} = \text{Max}(\text{risico 1}, \dots, \text{risico } n)$$

Het verschil tussen deze uiterste grenzen is maximaal een factor n (het aantal beschouwde risico's).

Voorbeeld 1: het basisbeschermingsniveau is EUR 600,00 per jaar. Woning W heeft een wateroverlastrisico als gevolg van de waterkering van EUR 500,00 per jaar en volledig onafhankelijk een wateroverlastrisico als gevolg van de het polderwatersysteem van EUR 250,00 per jaar. Het totale wateroverlastrisico voor woning W bedraagt dan EUR 750,00 per jaar. Woning W **voldoet niet** aan het basisbeschermingsniveau.

Voorbeeld 2: Het basisbeschermingsniveau is EUR 600,00 per jaar. Woning W heeft een wateroverlastrisico als gevolg van de waterkering van EUR 500,00 per jaar. Het wateroverlastrisico als gevolg van de polderwatersysteem bedraagt EUR 250,00, maar dit risico wordt gedomineerd door de kans op een maalstop (dus als gevolg van een hoog risico als gevolg van de waterkering). Er is zodoende afhankelijkheid tussen de verschillende vormen van wateroverlastrisico. Het totale wateroverlastrisico voor woning W is nu kleiner dan EUR 750,00 per jaar (ergens tussen EUR 500,00 en EUR 750,00). Woning W **voldoet mogelijk** aan het basisbeschermingsniveau.

3.4 Relatie met water en bodem sturend

In het regeerakkoord van het huidige kabinet is afgesproken dat water- en bodemeigenschappen sturend worden bij ruimtelijke ontwikkelingen. Het doel is om water en bodem vroegtijdig in het proces mee te nemen en zo klimaatbestendiger te ontwikkelen. Hierbij speelt de gewenste functie van een gebied een belangrijke rol. Het uitgangspunt is dat beter wordt nagedacht over de risico's van klimaatverandering (vermatting, verdroging, verzilting) bij de ruimtelijke ordening. Als een geplande functie gevoelig is voor 1 van deze bedreigingen, is het logisch om te kijken of de ontwikkeling elders kan plaatsvinden met minder risico.

Het wateroverlastrisico en basisbeschermingsniveau kunnen worden gebruikt voor de locatiekeuze voor nieuwe ontwikkelingen. De risico's in een gebied kunnen worden uitgedrukt conform de methodiek uit paragraaf 3.3 en op basis van deze risico's kunnen keuzen worden gemaakt met betrekking tot de inrichting van het gebied. Als een gebied een hoog wateroverlastrisico heeft, dan zijn waarschijnlijk aanvullende maatregelen nodig om ontwikkeling veilig mogelijk te maken, zoals het ophogen van het maaiveld. De filosofie van water en bodem sturend leidt ertoe dat het verlagen van het waterpeil niet voor de hand ligt. Aanvullende maatregelen zoals ophoging zijn vaak kostbaar, waardoor ook overige potentiële locaties die van nature beter beschermd zijn (bijvoorbeeld door hoogteligging) in beeld komen. Hiermee sluit het concept van een basisbeschermingsniveau goed aan op het concept 'water en bodem als basis'.

Binnen het pilotgebied is een duidelijke scheiding te zien tussen hoger en lager gelegen gebieden (zie afbeelding 2.3). Uit de verkennende schadeberekeningen blijkt dat de hoogteligging van een beschermd belang een grote invloed heeft op het wateroverlastrisico. Een laag gelegen gebied overstroomt eerder dan een hooggelegen gebied (hogere $P(\text{schade}|\text{inundatie})$) en leidt bij een gelijke waterstand tot een grotere waterdiepte (hogere $\text{Schade}|\text{inundatie}$). Dit leidt tot een hoger wateroverlastrisico voor laaggelegen gebieden.

Het concept water en bodem als basis gaat echter verder dan het wateroverlastrisico / basisbeschermingsniveau. Aspecten zoals bodemgesteldheid, verzilting en droogte (niet-uitputtend) zijn ook onderdeel van het concept water en bodem als basis en hebben op dit moment nog geen plaats in het basisbeschermingsniveau zoals in dit rapport gedefinieerd. Het basisbeschermingsniveau kan zodoende ten dele invulling geven aan het concept 'water en bodem als basis'.

3.5 Visualisatie / communicatie

Begrippen als overstromingsrisico en beschermingsniveau zijn voor veel mensen abstract en weinig tastbaar en lastig om te begrijpen. In bijlage III is een analyse opgenomen waarin het gebruik van labels ter visualisatie van het wateroverlastrisico is beschouwd.

3.6 Conclusies

In dit hoofdstuk is onderzoeksvraag 1 beschouwd:

Hoe druk je binnen een integrale risicobenadering het (basis)beschermingsniveau op een locatie in het gebied uit en hoe bepaal je het?

Het optimale beschermingsniveau beschrijft een *acceptabel* risico op wateroverlast, uitgedrukt in euro's. Om het optimale basisbeschermingsniveau te bepalen is daarom in dit hoofdstuk beschreven hoe verschillende vormen van wateroverlast tot een integraal risico leiden. Dit integrale wateroverlastrisico is een functie van de volgende drie onderdelen:

- de faalkans van het systeem (kans op wateroverlast);
- de inrichting van het gebied (kans op schade gegeven wateroverlast);
- de waarde van het beschermd belang (de schade gegeven wateroverlast).

Zowel het watersysteem (binnen de polder) als het waterkeringensysteem (bescherming tegen buitenwater) kan tot wateroverlast leiden en heeft zodoende een wateroverlastbijdrage. In een integraal water- en waterkeringensysteem zijn drie faalmechanismen afgeleid:

- 1 neerslag kan lokaal onvoldoende worden afgevoerd naar de waterhuishouding van de polder door een tekort aan bergingscapaciteit, afvoer- en/of infiltratiecapaciteit van het maaiveld en/of de riolering. Hierdoor kan de neerslag lokaal onvoldoende worden geborgen en treedt wateroverlast op;
- 2 neerslag kan onvoldoende worden geborgen in- of afgevoerd uit de polder, waardoor wateroverlast optreedt;
- 3 de waterkering faalt waardoor boezemwater instroomt. Hierdoor treedt wateroverlast op.

Er bestaat een zekere mate van correlatie van optreden tussen deze faalmechanismen, omdat voor alle faalmechanismen neerslag de drijvende factor is. Daarnaast is er correlatie tussen de faalkansen. Door de afhankelijkheden tussen de verschillende faalmechanismen is het totale wateroverlastrisico lager dan de som van de verschillende risico's.

Het wateroverlastrisico kan worden getoetst aan het gekozen acceptabel risico. Dit gekozen risico wordt het basisbeschermingsniveau genoemd. De keuze voor een passend basisbeschermingsniveau kan worden gemaakt op basis van een maatschappelijk kosten-baten analyse (MKBA). In een MKBA wordt afgewogen in hoeverre een reductie van het wateroverlastrisico kosteneffectief is. Bij de optimale norm is een nadere investering in een reductie van het wateroverlastrisico niet langer kosteneffectief (de kosten wegen niet op tegen de baten).

Op basis van het wateroverlastrisico en het basisbeschermingsniveau kunnen keuzen worden gemaakt over de inrichting van een gebied. Hiermee sluiten deze concepten aan op het concept 'water en bodem als basis'.

4

WATEROVERLASTRISICO FAALMECHANISMEN

In hoofdstuk 3 zijn de drie relevante faalmechanismen in het pilotgebied bepaald. In dit hoofdstuk is het wateroverlastrisico als gevolg van deze faalmechanismen bepaald. In paragraaf 4.1 is de neerslagstatistiek beschouwd. In paragraaf 4.2, 4.3 en 4.4 is berekend hoe deze faalmechanismen tot wateroverlast leiden door per faalmechanisme de kans op wateroverlast, waterdiepte en resulterende schade te berekenen.

Aan de hand van dit hoofdstuk zijn de volgende onderzoeksvragen beantwoord: *Hoe maak je de vertaling van het (locatie specifieke) beschermingsniveau naar de kans op het falen van een deelsysteem binnen het watersysteem? En hoe maak je vervolgens de vertaling naar de kans van het optreden van een relevante weersomstandigheid? Welke aandachtspunten komen naar voren in het proces, bij de uitvoering van de methodiek?*

4.1 Neerslagstatistiek

In hoofdstuk 3 is beschreven dat neerslag één van de drijvende oorzaken achter de faalmechanismen is. De kans van optreden van verschillende typen buien is beschreven met neerslagstatistiek. De volgende (statistische) eigenschappen van neerslag bepalen deze statistiek:

- **de neerslagduur**; bij een lokale toets van het watersysteem op neerslag wordt vaak gekozen voor buien van één tot enkele uren. De interactie met het oppervlaktewatersysteem is dan beperkt, omdat het water in één uur tijd vaak nog nauwelijks het oppervlaktewater bereikt heeft. Bij een regionale toets zijn de buiduren vaak langer, in de orde van dagdelen of dagen;
- **de herhalingstijd**; hoe extremer de neerslag is, hoe langer de herhalingstijd is. Met andere woorden: extreme buien hebben een kleinere kans van voorkomen;
- **de neerslaghoeveelheid**; de neerslaghoeveelheid wordt meestal uitgedrukt in mm en hangt af van de neerslagduur en herhalingstijd. De totale oppervlakte van de bui draagt bij aan de neerslaghoeveelheid, maar is op dit moment nog geen parameter die wordt meegenomen in de gangbare neerslagstatistiek.

Afbeelding 4.1 Neerslagstatistiek [ref. 9]

T [jaar]	Neerslagduur										
	10 min	30 min	60 min	2 uur	4 uur	8 uur	12 uur	24 uur	2 dagen	4 dagen	8 dagen
0.5	8.1	10.4	12.6	15.3	18.6	22.2	24.6	30.4	38.6	50.4	68.3
1	10.2	13.5	16.2	19.5	23.4	27.7	30.5	36.8	46.0	59.3	79.4
2	12.2	16.6	20.0	24.0	28.4	33.4	36.5	43.8	54.0	68.6	90.5
5	15.1	21.2	25.8	30.7	35.9	41.7	45.2	54.2	65.5	81.4	105.1
10	17.5	25.3	31.0	36.8	42.8	49.1	52.9	63.0	74.9	91.6	116.1
20	20.3	30.2	37.2	44.2	51.1	58.0	61.9	72.6	85.0	102.1	127.0
25	21.3	32.0	39.5	46.9	54.1	61.2	65.2	75.9	88.5	105.6	130.5
50	24.7	38.2	47.7	56.5	64.8	72.5	76.6	86.9	99.5	116.6	141.5
100	28.7	45.8	57.7	68.4	78.0	86.2	90.2	98.9	111.4	128.1	152.3
200	33.4	55.0	70.0	81.3	88.7	95.0	98.1	112.1	124.2	140.0	163.2
250	35.0	58.4	74.5	86.5	93.9	100.0	102.9	116.7	128.5	143.9	166.7
500	40.8	70.4	90.7	105.0	112.2	117.5	119.6	131.7	142.5	156.4	177.5
1000	47.6	84.9	110.6	127.6	134.4	138.3	139.2	148.2	157.5	169.4	188.3

In afbeelding 4.1 is de gehanteerde neerslagstatistiek weergegeven bij het huidige klimaat. Een belangrijke kanttekening is dat dit puntstatistiek betreft: de duur, herhalingstijd en hoeveelheid gelden op een enkel punt en niet op een lijn of vlak. Dat wil zeggen dat de kans van voorkomen van een bui op een enkel, willekeurig punt wordt beschouwd. In de praktijk is het vooral interessant om de kans op een bepaalde bui in een gebied te weten. Die kans is groter dan de kans dat de bui op één punt valt, omdat het gebied kan worden gezien als een verzameling van punten (punt- tegenover vlakstatistiek).

Het is mogelijk om de puntstatistiek om te rekenen tot vlakstatistiek. Op die manier kan de herhalingstijd of de neerslaghoeveelheid van een puntbui worden geschaald naar een gebied, waarbij de omvang van het gebied van belang is. Het KNMI heeft in 2020 model gemaakt waarmee de neerslagkans op lijnelementen of vlakken kan worden berekend ten opzichte van een punt [ref. 10].

In deze pilotstudie wordt het verschil tussen punt- en vlakbuien niet verder gekwantificeerd. Er wordt uitgegaan van de STOWA-neerslagstatistiek (gebaseerd op puntstatistiek). Daarbij wordt de opmerking geplaatst dat de kans van voorkomen ergens binnen het gebied groter is dan de puntstatistiek op één locatie.

In voorliggende pilotstudie worden twee situaties onderscheiden:

- 1 een **kortdurende, lokale bui (tot circa 2 uur), relevant voor faalmechanisme 1**: de interactie tussen hemelwater en oppervlaktewater is verwaarloosbaar, doordat het hemelwater niet de tijd heeft om volledig tot afstroming te komen naar het oppervlaktewater. Ook is de infiltratie beperkt, doordat de bodem snel verzadigd is en niet de gehele bui kan opnemen. Daardoor ligt de focus op het rioolstelsel en lokale maaiveldafstroming. Het rioolstelsel functioneert weliswaar, maar is al snel hydraulisch overbelast. Daarnaast is het mogelijk dat de instroompunten en kolken overbelast zijn. Het gevolg is dat wateroverlast in het bebouwde gebied al snel optreedt, waarbij het water laaggelegen locaties opzoekt. Ook kan het water woningen binnentreden en zo tot schade leiden. De schade is grotendeels afhankelijk van de waterdiepte en overstromingsduur. Na enkele uren loopt het water weg via het rioolstelsel en oppervlakkig richting watergangen. Alleen in laaggelegen en niet-gerioleerde plaatsen blijft het water staan, zoals in kelders. N.B. Indien een kortdurende, hevige bui een groot oppervlak bestrijkt, dan kan ook faalmechanisme 2 optreden. Dit is hier niet verder beschouwd;
- 2 een **langdurige, regionale bui (dagdeel of meer), relevante voor faalmechanismen 2 en 3**: gedurende de eerste uren van de bui zijn er geen problemen, doordat er infiltratie plaatsvindt en het rioolstelsel overtollig hemelwater afvoert naar het oppervlaktewater. Na verloop van tijd neemt de infiltratie af (bodemverzadiging) en stijgt de waterstand in oppervlaktewaters. Dit kan bijvoorbeeld gebeuren doordat de bergingscapaciteit in de polder onvoldoende is of het poldergemaal niet over voldoende capaciteit beschikt om al het overtollige water uit te slaan op de boezem. Het gevolg is dat wateroverlast kan optreden vanuit de watergangen. Daarnaast raakt het HWA overtollig water niet meer kwijt, doordat het oppervlaktewaterpeil hoger ligt dan het peil in het stelsel. In die situatie kan zelfs terugstroom plaatsvinden, waarbij oppervlaktewater zijn weg vindt naar bebouwd gebied. Er is dus een duidelijke interactie tussen oppervlaktewater en hemelwater. Pas wanneer de neerslag minder wordt, neemt de wateroverlast af doordat de gemaalcapaciteit weer volstaat.

4.2 Wateroverlastrisico faalmechanisme 1: wateroverlast door onvoldoende afvoer naar de lokale waterhuishouding

In deze paragraaf is de schade berekend die kan optreden als gevolg van faalmechanisme 1.

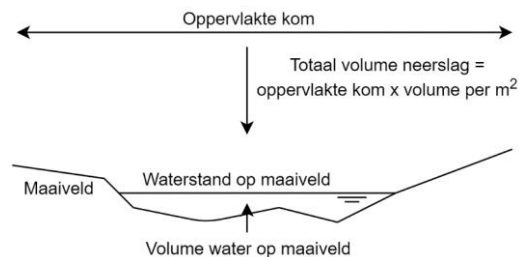
4.2.1 Waterdiepte faalmechanisme 1

Voor faalmechanisme 1 is ten behoeve van de berekening van de waterdiepte gekozen voor het maaiveldmodel (zie bijlage II voor verschillende modellen) en een kortdurende lokale bui (zie kader maatgevende bui). Faalmechanisme 1 is relevant in stedelijke gebieden indien het een hevige bui met een beperkte oppervlakte betreft. Daarom zijn enkel de bebouwde kernen Balk en Woudsend beschouwd.

De waterstand als gevolg van de maatgevende bui is als volgt berekend (schematisch weergegeven in afbeelding 4.2):

- als maatgevende bui is gekozen voor een korte hevige bui (terugkeertijd van 5 jaar, 21,2 mm in 30 minuten). Er is aangenomen dat er 5 mm neerslag kan afstromen, infiltreren of via de riolering wordt afgevoerd. Doordat de bui extreem is en een korte duur heeft, kan niet al het overtollige hemelwater tijdig afstromen naar de riolering;
- op basis van het AHN3 is voor Balk en Woudsend een kom gedefinieerd. Alle neerslag die valt in deze kommen blijft in desbetreffende kommen;
- het totale volume neerslag dat tijdens de maatgevende bui valt in deze gebieden is berekend door het oppervlakte van de kom te vermenigvuldigen met de neerslag van de maatgevende bui;
- er is iteratief gezocht naar de waterstand in de kom, waarvoor geldt dat het bergend volume bij die waterstand gelijk is aan het totale volume neerslag (o.b.v. het AHN3 van de kommen).

Afbeelding 4.2 Kom-model, waarbij iteratief is gezocht naar totaal volume neerslag gelijk aan volume water op maaiveld



Maatgevende bui

Er is aangenomen dat het watersysteem correct is ontworpen conform de ambitie, waardoor buien tot bui08 niet tot wateroverlast leiden. Bui08 is een standaardbui met een totale neerslaghoeveelheid van ongeveer 20 mm over één uur tijd. De herhalingsperiode van bui08 is in het huidige klimaat 2 jaar. Gemeenten dienen hun rioolstelsel hydraulisch te toetsen, waarbij veel gemeenten als uitgangspunt hanteren dat bui08 niet leidt tot schade door wateroverlast (geen officiële verplichting, maar wel in lijn met de praktijkrichtlijn Stichting RIONED). Water op straat mag bij bui08 wel voorkomen, in dat geval wordt de straat als waterberging benut. In de praktijk kan bui08 wel tot enige overlast en schade leiden, bijvoorbeeld omdat het lokale rioolontwerp niet volstaat of niet goed wordt onderhouden.

Schade door falen van het stedelijk watersysteem is in ieder geval te verwachten wanneer zich een bui voordoet die (veel) extremer is dan bui08. Voor de pilotstudie is op basis van expert judgment aangenomen dat faalmechanisme 1 optreedt bij een bui met herhalingsperiode van 5 jaar: 21,2 mm in een half uur.

De berekende waterdiepten als gevolg van de maatgevende bui zijn weergegeven in afbeelding 4.3.

Afbeelding 4.3 Waterdiepte als gevolg van maatgevende bui faalmechanisme 1 voor Balk (links) en Woudsend (rechts)



4.2.2 Schade faalmechanisme 1

De resulterende schade is berekend met de Waterschadeschatter met volgende uitgangspunten:

- maximale waterstand: afbeelding 4.3 (omgerekend naar waterstand);
- duur overlast: 6 uur (kortdurend);
- hersteltijd wegen en bebouwing: 1 dag (verwachte schade beperkt);
- maand gebeurtenis: september;
- schadebedrag: gemiddeld.

De resulterende schade bedraagt EUR 425.000,00 in Balk en EUR 1.100,00 in Woudsend. De berekende schade in de kom van Balk is significant groter dan de berekende schade in de kom van Woudsend. Dit verschil wordt veroorzaakt door het aanwezige beschermd belang in de kommen:

- in Woudsend is hoofdzakelijk 'woonfunctie' aanwezig. Deze functie leidt bij korte overlast en hersteltijd tot beperkte schade: vloeren, kasten en banken en alternatief verblijf voor de bewoners. Er is er een kleine gevoeligheidsanalyse uitgevoerd door ook buien met een hogere terugkeertijd te modelleren, waarbij beide berekeningen leiden een lager wateroverlastrisico per jaar t.o.v. de gehanteerde maatgevende bui:
 - 40 mm (in 30 minuten, terugkeertijd circa 50 jaar) leidt tot een schade van circa EUR 3.000,00;
 - 60 mm (in 30 minuten, terugkeertijd circa 250 jaar) leidt tot een schade van circa EUR 8.000,00;
- de berekende schade in Woudsend is veel lager dan het schadebeeld dat de gemeente rapporteert (zie kader in paragraaf 4.2.3). Dit heeft er mogelijk mee te maken dat de Waterschadeschatter niet altijd tot betrouwbare resultaten leidt in stedelijk gebied;
- in Balk is naast 'woonfunctie' ook 'winkelfunctie' aanwezig. Daarnaast ligt deze winkelfunctie relatief laag in de kom, waardoor de waterdiepte hier hoog is. **Dit leidt lokaal tot zeer grote schade, waarbij vrijwel alle optredende schade ter plaatse van één pand/ winkelcentrum optreedt.**

4.2.3 Jaarlijks wateroverlastrisico faalmechanisme 1

Gegeven een terugkeertijd van 5 jaar en een resulterende schade van EUR 425.000,00 bedraagt het wateroverlastrisico als gevolg van faalmechanisme 1 EUR 85.000,00 per jaar.

Vergelijking faalmechanisme 1 met casus: Woudsend

Woudsend heeft in de afgelopen jaren enkele keren te maken gehad met wateroverlast als gevolg van neerslag. De gemeente Súdwest Fryslân heeft de oorzaken en gevolgen van de wateroverlast beschreven in een rapport [ref. 7]. De uitkomsten uit dit rapport zijn vergeleken met de berekende waterdiepte voor faalmechanisme 1.



Eén van de oorzaken van de wateroverlast is dat Woudsend gedeeltelijk in een kom ligt. Bij extreme neerslag komt veel hemelwater versneld tot afstroming door de bebouwde, verharde omgeving, waardoor het hemelwater zich verzamelt op deze lager gelegen locaties. Dit wordt bevestigd door de kaart van de modelstudie van de gemeente, in de lager gelegen straten worden grote waterdieptes berekend na een

extreme bui. Dit is te zien in onderstaande afbeeldingen uit het AHN4 (links) en de waterdiepte uit de modelstudie van de gemeente (midden). De analyse van waterdiepten als gevolg van faalmechanisme in Woudsend (rechts) tonen een zeer gelijksoortig beeld van de waterdiepte.

Uit contact met de gemeente blijkt inderdaad dat de schade substantieel is geweest. De wateroverlast heeft geleid tot schade in de openbare ruimte en waren wegen tijdelijk niet beschikbaar. Daarnaast heeft het water ook schade aangericht aan het eigendom van bewoners. Verschillende tuinen zijn ondergelopen en in enkele gevallen trad water het huis binnen.

4.3 Wateroverlastrisico faalmechanisme 2: wateroverlast door onvoldoende capaciteit polderwatersysteem

In deze paragraaf is de schade berekend die kan optreden als gevolg van faalmechanisme 2.

4.3.1 Waterdiepte faalmechanisme 2

Voor de berekening van de waterdiepte van faalmechanisme 2 is gebruik gemaakt van de berekende waterdiepten uit de NBW-toetsing (Periodieke toetsing aan de provinciale inundatienormen wateroverlast, aangeleverd door Wetterskip Fryslân). In dit hoofdstuk wordt risico-gestuurd gerekend. Er is daarom geen gebruik gemaakt van bestaande NBW-normen, zoals de graslandnormering of het maaiveldcriterium. De volgende berekeningen zijn beschouwd:

- terugkeertijden: 1, 5, 10, 25, 50, 100, 300 en 1.000 jaar;
- waterstand: inclusief opzet door zowel verhang als maaibeleid.

N.B. Ten tijde van het schrijven van voorliggend pilotstudie is het resultaat van de NBW-toetsing nog in concept (niet definitief). De definitieve resultaten van de toetsing wijken daarom mogelijk af van de hier gehanteerde berekeningen. Voor deze pilotstudie is dit acceptabel geacht, maar om deze reden is ook geen referentie naar de toetsing toegevoegd.

Deze berekeningen bestaan uit waterstanden per peilvak. De resulterende waterdiepte is berekend door de waterstand per peilvak af te trekken van het AHN3. Dit is een conservatieve benadering, want dit betekent dat alle delen van een peilvak die onder de waterstand staan als geïnundeerd zijn aangenomen terwijl dit niet het geval hoeft te zijn (langs de watergang inundeert het eerder dan in het midden van een weiland). Deze waterdiepten zijn weergegeven in afbeelding 4.4 tot en met afbeelding 4.6 (T=1, T=100 en T=1.000 jaar zijn weergegeven).

4.3.2 Schade faalmechanisme 2

De resulterende schade is berekend met de Waterschadeschatter met volgende uitgangspunten:

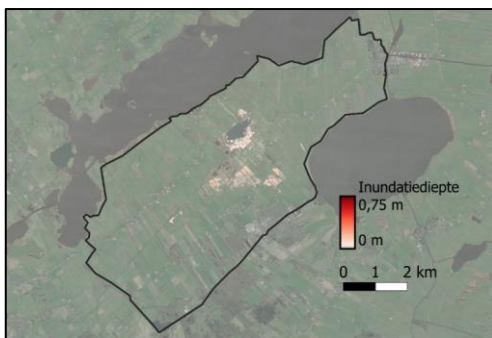
- maximale waterstand: o.b.v. NBW-toetsing bij verschillende terugkeertijden;
- duur overlast: 24 uur (langdurend);
- hersteltijd wegen en bebouwing: 1 dag (verwachte schade beperkt);
- maand gebeurtenis: september;
- schadebedrag: gemiddelde van de bandbreedte;
- geen maalstop.

De resulterende schade is weergegeven in tabel 4.1. De schade bestaat vrijwel uitsluitend uit landbouwschade (circa 90 % weidehooi en 10 % mais). Er is te zien dat de stedelijke gebieden Balk en Woudsend zelfs voor terugkeertijd T = 1.000 jaar niet inunderen. Bij een T = 1.000 situatie is het wel denkbaar dat overstorten en uitlaten verdrongen raken, waardoor in stedelijk gebied ook problemen kunnen optreden. Deze situatie is hier niet beschouwd.

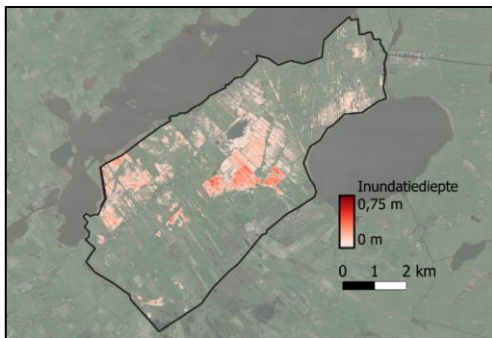
Tabel 4.1 Schade faalmechanisme 2 voor verschillende terugkeertijden

Terugkeertijd [jaar]	Schade [EUR]
1	20.000,00
5	26.000,00
10	34.000,00
25	57.000,00
50	107.000,00
100	185.000,00
300	317.000,00
1.000	397.000,00

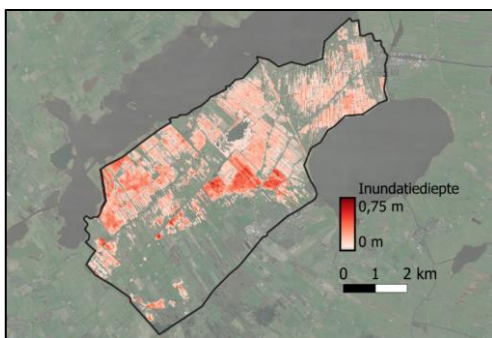
Afbeelding 4.4 Waterdiepte faalmechanisme 2 (T=1 jaar)



Afbeelding 4.5 Waterdiepte faalmechanisme 2 (T=100 jaar)



Afbeelding 4.6 Waterdiepte faalmechanisme 2 (T=1.000 jaar)



4.3.3 Jaarlijks wateroverlastrisico faalmechanisme 2

Het wateroverlastrisico als gevolg van faalmechanisme 2 varieert voor de verschillende terugkeertijden (neerslag met terugkeertijd 1.000 jaar heeft een andere verwachtingswaarde dan neerslag met terugkeertijd één jaar). De terugkeertijd met de hoogste verwachtingswaarde (T=1 jaar) is maatgevend beschouwd. Dit leidt tot een wateroverlastrisico van EUR 20.000,00 per jaar.

4.4 Wateroverlastrisico faalmechanisme 3: falen waterkering

In deze paragraaf is het wateroverlastrisico van het waterkeringensysteem berekend.

4.4.1 Waterdiepte faalmechanisme 3

De faalkans van het regionale waterkeringensysteem dient te voldoen aan de vastgestelde IPO-klasse. Deze classificering is weergegeven in tabel 4.2. De waterkering in het pilotgebied heeft een IPO-klasse III, met een bijbehorende overschrijdingskans van 1/100 per jaar. In voorliggende pilotstudie wordt aangenomen dat de faalkans van de waterkering 1/100 per jaar is [ref. 13].

N.B. Een overschrijdingskans van 1/100 per jaar komt technisch gezien niet helemaal overeen met een faalkans van 1/100 per jaar. Het verschil tussen een overschrijdingskans en een faalkans is niet relevant voor voorliggende pilotstudie en is niet nader beschouwd. Naar verwachting is deze faalkans conservatief.

Tabel 4.2 IPO-klassen [ref. 11]

IPO-klasse	I	II	III	IV	V
veiligheidsnorm [1/jaar]	1/10	1/30	1/100	1/300	1/1000
gevolgschade criteria voor klasse [mln. euro]	< 8	8 - 25	25 - 80	80 - 250	> 250

4.4.2 Schade faalmechanisme 3

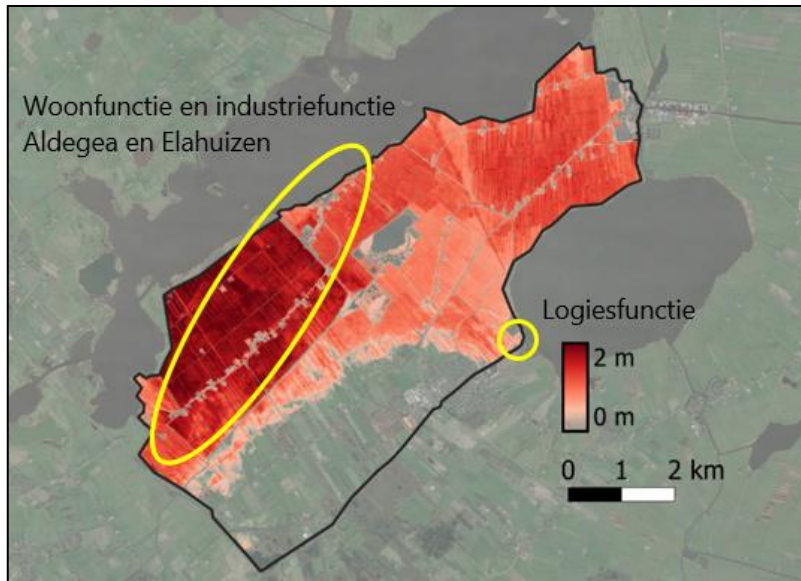
De schade als gevolg van falen van het waterkeringensysteem is berekend met de Waterschadeschatter met volgende uitgangspunten:

- maximale waterstand: NAP + 0 m (toetspeil);
- duur overlast: 48 uur (zeer langdurig);
- hersteltijd wegen en bebouwing: 10 dagen (verwachte schade significant);
- maand gebeurtenis: september;
- schadebedrag: gemiddeld.

N.B. In de voorgaande pilotstudie [ref. 13] is geconcludeerd dat de resulterende waterstand in de polder in grote mate afhankelijk is van de snelheid waarmee het dijkbes breidt. Afhankelijk van de samenstelling van dijk kan door het grote verval in het pilotgebied (lokaal ca 2 m) een bres binnen 24 uur groeien tot circa 40 m (sterke kleidijk) a 100 m (slappe kleidijk) breed. Een waterstand van NAP + 0 m kan dan optreden na circa 48 a 72 uur instroming. In voorliggende pilotstudie is gekozen om conservatief uit te gaan van een resulterende waterstand van 0 m +NAP.

De resulterende waterdiepte als gevolg van een waterstand van NAP +0 m in het pilotgebied is weergegeven in afbeelding 4.7 en de resulterende schade bedraagt circa EUR 40.000.000,00. Dit sluit aan bij de IPO-klasse van de waterkering. De schade is met name hoog ter plaatse van de lintbebouwing in Aldegea en Elahuizen, omdat hier grote waterdiepten optreden. De schade valt hoofdzakelijk in de volgende categorieën woonfunctie, industrie functie en logiesfunctie. De ruimtelijke ligging van deze schade is weergegeven in afbeelding 4.7.

Afbeelding 4.7 Waterdiepte bij waterstand van NAP + 0 m in het pilotgebied



4.4.3 Jaarlijks wateroverlastrisico faalmechanisme 3

Gegeven een overstromingskans van 1/100 per jaar en een resulterende schade van EUR 40.000.000,00 bedraagt het wateroverlastrisico als gevolg van faalmechanisme 1, EUR 400.000,00 per jaar.

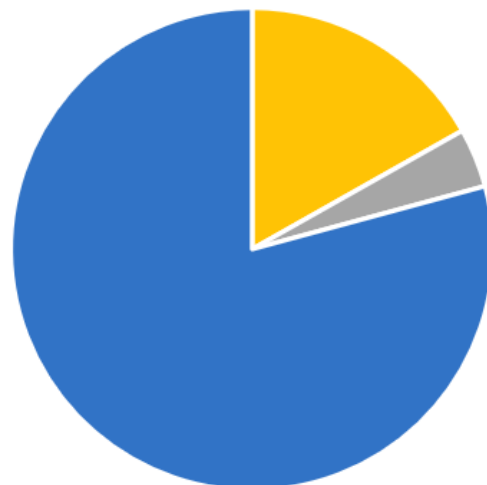
4.5 Combineren wateroverlastrisico's faalmechanismen tot integraal risico

In paragraaf 4.2, 4.3 en 4.4 is het wateroverlastrisico van de verschillende faalmechanismen uit het integrale water- en waterkeringensysteem berekend. Hieruit blijkt dat getalsmatig het wateroverlastrisico als gevolg van faalmechanisme 3 in het pilotgebied dominant is, zoals weergegeven in afbeelding 4.8:

- faalmechanisme 1 (lokaal afvoer- en bergingstekort): EUR 85.000,00 per jaar (ca 17 %);
- faalmechanisme 2 (berging- of afvoertekort in de polder): EUR 20.000,00 per jaar (ca 4 %);
- faalmechanisme 3 (falen waterkering): EUR 400.000,00 per jaar (ca 79 %).

Afbeelding 4.8 Wateroverlastrisico faalmechanismen

- Faalmechanisme 1:
Lokaal afvoer- en bergingstekort
- Faalmechanisme 2:
Berging- of afvoertekort polder
- Faalmechanisme 3:
Falen waterkering



Het integrale wateroverlastrisico kan worden berekend onder verschillende maten van afhankelijkheid tussen de faalmechanismen. Het wateroverlastrisico van faalmechanisme 3 in het gehele pilotgebied is getalsmatig veel groter dan het wateroverlastrisico van faalmechanismen 1 en 2. Het bepalen van de mate van afhankelijkheid is dan minder relevant, omdat het wateroverlastrisico gedomineerd wordt door de risicobijdrage van faalmechanisme 3.

N.B. De dominantie van faalmechanisme 3 betekent niet dat investeren in risicoreductie voor faalmechanismen 1 en 2 niet kostenefficiënt kan zijn. De berekende schade als gevolg van faalmechanisme 1 is mogelijk met kleine investeringen te reduceren, terwijl investeren in de faalkans van de waterkering naar verwachting significant duurder is. In het pilotgebied is bijvoorbeeld te zien dat de schade als gevolg van faalmechanisme 1 wordt gedomineerd door één winkelblok met een lage relatieve ligging t.o.v. de rest van de kom. Het zou goed kunnen dat een kleine investering hier tot grote baten kan leiden ('quick-win'). Dit wordt afgewogen in de kosten-batenanalyse in paragraaf 4.7.

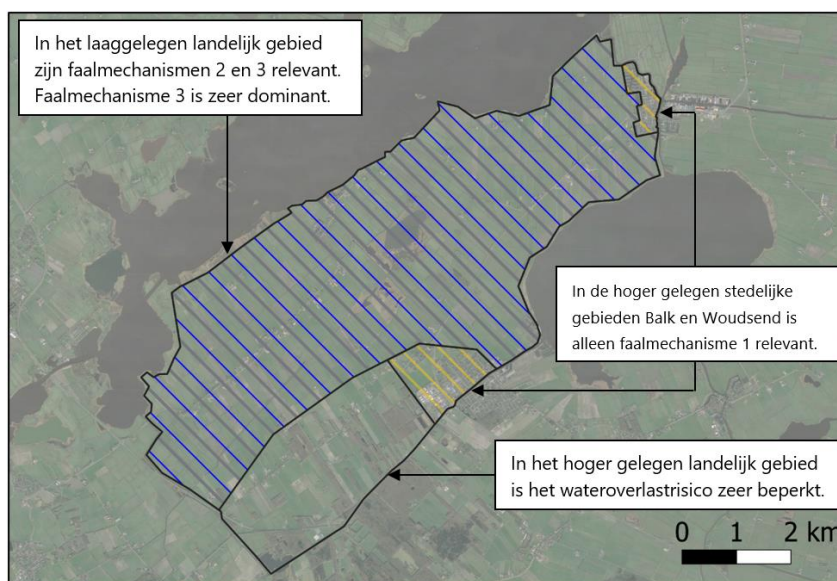
De verschillende faalmechanismen zijn niet overal relevant. Delen van het pilotgebied zijn gevoelig voor een bepaald faalmechanisme, terwijl in andere gebieden dit mechanisme niet relevant is. Deze ruimtelijke indeling is weergegeven in afbeelding 4.9:

- faalmechanisme 1 (lokaal afvoer- en bergingstekort) is alleen relevant in de hoger gelegen stedelijke gebieden Balk en Woudsend;
- faalmechanisme 2 (bergings- of afvoertekort in de polder) is alleen relevant in het lager gelegen gebied. In afbeelding 4.6 (NBW-toets) is te zien dat zelfs bij een terugkeertijd van 1.000 jaar geen wateroverlast in Balk en Woudsend optreedt (conform huidige NBW-systematiek heeft stedelijk gebied een norm van 1/100 per jaar);
- faalmechanisme 3 (falen waterkering) is alleen relevant in het lager gelegen gebied. In afbeelding 4.7 is te zien dat bij toetspeil in de polder (zeer conservatief) geen wateroverlast in Balk en Woudsend optreedt;
- in het hoger gelegen landelijk gebied ten zuidwesten van Balk is het wateroverlastrisico beperkt. Geen van de faalmechanismen leidt hier tot wateroverlast (faalmechanisme 2 zorgt voor beperkte wateroverlast in het zuidelijke punt, zie afbeelding 4.6, maar de resulterende schade is zeer beperkt).

Het aandrijvende mechanisme (neerslag) achter de faalmechanismen is deels afhankelijk:

- faalmechanisme 1 (lokaal afvoer- en bergingstekort) is gedreven door korte hevige neerslag;
- faalmechanisme 2 (bergings- of afvoertekort in de polder) is gedreven door langdurige neerslag;
- faalmechanisme 3 (falen waterkering) is gedreven door langdurige neerslag (verhoging gemiddeld boezempeil), maar kan ook optreden zonder neerslag (bijv. door scheefstand als gevolg van wind).

Afbeelding 4.9 Dominante faalmechanismen in het pilotgebied



Met betrekking tot de afhankelijkheid zijn vier scenario's te onderscheiden.

Scenario 1: onafhankelijke faalmechanismen 1, 2 en 3

Alle faalmechanismen hebben een vorm van onafhankelijkheid. Faalmechanismen 1 wordt veroorzaakt door een ander type neerslag dan faalmechanismen 2 en 3. Faalmechanisme 3 kan onafhankelijk van neerslag (en dus faalmechanismen 1 en 2) optreden, bijvoorbeeld als gevolg van scheefstand door wind.

Indien alle faalmechanismen onafhankelijk worden aangenomen kan het totale wateroverlastrisico worden berekend door de risico's te sommeren. Dit leidt tot een **conservatief wateroverlastrisico (bovengrens)** van:

$$85.000 + 20.000 + 400.000 = 505.000 \text{ EUR per jaar}$$

Scenario 2: onafhankelijk faalmechanisme 1, afhankelijkheid tussen faalmechanismen 2 en 3

Faalmechanismen 2 en 3 hebben de duidelijkste vorm van afhankelijkheid. Beide faalmechanismen zijn relevant in hetzelfde gebied (het laaggelegen gebied) en treden mogelijk op tijdens dezelfde vorm van neerslag (langdurige buien). Daarnaast kan een maalstop als gevolg van hoge buitenwaterstanden leiden tot een toename van de faalkans als gevolg van faalmechanisme 2. Faalmechanisme 1 is relevant in een ander deel van het pilotgebied (het hooggelegen stedelijk gebied) en treedt op tijdens een andere vorm van neerslag (hevige korte bui).

Indien wordt aangenomen dat faalmechanisme 1 onafhankelijk is van faalmechanismen 2 en 3, maar dat deze wel onderling afhankelijk zijn, kan het totale wateroverlastrisico worden berekend door het risico van faalmechanisme 1 te sommeren met de maximale risico van faalmechanismen 2 en 3. Dit leidt tot een **minder conservatief wateroverlastrisico** van:

$$85.000 + \max(20.000; 400.000) = 485.000 \text{ EUR per jaar}$$

Scenario 3: afhankelijkheid tussen faalmechanismen 1 en 2, onafhankelijk faalmechanisme 3

Faalmechanisme 3 is niet alleen gedreven door (relatief lokale) neerslag. Het faalmechanisme kan ook optreden onder invloed van scheefstand door bijvoorbeeld wind. Daarnaast zijn er regionale waterkeringen in Nederland waarvoor een stijging van de gemiddelde buitenwaterstand wordt veroorzaakt door neerslag op grote afstand (zoals in een rivierengebied, waarbij neerslag bovenstrooms leidt tot hogere buitenwaterstanden, maar niet tot een afvoervraag vanuit de polder). Dit scenario is niet relevant voor het pilotgebied, maar is voor de volledigheid toch beschouwd.

Indien wordt aangenomen dat faalmechanismen 1 en 2 onderling afhankelijk zijn en faalmechanisme 3 onafhankelijk is, kan het totale wateroverlastrisico worden berekend door het maximale risico van faalmechanismen 1 en 2 te sommeren met het risico van faalmechanisme 3. Dit leidt tot een **minder conservatief wateroverlastrisico (maar niet passend geacht voor dit pilotgebied)** van:

$$\max(85.000; 20.000) + 400.000 = 420.000 \text{ EUR per jaar}$$

Scenario 4: afhankelijke faalmechanismen 1, 2 en 3

Alle faalmechanismen zijn (deels) afhankelijk, omdat deze allemaal (deels) gedreven worden door neerslag.

Indien alle faalmechanismen afhankelijk worden aangenomen kan het totale wateroverlastrisico worden berekend door de maximale van de risico's te nemen. Dit leidt tot een **optimistisch wateroverlastrisico (ondergrens)** van:

$$\max(85.000; 20.000; 400.000) = 400.000 \text{ EUR per jaar}$$

4.5.1 Conclusies afhankelijkheid

Het wateroverlastrisico in het pilotgebied wordt gedomineerd door het wateroverlastrisico als gevolg van faalmechanisme 3 (falen waterkering). Als gevolg van deze dominantie liggen de boven- en ondergrens van het gecombineerde wateroverlastrisico dicht bij elkaar:

- optimistische ondergrens (aanname volledige afhankelijkheid): EUR 400.000,00 per jaar;
- conservatieve bovengrens (aanname volledige onafhankelijkheid): EUR 505.000,00 per jaar.

Pragmatisch gezien liggen deze grenzen dermate dicht bij elkaar (circa 25 % verschil) dat het gerichter inschatten van het gecombineerde risico op basis van de afhankelijkheid nauwelijks meerwaarde heeft omdat de verwachting is dat andere onzekerheden.

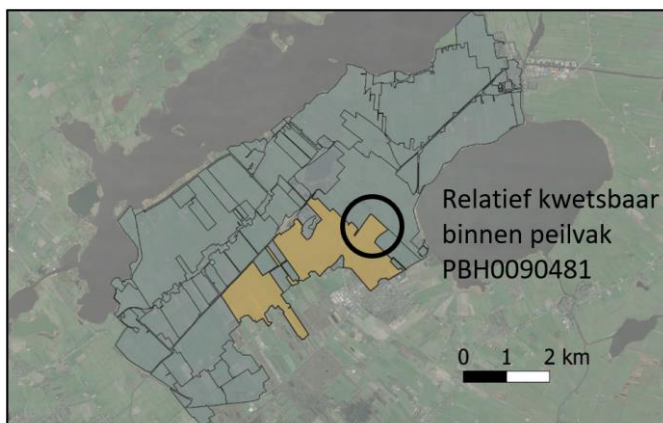
4.6 Wateroverlastrisico zoals ervaren vanuit het (lokale) beschermd belang

Faalmechanisme 3 is dominant voor het wateroverlastrisico wanneer het gehele pilotgebied als beschermd belang wordt beschouwd, maar hoeft niet het geval te zijn wanneer een kleiner schaalniveau wordt beschouwd. Faalmechanisme 2 leidt tot een wateroverlast met minder schade, maar als deze schade altijd in hetzelfde gebied optreedt kan faalmechanisme 2 voor dat gebied toch dominant zijn. In deze paragraaf is daarom het effect van het schaalniveau op het wateroverlastrisico beschouwd.

Peilgebied PBH0090481 (ligging weergegeven in afbeelding 4.10) is binnen het pilotgebied relatief kwetsbaar voor faalmechanisme 2. Met de Waterschadeschatter is de schade en het wateroverlastrisico berekend als alleen dit peilgebied wordt beschouwd en als alleen het meest kwetsbare deel van het peilgebied wordt beschouwd (een nog kleiner schaalniveau, circa 20 ha in het noordoosten). Er is gebruikt gemaakt van de volgende uitgangspunten (rekeninstellingen hetzelfde als in paragraaf 4.3 en 4.4):

- faalmechanisme 1 is niet relevant geacht in dit landelijk gebied;
- faalmechanisme 2 leidt tot een waterstand in het gebied van NAP - 0,98 m o.b.v. de NBW-toetsing. De maatgevende terugkeertijd van deze waterstand is één jaar (de terugkeertijd die leidt tot het hoogste jaarlijkse risico);
- faalmechanisme 3 leidt tot een waterstand in het gebied van NAP + 0 m o.b.v. IPO-klasse III. De maatgevende terugkeertijd van deze waterstand is 100 jaar (de terugkeertijd die leidt tot het hoogste jaarlijkse risico).

Afbeelding 4.10 Peilvak PBH0090481



De resulterende schade is weergegeven in tabel 4.3. Hierin is te zien dat faalmechanisme 3 niet dominant hoeft te zijn wanneer kleinere schaalniveaus worden beschouwd. Voor een stakeholder met een beschermd belang in peilgebied PBH0090481 is faalmechanisme 2 dominant voor het wateroverlastrisico, terwijl voor de gehele polder faalmechanisme 3 dominant is.

Tabel 4.3 Wateroverlastrisico voor kleiner schaalniveau

Faalmechanisme	Waterstand [m+NAP]	Terugkeertijd* [jaar]	Schade [EUR]	Wateroverlast risico per jaar [EUR]
Gehele peilgebied PBH0090481				
2. Falen watersysteem (NBW)	-0,98	1	12.000	12.000
3. Falen waterkering	0	100	166.000	1.660
Alleen noordoostelijk deel peilgebied PBH009048				
2. Falen watersysteem (NBW)	-0,98	1	3.000	3.000
3. Falen waterkering	0	100	15.000	150

* Voor faalmechanisme 2 en 3 is met verschillende terugkeertijden gerekend, omdat verschillende herhalingsstijden maatgevend zijn m.b.t. het jaarlijkse wateroverlastrisico. Door het wateroverlastrisico terug te rekenen naar het jaarlijkse risico kunnen de faalmechanismen vergeleken worden.

4.7 Basisbeschermingsniveau pilotgebied (MKBA)

Het basisbeschermingsniveau beschrijft een acceptabel integraal wateroverlastrisico. In voorliggende pilotstudie is een maatschappelijk kosten-baten analyse (MKBA) toegepast om dit acceptabele risico te bepalen voor het pilotgebied.

Er is op basis van paragraaf 4.5 aangenomen dat het wateroverlastrisico als gevolg van faalmechanisme 2 verwaarloosbaar is t.o.v. faalmechanismen 1 en 3. Dit faalmechanisme is daarom niet beschouwd in deze MKBA.

In de MKBA zijn de kosten en baten van verschillende beschermingsniveaus afgewogen. De baten bestaan uit een reductie van het wateroverlastrisico bij hogere (veiligere) beschermingsniveaus. Feitelijk is dus berekend voor welk beschermingsniveau de maatschappelijke kosten minimaal zijn. Per beschermingsniveau bestaan de kosten uit de volgende drie onderdelen:

- de (verwachtingswaarde van de) schade als gevolg van het wateroverlastrisico per jaar bij het desbetreffende beschermingsniveau. Deze schade is aangenomen als een oneindige reeks (perpetuïteit), waarvan de netto contante waarde is berekend;
- de investeringskosten om de lokale waterafvoer (voor faalmechanisme 1) en/of de waterkering (voor faalmechanisme 3) te laten voldoen aan het desbetreffende beschermingsniveau. Voor de investeringskosten is aangenomen dat dit eenmalige investeringen zijn;
- de kosten van beheer en onderhoud om de lokale waterafvoer (voor faalmechanisme 1) en/of de waterkering (voor faalmechanisme 3) te laten voldoende aan het desbetreffende beschermingsniveau. De kosten van beheer en onderhoud zijn aangenomen als een oneindige reeks (perpetuïteit), waarvan de netto contante waarde is berekend.

De (verwachtingswaarde van de) schade en de kosten van beheer en onderhoud zijn omgerekend naar de NCW met de volgende formule:

$$NCW = \frac{I}{d}$$

Waarin:

NCW de netto contante waarde [EUR];

I de jaarlijkse kosten of het jaarlijkse risico [EUR];

d de discontovoet [-]. Rijkswaterstaat maakt standaard gebruik van een discontovoet van 0,0225 [ref. 12]. Dit is hier overgenomen.

In paragraaf 4.7.1 zijn de investeringskosten en de onderhoudskosten van de lokale waterafvoer in het pilotgebied beschouwd. In paragraaf 4.7.2 zijn de investeringskosten en de onderhoudskosten van de waterkeringen in het pilotgebied beschouwd.

4.7.1 Kosten versterking lokale waterafvoer (faalmechanisme 1)

In deze paragraaf zijn de kosten ingeschat om de lokale waterafvoer (faalmechanisme 1) naar een vereiste faalkans te krijgen. Er zijn drie scenario's beschouwd met een toenemende robuustheid van de riolering per scenario. De stelseleigenschappen van ieder scenario zijn gebaseerd op de groslijst van maatregelen en logische maatregelen voor Balk (zie hoofdstuk 6):

- scenario 1: een standaard rioolstelsel dat ervoor zorgt dat neerslag met een herhalingstijd van 2 jaar niet leidt tot wateroverlast (T = 2 jaar);
- scenario 2: een robuuster rioolstelsel (met berging op maaiveld) dat ervoor zorgt dat neerslag met een herhalingstijd van 10 jaar niet leidt tot wateroverlast (T = 10 jaar);
- scenario 3: een zeer robuust rioolstelsel (met berging op en beneden maaiveld) dat ervoor zorgt dat neerslag met een herhalingstijd van 50 jaar niet leidt tot wateroverlast (T = 50 jaar).

N.B. Er wordt benadrukt dat een rioolstelsel met een herhalingstijd van 50 jaar in de praktijk nooit wordt aangelegd. Er is gekozen om toch de kosten en baten van een dergelijke investering in kaart te brengen, t.b.v. het vinden van een optimum voor de investeringen in het stedelijk watersysteem. Vooruitkijkend naar het berekende optimum in paragraaf 4.7.3 blijkt dat een dergelijke investering inderdaad niet kostenefficiënt is.

Hieronder wordt ieder scenario kort voorzien van een toelichting. Een volledig overzicht van de gehanteerde uitgangspunten, kostenkennallen en resulterende aanleg- en onderhoudskosten is te vinden in bijlage IV.

Scenario 1

In scenario 1 (T = 2 jaar, 20 mm neerslag) zijn voor het rioolstelsel de volgende eigenschappen aangenomen:

- een gemengd stelsel van 16.000 m aan rioolleidingen (gemiddelde diameter van 300 mm). Dit stelsel is in staat om 20 mm in één uur tijd te bergen en af te voeren;
- het stelsel omvat 400 rioolputten (elke 40 m) en omvat 1.600 kolken (elke 10 m).

Scenario 2

In scenario 2 (T = 10 jaar, 31 mm neerslag) zijn de volgende eigenschappen aangenomen:

- een gescheiden stelsel van 32.000 m aan rioolleiding (DWA en HWA, gemiddelde diameter van 300 mm). Het HWA-stelsel is in staat om circa 25 mm in één uur af te voeren, omdat er geen DWA-belasting op het HWA is;
- het stelsel omvat 800 rioolputten (elke 40 m, zowel DWA als HWA) en 1.600 kolken (elke 10 m, uitsluitend HWA);
- aanvullend is er een wadi die 5 mm van het overtollige hemelwater (gerekend over de verharding) kan bergen:
 - de berging van de wadi bedraagt daarmee 1.250 m³;
 - bij een diepte van 0,30 m bedraagt de oppervlakte van de wadi circa 4.200 m².

Scenario 3

In scenario 3 (T = 50 jaar, 48 mm neerslag) zijn de volgende eigenschappen aangenomen:

- een gescheiden stelsel van 32.000 m aan rioolleiding (DWA met gemiddelde diameter van 300 mm en HWA met gemiddelde diameter van 500 mm) aanwezig. Het HWA-stelsel is in staat om 35 mm in één uur tijd te bergen en af te voeren vanwege de grotere diameter;
- het stelsel omvat 800 rioolputten (elke 40 m, zowel DWA als HWA) en omvat 3.200 kolken (elke 5 m, uitsluitend HWA);
- aanvullend is er een wadi die 10 mm van het overtollige hemelwater (gerekend over de verharding) kan bergen:
 - de berging van de wadi bedraagt daarmee 2.500 m³;
 - bij een diepte van 0,30 m bedraagt de oppervlakte van de wadi circa 8.400 m²;
- daarnaast is er een ondergrondse bergingsvoorziening (capaciteit van 750 m³) die de overige 3 mm hemelwater bergt.

In tabel 4.4 is een overzicht weergegeven van de resulterende aanleg- en onderhoudskosten per scenario.

Tabel 4.4 Totale kosten voor aanleg en onderhoud per scenario voor faalmechanisme 1

Scenario	1	2	3
Faalkans [per jaar]	1/2	1/10	1/50
Totale kosten aanleg en onderhoud [EUR in NCW]	5.558.549	15.063.692	26.411.785

4.7.2 Kosten dijkversterking (faalmechanisme 3)

In pilotstudie normering regionale waterkeringen [ref. 13] zijn de kosten om de waterkering in het pilotgebied te laten voldoen aan verschillende dijknormen grof geschat o.b.v. kentallen en ervaringen van Wetterskip Fryslân. Deze kosten zijn overgenomen in voorliggende pilotstudie, waarbij de volgende kosten zijn beschouwd voor de waterkering:

- versterkingskosten: grondaankoop t.b.v. het ruimtebeslag en extra dijkmateriaal;
- onderhoudskosten: kosten regulier (jaarlijks) en groot (elke 30 jaar) onderhoud.

Tabel 4.5 toont de resulterende kosten voor verschillende normen. Een volledig en uitgesplitst overzicht is opgenomen in bijlage IV.

Tabel 4.5 Totale kosten voor aanleg en onderhoud per scenario voor faalmechanisme 3

Norm [per jaar]	1/10	1/30	1/100	1/300	1/1.000	1/3.000	1/10.000
totale kosten per m [EUR/m]	1.010	1.094	1.206	1.302	1.430	1.534	1.684
lengte (excl. hoge grond) [m]	26.000	26.000	26.000	26.000	26.000	26.000	26.000
totale kosten [EUR]	26.260.000	28.444.000	31.356.000	33.852.000	37.180.000	39.884.000	43.784.000

4.7.3 Berekening basisbeschermingsniveau pilotgebied

Het optimale basisbeschermingsniveau is het geaccepteerde wateroverlastrisico dat leidt tot minimale maatschappelijke kosten. In afbeelding 4.11 zijn de maatschappelijke kosten berekend van verschillende basisbeschermingsniveau. Deze kosten zijn berekend middels de volgende stappen:

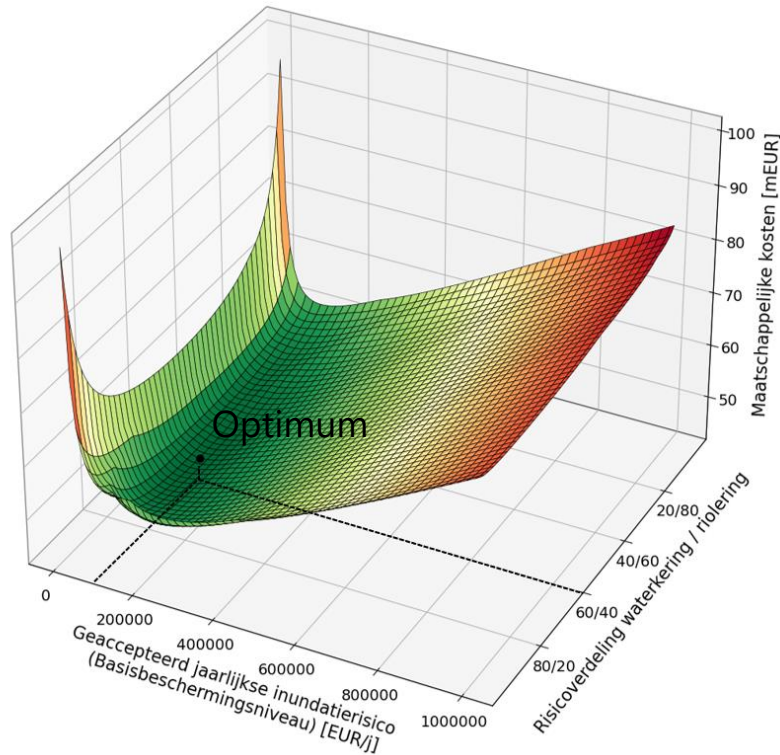
- per beschouwd basisbeschermingsniveau zijn verschillende risicoverdelingen tussen faalmechanisme 1 (riolering) en faalmechanisme 3 (waterkering) beschouwd. Aan de hand van deze verdeling zijn berekend:
 - het **geaccepteerd wateroverlastrisico als gevolg van faalmechanisme 1**;
 - het **geaccepteerd wateroverlastrisico als gevolg van faalmechanisme 3**;
 - de **terugkeertijd** van falen als gevolg van faalmechanisme 1 en 3 is berekend door het geaccepteerd risico van deze faalmechanismen te delen door de berekende schade in paragraaf 4.2 en 4.4;
- de **aanleg- en onderhoudskosten** om de riolering en waterkering te laten voldoen aan de berekend terugkeertijd zijn berekend door lineair te interpoleren en extrapoleren tussen de kosten in tabel 4.4 en tabel 4.5 respectievelijk;
- de **totale maatschappelijke kosten** zijn een sommatie van het geaccepteerd risico en de kosten om de riolering en de waterkering te laten voldoen aan het geaccepteerd risico (allen omgerekend naar NCW).

Het optimale basisbeschermingsniveau voor het pilotgebied is een jaarlijks wateroverlastrisico van EUR 110.000,00 per jaar verdeeld over faalmechanisme 1 en 3:

- het geaccepteerd wateroverlastrisico voor faalmechanisme 1 van 40 % (EUR 44.000,00 per jaar) en een bijbehorende ontwerpfaalkans 1/1,8^e per jaar (T = 1,8 jaar);
- het geaccepteerd wateroverlastrisico voor faalmechanisme 3 van 60 % (EUR 66.000,00 per jaar) en een bijbehorende ontwerpfaalkans van 1/600^e per jaar (T = 600 jaar).

In hoofdstuk 5 zijn deze ontwerpfaalkansen vergeleken met de huidige faalkansen.

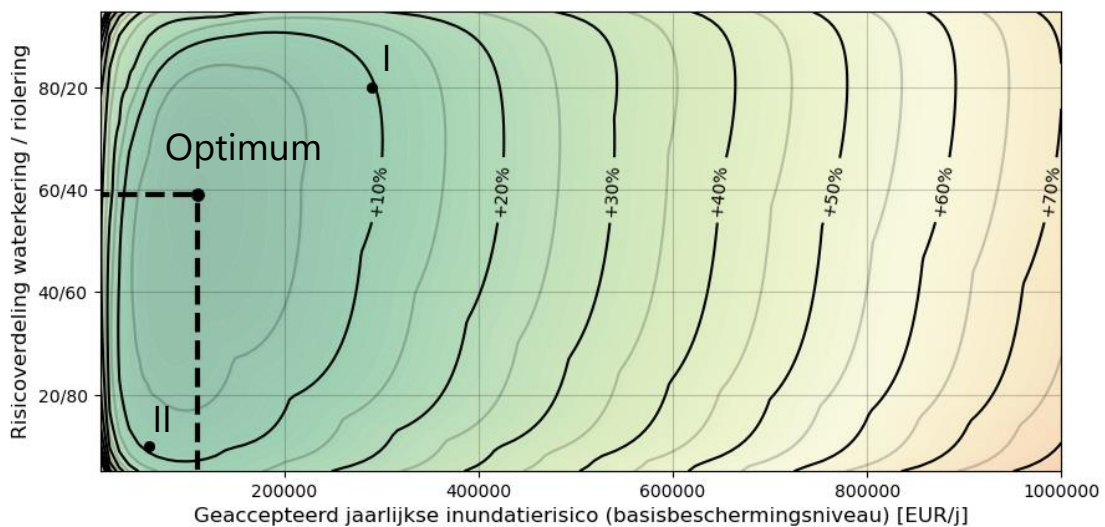
Afbeelding 4.11 Berekening optimaal basisbeschermingsniveau met minimale maatschappelijke kosten gemarkeerd



In afbeelding 4.12 is weergegeven in hoeverre de totale maatschappelijke kosten stijgen t.o.v. van het optimum (in feite is dit een bovenaanzicht van afbeelding 4.11). Hierin is te zien dat de totale maatschappelijke kosten zeer vlak oplopen bij een wijziging in het basisbeschermingsniveau en/of de verdeling van het risico over de waterkering / riolering.

De punten I en II leiden beide tot totale maatschappelijke kosten binnen een marge van 10 % vanaf het optimum. Gegeven de onzekerheden in de berekening van het wateroverlastrisico en de versterkingskosten is een marge van 10 % praktisch gezien verwaarloosbaar. Uiteraard zijn er naast deze 2 arbitrair gekozen punten nog veel meer punten waarvoor geldt dat ze binnen een marge van 10 % liggen.

Afbeelding 4.12 Gevoeligheid totale maatschappelijke kosten t.o.v. optimum met punten I en II binnen 10 % van het optimum



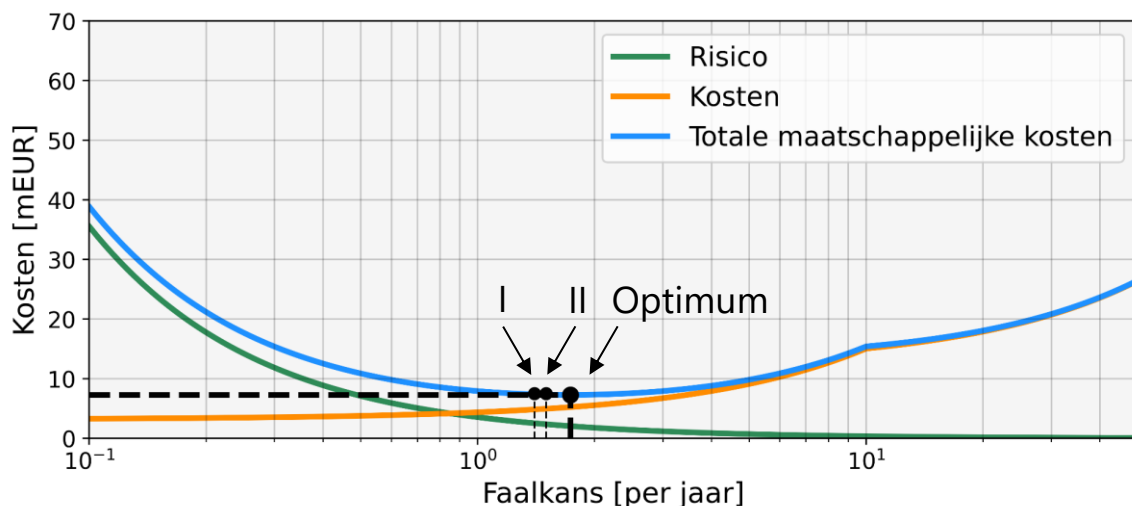
De punten leiden met name tot zeer uiteenlopende faalkanseisen voor de waterkering, zoals weergegeven in tabel 4.6. Er is te zien dat de optimale ontwerpnorm voor de riolering stabiel is ($T = 1,5$ a 2 jaar), terwijl de optimale ontwerpnorm voor de waterkering zeer onstabiel is. Er is te zien dat een ontwerpnorm voor de waterkering tussen $T = 170$ en $T = 6.700$ jaar tot vrijwel dezelfde **maatschappelijke** kosten leidt (de **versterkingskosten** nemen wel toe). Dit betekent dat de waterkering veel betrouwbaarder kan worden aangelegd dan het theoretische optimum voor beperkte **maatschappelijke** meerkosten.

Tabel 4.6 Overzicht punten I, II en het optimum

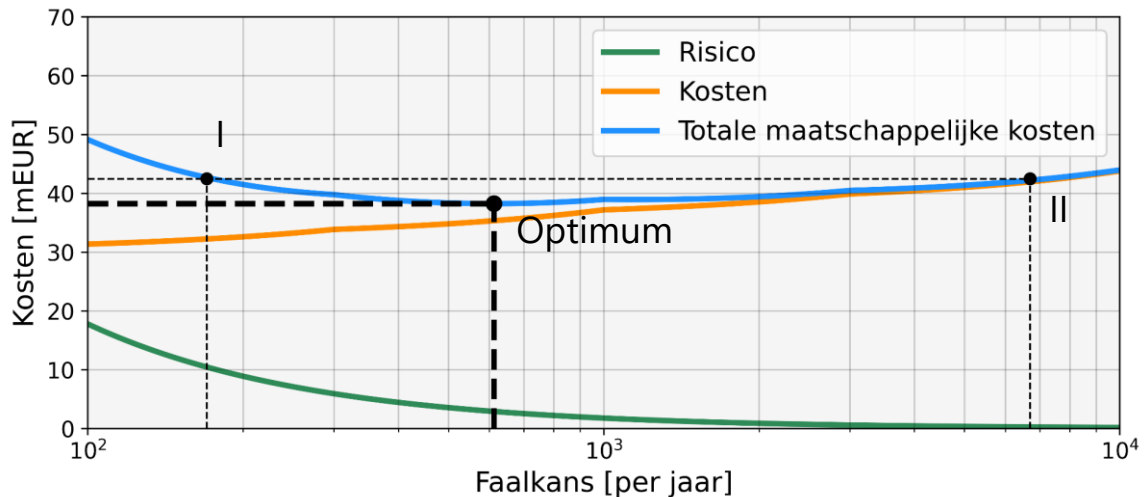
	Punt I	Punt II	Optimum
Basisbeschermingsniveau [EUR/j]	290.000	60.000	110.000
Risicoverdeling waterkering / riolering [-]	80 / 20	10 / 90	60 / 40
Geaccepteerd risico riolering [EUR/j] (risicoaandeel x basisbeschermingsniveau)	58.000	54.000	44.000
Geaccepteerd risico riolering [EUR NCW] (risico per jaar / discontovoet)	2.600.000	2.400.000	2.000.000
Terugkeertijd falen riolering [jaar] (risico per jaar / schade bij falen)	1,4	1,5	1,8
Kosten versterking riolering [EUR NCW] (afgeleid o.b.v. tabel 4.4)	4.800.000	5.000.000	5.500.000
Geaccepteerd risico waterkering [EUR/j] (risicoaandeel x basisbeschermingsniveau)	232.000	6.000	66.000
Geaccepteerd risico waterkering [EUR NCW] (risico per jaar / discontovoet)	10.300.000	250.000	3.000.000
Terugkeertijd falen waterkering [jaar] (risico per jaar / schade bij falen)	170	6.700	600
Kosten versterking waterkering [EUR NCW] (afgeleid o.b.v. tabel 4.5)	32.300.000	42.000.000	35.000.000
Totale maatschappelijke kosten [EUR NCW] (risico's + versterkingskosten)	50.000.000	50.000.000	45.500.000

Dit is ook weergegeven in afbeelding 4.13 en afbeelding 4.14, waarin de maatschappelijke kosten zijn uitgezet tegen de ontwerpnorm (faalkans per jaar). Er is te zien dat de maatschappelijke kostenlijn van de riolering een duidelijk minimum vertoont, maar dat de maatschappelijke kostenlijn van de waterkering zeer vlak loopt.

Afbeelding 4.13 Optimale ontwerpnorm voor de riolering



Afbeelding 4.14 Optimale ontwerpnorm waterkering



N.B. In de afbeeldingen is een knik in de kostenlijn te zien. Dit wordt veroorzaakt door het weergegeven van een lineaire interpolatie over de punten uit tabel 4.4 en tabel 4.5 in een logaritmisch assenstelsel in afbeelding 4.13 en afbeelding 4.14.

4.8 Conclusies

In dit hoofdstuk is onderstaande onderzoeksvraag 2 beschouwd:

Hoe maak je de vertaling van het (locatie specifieke) beschermingsniveau naar de kans op het falen van een deelsysteem binnen het watersysteem? En hoe maak je vervolgens de vertaling naar de kans van het optreden van een relevante weersomstandigheid? Welke aandachtspunten komen naar voren in het proces, bij de uitvoering van de methodiek?

In dit hoofdstuk is de vertaling tussen de verschillende deelsystemen en het beschermingsniveau gemaakt door het wateroverlastrisico als gevolg van de relevante faalmechanismen van de deelsystemen te berekenen. Ten behoeve van deze afleiding is in dit hoofdstuk per faalmechanisme is de maatgevende weersomstandigheid afgeleid:

- faalmechanisme 1 (lokaal afvoer- en bergingstekort): korte hevige bui;
- faalmechanisme 2 (bergings- of afvoertekort in de polder): langdurige neerslag;
- faalmechanisme 3 (falen waterkering): langdurige neerslag en/of wind.

Per faalmechanismen is het verwachte wateroverlastrisico voor het pilotgebied berekend door de resulterende schade te delen door de terugkeertijd:

- faalmechanisme 1 (lokaal afvoer- en bergingstekort): EUR 85.000,00 per jaar;
- faalmechanisme 2 (bergings- of afvoertekort in de polder): EUR 20.000,00 per jaar;
- faalmechanisme 3 (falen waterkering): EUR 400.000,00 per jaar.

Op basis van verschillende scenario's van afhankelijkheid tussen de faalmechanismen kunnen deze risico's op verschillende wijzen gecombineerd worden tot een totaal wateroverlastrisico. Als gevolg van de dominantie van faalmechanisme 3 op het wateroverlastrisico liggen de boven- en ondergrens van het gecombineerde wateroverlastrisico dicht bij elkaar en is de meerwaarde van het gericht inschatten van het gecombineerde risico beperkt:

- optimistische ondergrens (aanname volledige afhankelijkheid): EUR 400.000,00 per jaar;
- conservatieve bovengrens (aanname volledige onafhankelijkheid): EUR 505.000,00 per jaar.

Een aandachtspunt in de werkwijze is het beschouwde schaalniveau. Voor het wateroverlastrisico in het gehele pilotgebied is faalmechanisme 3 dominant. Dit gaat echter niet altijd op voor een kleiner schaalniveau. Dit betekent dat de ervaring vanuit een lokaal beschermd belang niet altijd aansluit bij het beeld op hoger schaalniveau. Voor een lokaal beschermd belang kan nog steeds zijn dat faalmechanisme 1 en/of 2 dominant is.

Het basisbeschermingsniveau is afgeleid op basis van een MKBA. In de MKBA zijn de kosten en het risico als gevolg van faalmechanismen 1 en 3 afgewogen. Het optimale basisbeschermingsniveau voor het pilotgebied is een jaarlijks wateroverlastrisico van EUR 110.000,00 per jaar verdeeld over faalmechanisme 1 en 3:

- het geaccepteerd wateroverlastrisico voor faalmechanisme 1 van 40 % (EUR 44.000,00 per jaar) en een bijbehorende ontwerpfaalkans $1/2^e$ per jaar ($T = 2$ jaar);
- het geaccepteerd wateroverlastrisico voor faalmechanisme 3 van 60 % (EUR 66.000,00 per jaar) en een bijbehorende ontwerpfaalkans van $1/600^e$ per jaar ($T = 600$ jaar).

De optimale ontwerpnorm voor faalmechanisme 1 (riolering en inrichting maaiveld) is stabiel. Een kleine afwijking van het optimum leidt tot een ontwerpnorm die slechts licht wijzigt. De optimale norm voor faalmechanisme 3 (waterkering) is niet stabiel. Dit betekent dat een kleine afwijking van het optimum kan leiden tot een enorm afwijking voor de optimale ontwerpnorm.

4.9 Reflectie op analyses

In dit hoofdstuk is het wateroverlastrisico van de verschillende faalmechanismen berekend met de Waterschadeschatter. De Waterschadeschatter heeft een (bekende) beperkte nauwkeurigheid in stedelijk gebied. Omwille van de consistentie en vergelijkbaarheid is ervoor gekozen om de Waterschadeschatter toch te gebruiken voor het gehele pilotgebied, inclusief de stedelijke delen. Dit betekent wel dat de schadeberekeningen voor het stedelijk gebied minder nauwkeurig zijn.

De gepresenteerde voorbeelden van correlaties en basisbeschermingsniveaus geeft een beeld van twee extremen weer (volledige afhankelijkheid en volledige onafhankelijkheid). In de praktijk zullen de faalmechanismen en -kansen ten dele gecorreleerd zijn. De mate van correlatie kan ook verschillen per deelgebied binnen het pilotgebied.

In de MKBA in dit hoofdstuk is gekozen om de kosten en baten uit te drukken in euro's, maar hier kunnen ook andere eenheden voor worden gehanteerd. Het uitdrukken van kosten en baten in euro's kan er toe leiden dat andere vormen van (indirecte) ongewenste effecten niet zuiver worden meegenomen in de afweging. Hierbij kan gedacht worden aan:

- slachtoffers (ethisch lastig uit te drukken in euro's);
- ontwrichting van de samenleving (lastig te kwantificeren);
- andere mogelijke ethisch ongewenste effecten zoals bijvoorbeeld een hoger beschermingsniveau voor 'rijke buurten' in vergelijking met 'minder rijke buurten' omdat de schade daar hoger uitvalt.

Ten behoeve van de MKBA zijn scenario's opgesteld voor het rioolstelsel in het pilotgebied. Hierin zijn terugkeertijden tot $T = 50$ jaar beschouwd. Dergelijke terugkeertijden zijn niet gebruikelijk in het ontwerp van rioolstelsels en wordt nooit toegepast. Dit sluit aan bij de conclusie uit de MKBA dat de optimale terugkeertijd voor het rioolstelsel rond $T = 2$ jaar ligt en erg stabiel is.

Het instabiele evenwicht van de optimale terugkeertijd van de waterkering sluit aan bij conclusies uit de eerder uitgevoerde pilotstudie naar regionale normeringen [ref. 13]. In deze eerder uitgevoerde pilotstudie werd voor regionale dijkversterkingen geconcludeerd dat met beperkte meerkosten een veel hoger veiligheidsniveau kon worden gehaald. Het kan zodoende doelmatig zijn om bij een regionale dijkversterking zeer robuust te ontwerpen.

5

VERGELIJING HUIDIG WATEROVERLASTRISICO MET BASISBESCHERMINGSNIVEAU

In dit hoofdstuk is het huidige wateroverlastrisico vergeleken met het basisbeschermingsniveau (beide berekend in hoofdstuk 4). Hierbij is onderzoeksvraag 4 beantwoord: *Welke opgave doet zich voor wanneer de huidige situatie in het gebied wordt vergeleken met het gewenste (basis)beschermingsniveau zoals gedefinieerd voor onderzoeksvraag 1 en 2? Met de huidige situatie bedoelen we de huidige inrichting van het maaiveld en de deelsystemen van het watersysteem waarbij die voldoen aan de vigerende normering.*

In dit hoofdstuk is aangenomen dat het polderwatersysteem (faalmechanisme 2) een verwaarloosbare invloed heeft op het wateroverlastrisico in het pilotgebied. Dit deelsysteem is daarom niet beschouwd (geen opgave als het basisbeschermingsniveau wordt vergeleken met de huidige situatie).

Er zijn twee situaties beschouwd:

- de opgave indien het optimale basisbeschermingsniveau is vereist;
- de opgave indien een basisbeschermingsniveau is vereist binnen 10 % van het optimum (semi-optimum).

5.1 Opgave bij optimaal basisbeschermingsniveau

In hoofdstuk 4 zijn het optimale basisbeschermingsniveau en huidige wateroverlastrisico berekend. Het optimale basisbeschermingsniveau bedraagt EUR 110.000,00 per jaar. Dit leidt tot de volgende ontwerpnormen:

- riolering en maaiveldinrichting: T= 2 jaar (afgerond);
- waterkering: T= 600 jaar.

De riolering en de maaiveldinrichting (faalmechanisme 1) voldoen aan de norm in dit optimale basisbeschermingsniveau. Dit deelsysteem heeft zelfs enige oversterkte (de optimale norm is namelijk naar boven afgerond vanaf T = 1,8 jaar).

De waterkering dient wel versterkt te worden als het basisbeschermingsniveau wordt vergeleken met de huidige situatie. Dit leidt tot twee versterkingsopgaven t.o.v. de huidige norm van T = 100 jaar:

- verhoging sterkte grasbekleding erosie kruin en binnentalud (GEKB);
- verhoging sterkte macrostabiliteit binnentalud (STBI).

In bijlage IV (Tabel IV.3) zijn (zeer ruwe) kentallen weergegeven voor de resulterende dimensies van de waterkering. Hierin is te zien dat een T = 600 jaar waterkering leidt tot de volgende versterkingsopgave:

- voor GEKB is aangenomen dat het kritieke overslagdebiet niet veranderd. Dit leidt tot een vereiste kruin van de kruinhoogte van de waterkering van NAP + 2,10 m;
- voor STBI is aangenomen dat het binnentalud dient te worden verflauwd tot 1:4,7. Deze verflauwing van het binnentalud leidt tot een extra ruimtebeslag van circa 2,5 m aan de binnenkant van de waterkering.

N.B. Er wordt benadrukt dat de bovenstaande versterkingsopgave een voorbeeldexercitie betreft, gebaseerd op zeer ruwe kentallen. De resultaten zijn puur illustratief voor de methodiek en niet over te nemen in andere rapporten.

5.2 Opgave bij semi-optimaal basisbeschermingsniveau (binnen 10 % van optimum)

In hoofdstuk 4 is onderbouwd dat de totale maatschappelijke kosten van het waterkeringensysteem slechts in beperkte mate afwijken bij een afwijking van het optimale minimum. Het optimale basisbeschermingsniveau bedraagt EUR 110.000,00 per jaar, maar een basisbeschermingsniveau van EUR 290.000,00 per jaar (punt 1 uit hoofdstuk 4) leidt tot een pragmatisch gezien beperkte toename van de totale maatschappelijke kosten. Dit leidt tot de volgende ontwerpnormen:

- riolering en maaiveldinrichting: T = 2 jaar (afgerond);
- waterkering: T = 170 jaar.

De riolering en de maaiveldinrichting (faalmechanisme 1) voldoen nog steeds aan de norm in dit semi-optimaal basisbeschermingsniveau. De waterkering dient wel versterkt te worden als het basisbeschermingsniveau wordt vergeleken met de huidige situatie. Dit leidt tot twee versterkingsopgaven t.o.v. de huidige norm van T = 100 jaar:

- verhoging sterkte grasbekleding erosie kruin en binnentalud (GEKB);
- verhoging sterkte macrostabiliteit binnentalud (STBI).

In bijlage IV (Tabel IV.3) zijn (zeer ruwe) kentallen weergegeven voor de resulterende dimensies van de waterkering. Hierin is te zien dat een T = 170 jaar waterkering leidt tot de volgende versterkingsopgave:

- voor GEKB is aangenomen dat het kritieke overslagdebiet niet verandert. Dit leidt tot een vereiste kruin van de kruinhoogte van de waterkering van NAP + 2,03 m;
- voor STBI is aangenomen dat het binnentalud dient te worden verflauwd tot 1:4,3. Deze verflauwing van het binnentalud leidt tot een extra ruimtebeslag van circa 0,5 m aan de binnenkant van de waterkering.

N.B. Er wordt benadrukt dat de bovenstaande versterkingsopgave een voorbeeldexercitie betreft, gebaseerd op zeer ruwe kentallen. De resultaten zijn puur illustratief voor de methodiek en niet over te nemen in andere rapporten.

De opgave bij het semi-optimaal basisbeschermingsniveau is kleiner dan de opgave bij het optimale basisbeschermingsniveau. De besparing in het ruimtebeslag in het semi-optimaal basisbeschermingsniveau kan er echter toe leiden dat de waterkering inpasbaar is op locatie waar het optimale basisbeschermingsniveau niet inpasbaar zou zijn.

5.3 Conclusies

In dit hoofdstuk is onderzoeksvraag 4 beschouwd:

Welke opgave doet zich voor wanneer de huidige situatie in het gebied wordt vergeleken met het gewenste (basis)beschermingsniveau zoals gedefinieerd voor onderzoeksvraag 1 en 2? Met de huidige situatie bedoelen we de huidige inrichting van het maaiveld en de deelsystemen van het watersysteem waarbij die voldoen aan de vigerende normering.

Het optimale basisbeschermingsniveau van EUR 110.000,00 per jaar in het pilotgebied leidt tot een strengere normering voor de waterkering (T = 600 jaar t.o.v. T = 100 jaar). Deze strengere normering leidt tot de volgende opgave:

- een kruinverhoging naar NAP + 2,10 m t.b.v. het faalmechanisme grasbekleding erosie kruin en binnentalud;
- een taludverflauwing naar 1:4,7. Deze verflauwing van het binnentalud leidt tot een extra ruimtebeslag van circa 2,5 m aan de binnenkant van de waterkering.

Pragmatisch gezien wijken de totale maatschappelijke kosten in het pilotgebied bij een semi-optimaal basisbeschermingsniveau van EUR 290.000,00 per jaar nauwelijks af van het optimale basisbeschermingsniveau (binnen 10 %). Dit leidt tot een minder strenge normering voor de waterkering (T = 170 jaar). Deze normering leidt tot de volgende opgave:

- een kruinverhoging naar NAP + 2,03 m t.b.v. het faalmechanisme grasbekleding erosie kruin en binnentalud;
- een taludverflauwing naar 1:4,2. Deze verflauwing van het binnentalud leidt tot een extra ruimtebeslag van circa 0,5 m aan de binnenkant van de waterkering.

6

MOGELIJKE MAATREGELN TEGEN WATEROVERLAST

Dit hoofdstuk biedt een overzicht van mogelijke maatregelen die de kans en/of het gevolg op wateroverlast verkleinen. Het hoofdstuk geeft daarmee antwoord op deelvragen 5 en 6: "Welke maatregelen kunnen de kans van optreden van wateroverlast bij de locatie/het gebied beïnvloeden? Welke maatregelen zijn het meest kosteneffectief?" en "Welke maatregelen kunnen de gevolgen van wateroverlast bij de locatie/het gebied beïnvloeden? Welke maatregelen zijn het meest kosteneffectief?"

In paragraaf 6.1 zijn maatregelen in het stedelijk waterbeheer beschouwd die vervolgens worden toegepast op het pilotgebied. In hoofdstuk 5 is al een overzicht gegeven van maatregelen voor de waterkering, daarom wordt dit onderwerp niet nader beschouwd in hoofdstuk 6. In paragraaf 6.2 is een casus uitgewerkt waarin de locatiekeuze voor een nieuwe fictieve woonwijk beschouwd is beschouwd.

6.1 Mogelijke maatregelen in het stedelijk waterbeheer

Voor het stedelijk watersysteem zijn er veel verschillende maatregelen die helpen om wateroverlast tegen te gaan. In de volgende paragrafen wordt een overzicht gegeven, waarbij onderscheid is gemaakt tussen:

- **Kansreductie:** de kans op wateroverlast wordt beheerst door maatregelen te richten op het droog houden van het beschermd belang. Het wateroverlastrisico wordt beheerst door $P(\text{wateroverlast})$ te beperken (zie paragraaf 3.3.1);
- **Gevolgreductie:** de gevolgen gegeven wateroverlast worden beheerst, door maatregelen te richten op het beperken van de wateroverlast. Het wateroverlastrisico wordt beheerst door $P(\text{schade}|\text{wateroverlast})$ en $\text{Schade}|\text{wateroverlast}$ te beperken (zie paragraaf 3.3.1).

Kanttekening

Er worden enkele belangrijke kanttekeningen bij de maatregelen in dit hoofdstuk gemaakt:

- sommige maatregelen dragen bij aan zowel kans- als gevolgreductie. Daarnaast draagt niet elke maatregel evenveel bij. Het stedelijk watersysteem bestaat uit verschillende schakels van assets die goed dienen te functioneren (zoals maaiveldinrichting, riolering, gemaal en ontvangend oppervlaktewater). Het falen van slechts één schakel kan wateroverlast tot gevolg hebben;
 - de MKBA (paragraaf 4.7) laat een stabiel optimum zien voor het stedelijk watersysteem tussen $T = 1$ en $T = 2$ jaar. Met andere woorden: bij een systeem dat veel minder frequent faalt dan $T = 2$ jaar, vindt al snel overinvestering plaats. De baten (vermeden schade) liggen in dat geval lager dan de kosten;
 - de kansrijkheid, wenselijkheid en kosten hangen sterk af van de lokale situatie:
 - maatregelen op het maaiveld vereisen relatief veel ruimte of hebben gevolgen voor de functie van het maaiveld (bij ontharden, bijvoorbeeld). De investeringskosten zijn relatief laag, maar de onderhoudsinspanning is relatief groot;
 - ondergrondse maatregelen zoals grotere riolering en ondergrondse berging zijn duur, maar kunnen de enige optie zijn bij ruimtegebrek. Ook kunnen de maatregelen meegekoppeld worden met andere ondergrondse ingrepen of straatwerkzaamheden, waardoor de kosten veel lager uitpakken;
 - grootschalige ingrepen aan gemalen zijn alleen doelmatig wanneer een groot gebied wordt getroffen door regelmatige wateroverlast en/of zij toch vervangen worden vanwege einde levensduur.
-

6.1.1 Kansreductie

De volgende maatregelen zijn mogelijk om de kans op wateroverlast te reduceren:

- het vergroten van de afvoercapaciteit;
- het voorkomen van overbelasting van het riool.

Vergoten afvoercapaciteit

Het stedelijk watersysteem bestaat uit grofweg zes schakels (zie hieronder). Iedere schakel verwerkt hemelwater en iedere schakel kan beperkend zijn voor de afvoercapaciteit. Indien slechts één schakel ernstig beperkend is, kan dit al wateroverlast tot gevolg hebben:

- 1 rechtstreekse afwatering richting oppervlaktewater mogelijk maken:
 - bijvoorbeeld: de weg op één oor naar gracht/water leggen. Water wordt zo van het beschermd belang afgevoerd naar oppervlaktewater. Zo wordt ook de riolering ontlast. Voorwaarden: het oppervlaktewater heeft voldoende capaciteit en het afstromend wegwater is van voldoende kwaliteit;
- 2 kolken riolering toevoegen:
 - door meer kolken op straat toe te voegen, wordt de instroom van overtollig hemelwater in de riolering vergemakkelijkt. De afvoer van hemelwater vanaf de straat wordt verbeterd. Voorwaarde is dat het aangesloten rioolstelsel voldoende hydraulische capaciteit heeft.
- 3 vergroten diameters rioolstelsel:
 - de hydraulische capaciteit van het rioolstelsel wordt vergroot, zodat meer afvoer mogelijk is. Flessenhalzen dienen hierbij voorkomen te worden. Een voorwaarde is dat de gemaalcapaciteit en de capaciteit van de rwzi voldoende zijn om extra hemelwater te verwerken
- 4 overstorten en/of uitlaten HWA toevoegen:
 - het toevoegen van extra overstorten (of, bij een HWA, uitlaten) vergroot de afvoercapaciteit van het stelsel. In sommige gevallen is dit effectiever dan het vergroten van leidingdiameters, maar dit is sterk situatieafhankelijk. Ook worden het gemaal en de rwzi ontlast. Voorwaarde is dat het ontvangende oppervlaktewater voldoende capaciteit heeft en dat geen waterkwaliteitsproblemen worden geïntroduceerd;
- 5 vergroten gemaalcapaciteit:
 - het vergroten van de gemaalcapaciteit (en uiteindelijk de capaciteit van de rwzi) helpt bij het vergroten van de afvoercapaciteit van de keten als deze beperkend is. Er wordt benadrukt dat deze maatregel alleen effectief is als de onderdelen 1-4 bovennormatief zijn gedimensioneerd en de gemaalcapaciteit daardoor beperkend is geworden voor de afvoer.
- 6 vergroten capaciteit oppervlaktewater:
 - het vergroten van de capaciteit van het oppervlaktewater waarop de overstort of de rwzi loost, is de laatste stap in het vergroten van de ketencapaciteit. Dit is alleen zinvol wanneer het beschermd belang wordt bedreigd door inundatie vanuit het ontvangende oppervlaktewater.

Voorkomen van overbelasting van het riool

Een andere strategie die leidt tot het verkleinen van de kans op wateroverlast, is het verlagen van het aanbod van afstromend hemelwater. Dit kan op meerdere manieren:

- 1 hemelwater vasthouden en gebruiken:
 - door hemelwater vast te houden en waar mogelijk te hergebruiken. Hiervoor liggen met name kansen bij individuele gebouwen en op private percelen (bijvoorbeeld op het dak of in de tuin). Het uitgangspunt is dat afstroming naar de openbare ruimte wordt verminderd of voorkomen, doordat hemelwater wordt verwerkt op de plaats waar het valt. Zo neemt de belasting van het riool af en wordt de kans op wateroverlast verkleind. Een voorwaarde is dat het vasthouden van hemelwater niet leidt tot wateroverlast op eigen terrein;
- 2 hemelwater tijdelijk bergen:
 - de riolering wordt grotendeels belast door private en openbare verharding die tot afstroming komt op het riool. Door hemelwater te bergen en niet tot afstroming te laten komen neemt de belasting op het rioolstelsel af. De kans op wateroverlast wordt daarmee verkleind. Mogelijke maatregelen zijn bijvoorbeeld het aanleggen van infiltratiekragen of het ontharden van de openbare ruimte. Ook het aanleggen van een separaat HWA is een mogelijke maatregel;
- 3 hemelwater vertraagd afvoeren:

- een andere mogelijkheid is het vertraagd afvoeren van hemelwater richting de riolering of het oppervlaktewater. Op die manier wordt een piekbelasting van het riool of de watergang voorkomen, waardoor de kans op wateroverlast afneemt. Een mogelijke maatregel is bijvoorbeeld het toepassen van een debietvertrager. Dit kan zowel op privaat als op openbaar terrein. Daarnaast is een knijpconstructie een maatregel om piekbelasting op het watersysteem te voorkomen. Een voorwaarde is dat er ruimte is om het hemelwater lokaal tijdelijk te bergen voordat het (vertraagd) wordt afgevoerd, zodat lokaal geen wateroverlast optreedt.

6.1.2 Gevolgreductie

De volgende maatregelen zijn mogelijk om de gevolgen van wateroverlast te reduceren:

- vergroten bergingscapaciteit;
- betere bescherming van het beschermd belang.

Vergroten bergingscapaciteit

Het vergroten van de bergingscapaciteit kan op drie wijzen gerealiseerd worden:

- 1 bergingsvoorzieningen op het maaiveld realiseren:
 - bijvoorbeeld wadi's en retentievoorzieningen, waardoor overtollig hemelwater niet afgevoerd wordt richting de rwzi, maar vastgehouden op plaatsen waar minimale schade ontstaat. Deze oplossing kost ruimte en de bergingsvoorzieningen moeten tijdig weer leeg zijn, voor een volgende bui optreedt;
- 2 ondergrondse berging realiseren:
 - waterberging kan ook ondergronds worden gerealiseerd. Bijvoorbeeld door het vergroten van de bergingscapaciteit van de riolering of door het aanleggen van bergingskratten. Zo blijft de ruimte op het maaiveld beschikbaar voor andere functies;
- 3 hogere trottoirbanden aanleggen of lager straatpeil:
 - een andere mogelijkheid is het aanleggen van hogere trottoirbanden of kiezen voor een lager straatpeil. Er staat dan tijdens neerslag juist meer water op straat, maar dit veroorzaakt minder schade aan panden en overige kwetsbare functies.

N.B. Er is gekozen om het vergroten van de bergingscapaciteit te categoriseren als 'gevolgreductie', omdat er water op maaiveld optreedt. Het vergroten van de bergingscapaciteit kan echter ook als een vorm van 'kansreductie' worden beschouwd, omdat de kans op schade wordt beperkt. Daarnaast kan het bergen van water bovenstrooms leiden tot een beperking van de kans op schade benedenstrooms.

Betere bescherming van het beschermd belang

Naast de genoemde maatregelen voor kans- en gevolgreductie in de sfeer van ruimtelijke ordening zijn er diverse manieren om het beschermd belang verder af te schermen van schade door wateroverlast. Voorbeelden zijn het plaatsen van schotten voor de deur en het verplaatsen van kwetsbare beschermde belangen naar hoger gelegen gebieden. Ook het beter voorlichten en informeren van bewoners over hoe om te gaan met wateroverlast en crisissituaties zijn maatregelen. Deze maatregelen raken niet direct aan de ruimtelijke ordening en zijn beter vergelijkbaar met laag 3 van het concept meerlaagseveiligheid (maatregelen die de rampenbeheersing verbeteren).

6.1.3 Specifieke maatregelen in het pilotgebied

In paragrafen 6.1.1 en 6.1.2 is een groslijst met mogelijke maatregelen in het stedelijk waterbeheer beschreven die de kans op of gevolgen van wateroverlast helpen voorkomen. Welke maatregelen mogelijk en doelmatig zijn, hangt sterk af van de lokale context. Belangrijke parameters hierbij zijn onder andere:

- beschikbare ruimte voor maatregelen (zowel op maaiveld als in de ondergrond);
- nabijheid van bestaand oppervlaktewater;
- doorlatendheid (k-waarde) van de bodem ter plaatse;
- grondwaterstanden ter plaatse;

- bestaand stelseltype.

Bovengrondse en ondergrondse maatregelen

In de MKBA (paragraaf 4.7) zijn voor het stedelijk watersysteem drie scenario's onderscheiden. Deze scenario's zijn alle gericht op het bergen en afvoeren van hemelwater (met toenemende betrouwbaarheid):

- scenario 1: een standaard gemengd rioolstelsel zonder bergingsvoorzieningen op of beneden maaiveld. Er is aangenomen dat de herhalingstijd voor wateroverlast 2 jaar bedraagt;
- scenario 2: een robuuster systeem met een volledig gescheiden stelsel en berging op het maaiveld (wadi's). Er is aangenomen dat dit systeem ervoor zorgt dat neerslag met een herhalingstijd van 10 jaar niet leidt tot wateroverlast ($T = 10$ jaar);
- scenario 3: een hypothetisch zeer robuust rioolstelsel (met berging op en beneden maaiveld) dat ervoor zorgt dat neerslag met een herhalingstijd van 50 jaar niet leidt tot wateroverlast ($T = 50$ jaar);

Bij het samenstellen van deze scenario's is gekeken naar enkele typische straatprofielen in Balk. Op basis van deze typische straatprofielen is gekozen voor een combinatie van 'harde' maatregelen ondergronds (zoals riolering en ondergrondse berging) en berging op het maaiveld in de vorm van wadi's.

Deze keuze is gemaakt omdat bovengrondse maatregelen niet op alle locaties mogelijk zijn door hoge bebouwings- en functiedichtheid. In deze gebieden liggen ondergrondse maatregelen daarom voor de hand. In de wijken buiten het centrum zijn maatregelen op het maaiveld vaak wel mogelijk.

In afbeelding 6.1 is een typisch straatprofiel in Balk met beperkte ruimte weergegeven. Op deze locatie is het niet mogelijk om bovengronds maatregelen te nemen die om ruimtebeslag vragen. Naast afkoppelen en ontharden zijn de enige overgebleven maatregelen ondergronds. Dit betreft bijvoorbeeld het vergroten van leidingdiameters, het aanleggen van een gescheiden stelsel of het aanleggen van een ondergrondse berging.

Afbeelding 6.1 Wilhelminastraat in Balk. Hier is geen ruimte voor maatregelen aan het maaiveld (Google Street View)



In afbeelding 6.2 is een typisch straatprofiel langs de rand van Balk weergegeven. Op deze locatie is veel meer ruimte beschikbaar is om bovengronds maatregelen te treffen tegen wateroverlast. Er is voldoende ruimte en groen aanwezig om hemelwater te laten infiltreren. Daarnaast is er oppervlakte aanwezig. In dit wijktype ligt het aanleggen van bovengrondse bergingsvoorzieningen meer voor de hand dan ondergrondse maatregelen. De investeringskosten voor bovengrondse maatregelen liggen lager en bovengrondse bergingsvoorzieningen kunnen meerdere functies vervullen (zoals recreatie, natuur en waterbewustzijn).

Afbeelding 6.2 Klaas van Houtstrjitte aan de rand van Balk. Hier liggen maatregelen aan het maaiveld meer voor de hand (Google Street View)



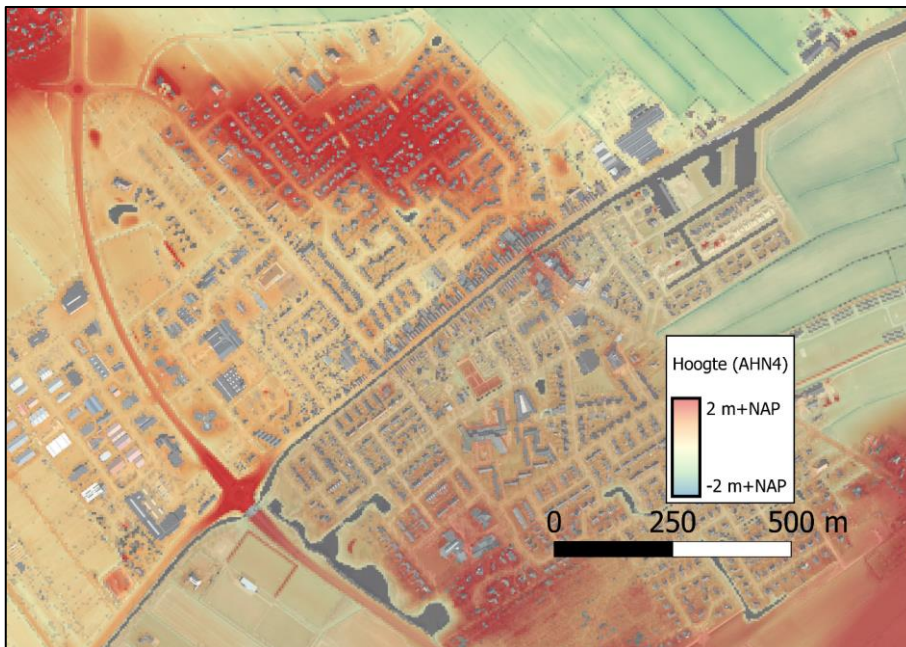
Vasthouden, bergen en afvoeren

Een ander onderscheid dat kan worden gemaakt in de maatregelen voor stedelijk water is naar primaire doel: water vasthouden, bergen of afvoeren. In het algemeen wordt ernaar gestreefd om bovenstrooms zoveel mogelijk water vast te houden en te bergen. Op die manier wordt de afvoer beperkt en kan worden voorkomen dat de riolering benedenstrooms hydraulisch overbelast raakt.

In afbeelding 6.3 is de hoogteligging van Balk weergegeven. In Balk is het geografische centrum relatief laaggelegen (circa NAP +0,70 m). Hier bevindt zich ook een watergang. In het noorden en zuiden van Balk liggen de wijken juist hoger (circa NAP +2,0 m).

Gezien het maaiveldverloop ligt het voor de hand om juist in de hooggelegen delen maatregelen te treffen die de afstroming beperken en de berging bevorderen. Voorbeelden zijn ontharden en wadi's. Overtollig hemelwater verzamelt zich uiteindelijk in de omgeving van het centrum. Hier is het logisch vooral te focussen op het mogelijk maken van afvoer, bijvoorbeeld door het toevoegen van uitlaten en het vergroten van leidingdiameters. Daarnaast helpt het ook om in lagergelegen gebieden (ondergrondse) bergingsvoorzieningen aan te leggen.

Afbeelding 6.3 Maaiveldverloop in Balk volgens AHN4



6.2 Fictieve casus: nieuwe woonkern

In deze paragraaf is de aanleg van een fictieve nieuwe woonkern in het pilotgebied beschouwd. Op basis van de analyses van de verschillende faalmechanismen is het gebied geanalyseerd en op basis van het water en bodem als basis concept zijn locaties afgewogen.

6.2.1 Relatie fictieve woonkern met faalmechanismen

In hoofdstuk 4 zijn de volgende faalmechanismen beschouwd:

- faalmechanisme 1 (lokaal afvoer- en bergingstekort);
- faalmechanisme 2 (bergings- of afvoertekort in de polder);
- faalmechanisme 3 (falen waterkering).

Relatie met faalmechanisme 1

Het wateroverlastrisico als gevolg van faalmechanisme 1 is hoofdzakelijk afhankelijk van de lokale gebiedsinrichting, zoals de maaiveldinrichting en de rioolcapaciteit, en de kans op maatgevende neerslag. De locatiekeuze van de fictieve woonkern heeft zeer beperkte invloed op de gebiedsinrichting. Binnen het pilotgebied is de neerslagstatistiek bovendien uniform, dat wil zeggen de kans op maatgevende neerslag is overal gelijk. Het wateroverlastrisico als gevolg van faalmechanisme 1 heeft zodoende beperkte¹ invloed op de keuze van de ligging van de fictieve woonkern.

Relatie met faalmechanisme 2

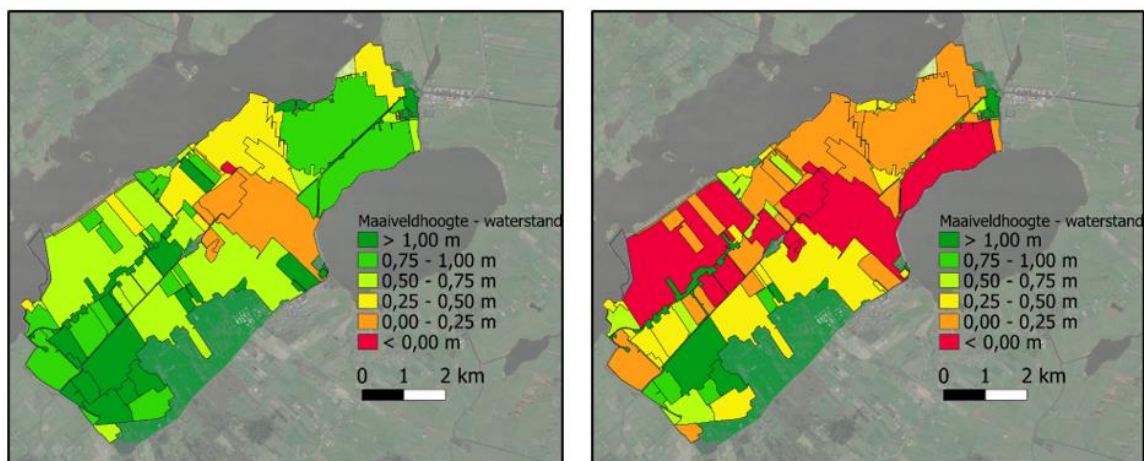
Het wateroverlastrisico als gevolg van faalmechanisme 2 is hoofdzakelijk afhankelijk van de nieuwe hoogteligging van de fictieve woonkern. De waterstand als gevolg van faalmechanisme 2 is echter niet uniform over het pilotgebied, maar verschilt per peilgebied. In afbeelding 6.4 is de waterstand als gevolg van faalmechanisme 2 t.o.v. het maaiveld weergegeven voor de verschillende peilgebieden. In tegenstelling tot in hoofdstuk 4 is als zichtjaar 2085 aangehouden, omdat de nieuwe fictieve woonkern ook in de toekomst robuust dient te zijn. Als terugkeertijden zijn $T = 1$ jaar (maatgevend voor het wateroverlastrisico zoals berekend in hoofdstuk 4) en $T = 100$ jaar (de huidige NBW-norm voor bebouwd gebied) beschouwd.

Er is aangenomen dat de aanleg van de fictieve woonwijk geen invloed heeft op het polderwatersysteem (faalmechanisme 2). Wanneer de fictieve woonwijk bijvoorbeeld leidt tot een 'bottleneck' in het polderwatersysteem, dan leidt neerslag tot andere inundatiepatronen dan de huidige analyses uit de NBW-toets. De woonwijk mag het huidige polderwatersysteem zodoende niet (lees: minimaal) verslechteren of er dient compensatie aangelegd te worden.

Peilgebieden met een maaiveld dat hoger ligt t.o.v. van de waterstand hebben een lager wateroverlastrisico dan peilgebieden met een maaiveld dat minder hoog ligt t.o.v. van de waterstand.

N.B. In afbeelding 6.4 is de maaiveldhoogte ten opzichte van resulterende waterstand uit de NBW-toets weergegeven. Dit geeft een eerste indruk van de kwetsbaarheid van de verschillende peilvakken voor een peilstijging. Dit is een vereenvoudiging, aangezien verschillende peilvakken verschillende kansen op peilstijgingen hebben. De mogelijke peilstijging in een direct bemalen peilvak is over het algemeen groter dan in een gestuwd peilvak. Een gestuwd peilvak voert meer water af naarmate het peil stijgt, terwijl de afvoer uit bemalen peilvak over het algemeen gelimiteerd is door de gemaaicapaciteit.

Afbeelding 6.4 Maaiveldhoogte - waterstand (bron: NBW-toets voor zichtjaar 2085) voor $T = 1$ jaar (links) en $T = 100$ jaar (rechts)



¹ De bodemopbouw heeft wel invloed op de mate van infiltratiecapaciteit en de initiële grondwaterstand.

Relatie met faalmechanisme 3

Het wateroverlast risico als gevolg van faalmechanisme 3 is afhankelijk van de hoogteligging van de fictieve woonkern t.o.v. toetspeil (huidig toetspeil is NAP, maar bij een strengere norm kan het toetspeil hoger komen te liggen):

- wanneer de hoogteligging van de fictieve woonkern boven toetspeil komt te liggen is het wateroverlast risico voor de fictieve woonkern als gevolg van faalmechanisme 3 verwaarloosbaar;
- falen van de waterkering leidt dan niet tot extra schade t.o.v. de schadeberekening in hoofdstuk 4 en de waterkering hoeft niet versterkt te worden;
- wanneer de hoogteligging van de fictieve woonkern onder toetspeil komt te liggen is het wateroverlast risico voor de fictieve woonkern als gevolg van faalmechanisme 3 zeer dominant.

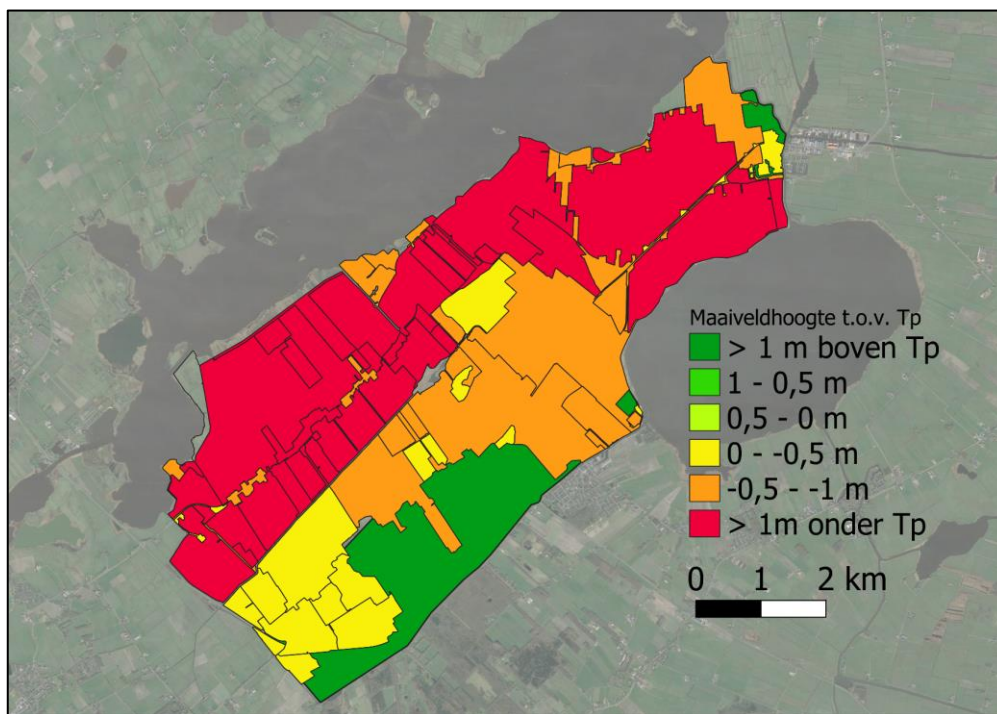
Falen van de waterkering leidt dan tot veel meer schade t.o.v. de schadeberekening in hoofdstuk 4 en het extra wateroverlast risico dient dan beheerst te worden:

- een versterking van de waterkering waardoor de jaarlijkse faalkans afneemt;
- een compartimentering rondom de fictieve woonkern, waardoor de schade als gevolg van falen van de waterkering afneemt.

In afbeelding 6.5 is de gemiddelde maaiveldhoogte per peilvak in het pilotgebied weergegeven t.o.v. het huidige toetspeil.

N.B. Deze middeling kan tot een enigszins vertekend beeld leiden (zo lijkt Balk incorrect onder toetspeil te liggen, omdat de rest van het peilvak onder toetspeil ligt), maar is toch aangehouden t.b.v. de vergelijking met afbeelding 6.4.

Afbeelding 6.5 Gemiddelde maaiveldhoogte per peilvak t.o.v. huidige toetspeil (NAP)



6.2.2 Locatiekeuze op basis van integrale afweging

Op basis van het berekende wateroverlast risico in hoofdstuk 4 is geconcludeerd dat faalmechanisme 3 maatgevend is. Daarnaast is in paragraaf 6.2.1 onderbouwd dat de toename van het wateroverlast risico beheerst dient te worden. Er is gekozen om van grof-naar-fijn te beredeneren en de beheersmaatregelen

voor het dominante faalmechanisme eerst te beschouwen. Per beheersmaatregel is de eventuele impact op de minder dominante faalmechanismen 1 en 2 beschouwd.

De toename van het wateroverlastrisico in het pilotgebied als gevolg van het dominante faalmechanisme 3 kan worden beheerst middels drie mogelijke maatregelen:

- 1 aanleg van de fictieve woonkern boven toetspeil (beheersen van $P(\text{schade}|\text{wateroverlast})$);
- 2 compartimentering van het pilotgebied (een nieuwe waterkering rondom de fictieve woonkern of een status geven aan een bestaande ophoging zoals een weg, waarmee $P(\text{schade}|\text{wateroverlast})$ wordt beheerst;
- 3 verkleinen faalkans van de waterkering (versterken waterkering, waardoor $P(\text{wateroverlast})$ afneemt).

Aanleg boven toetspeil

Indien de fictieve woonkern boven toetspeil wordt gerealiseerd is de locatiekeuze enkel relevant voor de grootte van de ophoging. Een hoog gelegen gebied hoeft minder opgehoogd te worden dan een laaggelegen gebied. In het zuiden van het pilotgebied ligt het maaiveld al boven toetspeil, waardoor hier geen ophoging nodig zou zijn. De aanleg van de woonkern boven toetspeil leidt er bovendien toe dat het wateroverlastrisico als gevolg van faalmechanisme 2 ook verwaarloosbaar wordt (hierbij is aangenomen dat de aanleg een verwaarloosbare impact heeft op de bergingscapaciteit binnen het pilotgebied). Aanleg boven toetspeil is dus een maatregel die goed past in de integrale aanpak wateroverlast.

Indien voor deze beheersmaatregel wordt gekozen dan is afbeelding 6.5 leidend voor de locatiekeuze, omdat deze de grote van de verhogingsopgave weergeeft (groen is hoger gelegen). Een locatie in het **zuiden van het pilotgebied** heeft de voorkeur.

N.B. Er wordt benadrukt dat het toetspeil geen fysieke bovengrens voor de buitenwaterstand is, maar een beleidsmatig gekozen peil met een terugkeertijd. Het is niet onmogelijk dat hogere waterstanden optreden of dat het toetspeil in de toekomst beleidsmatig wordt verhoogd. Bij de aanleg van een beschermd belang boven toetspeil dient daarom rekening te worden gehouden met mogelijke (toekomstige) ontwikkelingen m.b.t. het toetspeil.

Compartimentering

De aanleg van compartimentering is beschouwd in de voorgaande pilotstudie [ref. 13] en is voor het pilotgebied niet kosteneffectief gebleken. De meerkosten van het extra beheer en onderhoud door het grotere areaal leidt tot grote maatschappelijke kosten in vergelijking met het (eenmalig) extra ophogen van een bestaande waterkering of een woonwijk. Uit de MKBA (paragraaf 4.7) kan ook worden gezien dat de waterkering tegen minimale meerkosten een veel hogere betrouwbaarheid kan krijgen.

De compartimentering leidt bovendien mogelijk tot een toename van het wateroverlastrisico als gevolg van faalmechanisme 1 (en mogelijk faalmechanisme 2), omdat de waterkering in een lokale kom komt te liggen.

Deze beheersmaatregel is niet nader beschouwd voor het pilotgebied. Dit betekent nadrukkelijk niet dat compartimentering nooit kansrijk is. In een situatie waarin het versterken van een bestaande waterkering veel duurder is (bijvoorbeeld in dichtbevolkt stedelijk gebied) kan de aanleg van een compartimenterende waterkering kosteneffectief zijn. Daarnaast kan compartimentering kosteneffectief zijn wanneer reeds aanwezig functies gecombineerd kunnen worden, zoals het gebruiken van een op hoogte aangelegde weg of fietspad als compartimenterende waterkering.

Versterken waterkering

Het extra ophogen van de bestaande waterkering (verkleinen van de faalkans) is met betrekking tot faalmechanisme 3 potentieel kosteneffectief. De faalkans van de waterkering kan enorm worden verlaagd tegen beperkte maatschappelijke meerkosten (het optimale punt is zeer instabiel, zoals aangetoond in de MKBA in hoofdstuk 4).

Het versterken van de waterkering leidt tot een afname van het wateroverlastrisico in het gehele pilotgebied. De locatie van de fictieve woonkern binnen het pilotgebied wordt met betrekking tot faalmechanisme 3 minder onderscheidend. Het versterken van de waterkering leidt niet tot het beheersen van het wateroverlastrisico als gevolg van faalmechanisme 2.

Indien voor deze beheersmaatregel wordt gekozen is de locatiekeuze binnen het pilotgebied enkel nog afhankelijk van faalmechanisme 2. Afbeelding 6.4 wordt hiermee leidend voor de locatiekeuze. Een locatie in het **zuiden van het pilotgebied** heeft de voorkeur (groen ligt hoger t.o.v. de waterstand), maar in tegenstelling tot de beheersmaatregel 'aanleg boven toetspeil' zijn ook locaties in het **westen van het pilotgebied** mogelijk kansrijk (tussen De Rien en Aldegea, geel in afbeelding 6.4). Bij de inrichting van de woonwijk dient in dit geval rekening te worden gehouden met de invloed van faalmechanisme 2 en de mitigatie van het resulterende wateroverlastrisico.

6.3 Conclusies

In dit hoofdstuk zijn onderzoeksvragen 5 en 6 beschouwd:

"Welke maatregelen kunnen de kans van optreden van wateroverlast bij de locatie/het gebied beïnvloeden? Welke maatregelen zijn het meest kosteneffectief?" en "Welke maatregelen kunnen de gevolgen van wateroverlast bij de locatie/het gebied beïnvloeden? Welke maatregelen zijn het meest kosteneffectief?"

In het stedelijk watersysteem zijn verschillende maatregelen mogelijk die de kans op of gevolgen van wateroverlast beperken (of beide). Welke maatregelen mogelijk en doeltreffend zijn, verschilt. Belangrijke zaken om rekening mee te houden bij het zoeken naar maatregelen zijn:

- boven- en ondergrondse beschikbaarheid van ruimte. Bovengrondse maatregelen om water te bergen hebben veelal de voorkeur omdat zij (1) minder kostbaar zijn en (2) meegekoppeld kunnen worden met andere doelstellingen, zoals biodiversiteit en hittestress. Voorbeelden zijn wadi's. In binnensteden en dorpscentra is het echter niet altijd mogelijk om bovengrondse maatregelen in te passen, omdat deze gebieden dichtbebouwd zijn en meerdere functies combineren. Hier kan ondergronds bouwen een uitkomst zijn, bijvoorbeeld in de vorm van grotere diameters van de riolering of bergbezinkbassins;
- het primaire doel van de maatregel (vasthouden, bergen of afvoeren). Het vasthouden en bergen van water is vooral nuttig op relatief hooggelegen delen, zodat de riolering verder benedenstrooms niet overbelast raakt. Daarnaast helpt het vasthouden en bergen ook om te voorkomen dat wateroverlast afgewenteld wordt op de polder. Voorbeelden zijn het ontharden van terreinen en infiltratievoorzieningen. Meer benedenstrooms verzamelt het water zich, waardoor de focus vaak verschuift naar het effectief afvoeren van overtollig water. Dit betreft bijvoorbeeld het toevoegen van uitstroompunten en het vergroten van leidingdiameters.

Op basis van de analyses van de faalmechanismen achter het wateroverlastrisico kunnen keuzen worden gemaakt over de ruimtelijk inrichting van een gebied. Aan de hand van deze keuzen zijn verschillende maatregelen mogelijk ter beheersing van het wateroverlastrisico. Dit is aangetoond met een fictieve casus waarin de locatiekeuze van een nieuwe woonkern is beschouwd. Door het wateroverlastrisico te beschouwen kan invulling worden gegeven aan het concept 'water en bodem sturend'. Door bij de ruimtelijke inrichting van een gebied rekening te houden met de verschillende factoren die het wateroverlastrisico beïnvloeden kan het risico worden beheerst ($P(\text{wateroverlast})$, $P(\text{schade}|\text{wateroverlast})$ en $\text{Schade}|\text{wateroverlast}$).

7

GEDIFFERENTIEERD NORMEREN HOOGTE

In dit hoofdstuk is een verkenning uitgevoerd van het gedifferentieerd normeren van twee vormen van falen van de waterkering als gevolg van hoogtetekort in een integrale aanpak voor wateroverlast:

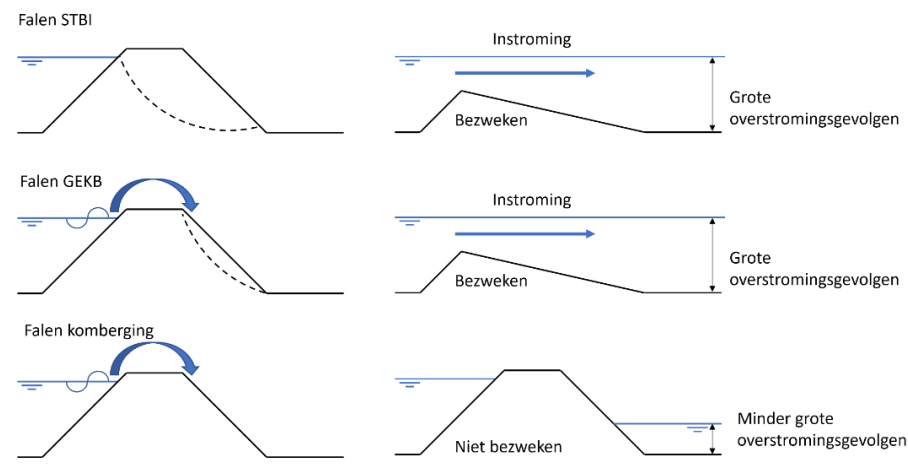
- falen met bezwijken (bres in de waterkering);
- falen zonder bezwijken (overschrijden komberging als gevolg van golfoverslag).

7.1 Falen met bezwijken en falen zonder bezwijken

De verschillen tussen falen met bezwijken en falen zonder bezwijken is beschreven in het memo 'verkenning gedifferentieerd normeren' [ref. 13]. In onderstaand kader zijn de conclusies uit dit memo samengevat.

Conclusies memo 'verkenning gedifferentieerd normeren' [ref. 13]

- falen met bezwijken (bres) is het bezwijken van het grondlichaam als gevolg van erosie van de kruin en/of het binnentalud, waarna bresvorming optreedt. De bresvorming leidt tot instroming en een overstroming. Door de bres in de waterkering zal instroming mogelijk blijven optreden, ook wanneer de buitenwaterstand daalt naar dagelijkse omstandigheden (na de storm);
- falen zonder bezwijken (tekort komberging) is het falen van de waterkering zonder bresvorming. De overslag/ overloop over de kruin leidt direct tot een overstroming. Omdat er geen bres in de waterkering ontstaat zal instroming afnemen wanneer de buitenwaterstand daalt naar dagelijkse omstandigheden (na de storm). Falen zonder bezwijken kan in potentie over een grote lengte van de waterkering tegelijk optreden (mogelijk groter dan de lengte van een bres), waardoor niet zonder meer kan worden gesteld dat de totale instroming lager is dan bij falen met bezwijken;
- de overstromingsgevolgen van falen met bezwijken en falen zonder bezwijken verschillen (zie onderstaande afbeelding). Verschillende overstromingsgevolgen leiden tot verschillende toelaatbare faalkansen. Falen van de waterkering kan mogelijk frequenter worden toegestaan, omdat de schade lager is;



7.2 Falen met bezwijken en falen zonder bezwijken in integrale aanpak

Een waterkering kan falen door hoogtetekort middels twee deelmechanismen:

- falen door erosie grasbekleding kruin en/of binnentalud (hierna: falen met bezwijken);
- falen door overschrijden kombergend vermogen (hierna: falen zonder bezwijken).

De hoeveelheid kombergend vermogen in het peilvak in de achterliggende polder is afhankelijk van faalmechanisme 2 (bergings- of afvoertekort in de polder). Wanneer de komberging bijna vol is als gevolg van faalmechanisme 2, dan kan overslag over de waterkering niet meer worden opgeslagen. Zoals onderbouwd in paragraaf 4.5 is er een hoge mate van afhankelijkheid tussen faalmechanisme 2 (bergings- of afvoertekort in de polder) en faalmechanisme 3 (falen waterkering, waar falen zonder bezwijken onder valt).

Er wordt benadrukt dat falen zonder bezwijken op dit moment **geen expliciete plaats heeft** in de veiligheidsfilosofie van groene waterkeringen. Voor groene waterkeringen wordt het overschrijden van de komberging door overslag niet beschouwd als faalmechanisme. Het kritieke overslagdebiet van een groene waterkering wordt bepaald door de sterkte van de bekleding op de kruin en het binnentalud (GEKB). Dit is in feite een hiaat in de huidige methodiek.

N.B. Voor kunstwerken wordt het overschrijden van de komberging (falen zonder bezwijken) wel beschouwd als deelmechanisme onder hoogte kunstwerk (HTKW).

7.3 Kans op falen zonder bezwijken (overslag)

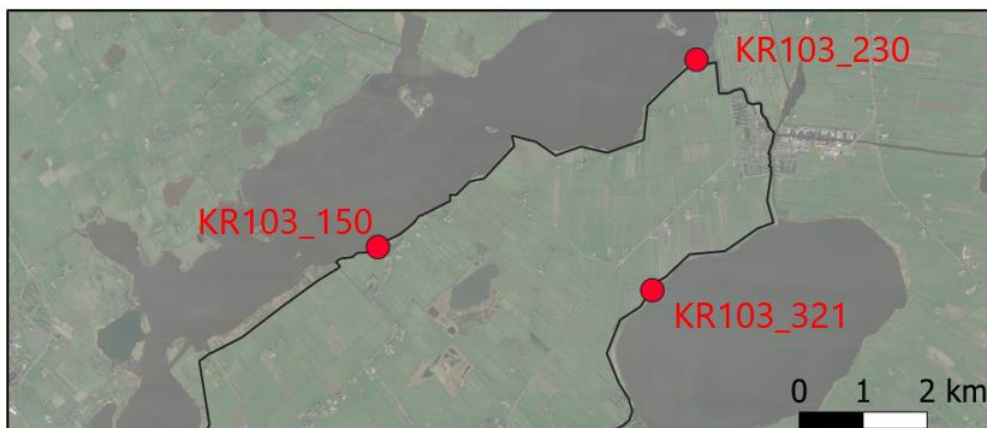
Er zijn drie locaties beschouwd waarvoor de kans van optreden van falen zonder bezwijken is berekend met PROMOTOR (database en profielen aangeleverd door Wetterskip Fryslân), waarbij is uitgegaan van een (aangenomen) aanwezige kruinhoogte van NAP + 0,7 m. De berekende terugkeertijden zijn weergegeven in tabel 7.1 en de beschouwde locaties zijn weergegeven in afbeelding 7.1.

Tabel 7.1 Terugkeertijd van falen zonder bezwijken (berekend met PROMOTOR) in jaren

Locatie	Profiel	Klein (1 l/s/m)	Middel (5 l/s/m)	Groot (10 l/s/m)	Overstroom
KR103_150	1:4,9 talud, 20 m voorland	> 1.000.000 *	> 1.000.000 *	> 1.000.000 *	> 1.000.000 *
KR103_230	1:5,2 talud	615	40.000	450.000	> 1.000.000 *
KR103_321	1:5,5 talud	800.000	> 1.000.000 *	> 1.000.000 *	> 1.000.000 *

* Buiten het bereik waar PROMOTOR nauwkeurige sommen kan maken.

Afbeelding 7.1 Beschouwde locaties



De terugkeertijd van een overslagdebiet van 1 l/s/m (ca. 600 jaar) is groter dan terugkeertijd van falen met bezwijken (ca. 100 jaar). Daarnaast treedt dit overslagdebiet langs slechts een klein deel van de waterkering op. Hier kan uit geconcludeerd worden dat het resulterende wateroverlastrisico verwaarloosbaar is t.o.v. falen met bezwijken (want falen met bezwijken heeft een hogere frequentie en leidt tot meer schade).

Daarnaast is deze terugkeertijd significant groter dan de maatgevend terugkeertijd voor faalmechanisme 2 (1 jaar, zie paragraaf 4.3). Met het oog op het jaarlijks wateroverlastrisico is de invloed van extra schade door faalmechanisme 2 als gevolg van overslag verwaarloosbaar.

Er kan zodoende worden geconcludeerd dat de afhankelijkheid tussen overslag en faalmechanisme 2 in het pilotgebied beperkt is. In paragraaf 7.4 is wel het effect van 1 l/s/m overslag op de komberging beschouwd.

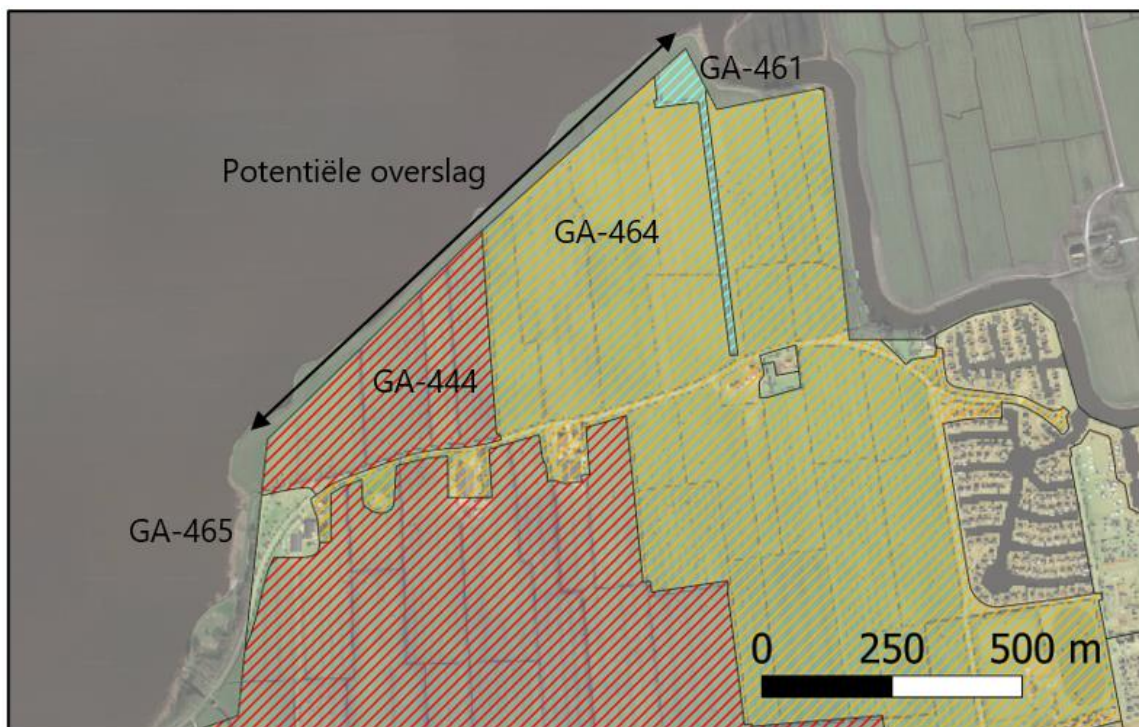
7.4 Gevolg falen zonder bezwijken (overslag)

In afbeelding 7.2 zijn de peilgebieden ter plaatse van de locatie KR103_230 weergegeven:

- peilgebied GA-444 (rood gearceerd);
- peilgebied GA-464 (geel gearceerd);
- peilgebied GA-461 (blauw gearceerd).

Peilgebied GA-465 is niet beschouwd vanwege de ligging achter een voorland en in de luwte (te zien in afbeelding 7.1). De overslag ter plaatse van dit peilvak is daarom minder relevant geacht.

Afbeelding 7.2 Peilgebieden rondom locatie KR103_230



In tabel 7.2 zijn de verschillende peilgebieden in dit gebied weergegeven. Per peilgebied is het totale overslagvolume berekend dat gedurende een 6 uur durende storm optreedt (uitgaande van een overslagvolume van 1 l/s/m).

Voor de grote peilgebieden GA-444 en GA-464 is het effect van 1 l/s/m verwaarloosbaar, maar voor kleinere peilgebieden zoals GA-461 kan het effect van 1 l/s/m significant zijn. Het kleine oppervlakte van het peilgebied kan er toe leiden dat een relatief klein volume overslag tot een relatief snelle peilstijging leidt. Binnen peilgebied GA-461 kan echter nauwelijks (lees: geen) schade optreden (het peilgebied bestaat uit één sloot).

Indien het overslagvolume vanuit de verschillende peilvakken kan worden verdeeld over de verschillende vakken dan is het effect van overslag in alle peilvakken verwaarloosbaar. Er dient wel altijd rekening te worden gehouden met lokale laagtes in een gebied die eerder vullen dan hoger gelegen delen. Het effect hiervan is, gegeven het zeer beperkte overslagdebiet, echter beperkt.

Tabel 7.2 Overslag per peilvak in de buurt van locatie KR103_230

Peilgebied	Lengte waterkering [m]	Totaal overslagvolume [m3]	Oppervlakte gebied [m2]	Potentiële peilstijging
GA-444	580	12.528	5.900.000	Verwaarloosbaar
GA-464	425	9.180	900.000	Verwaarloosbaar
GA-461	75	1.620	18.000	Niet altijd verwaarloosbaar
Gecombineerd	1.080	23.328	6.818.000	Verwaarloosbaar

7.5 Conclusies

In dit hoofdstuk is het verschil tussen falen van de waterkering met bezwijken en falen van de waterkering zonder bezwijken beschouwd. Hieruit zijn de volgende conclusies te trekken:

- falen van de waterkering zonder bezwijken kan optreden wanneer de optreden overslag leidt tot overstromingsgevolgen zonder het bezwijken van het dijklichaam. Deze overstromingsgevolgen treden op wanneer het kombergend vermogen wordt overschreden;
- de hoeveelheid beschikbaar kombergend vermogen in het achterliggende peilvak is afhankelijk van faalmechanisme 2: bergings- of afvoertekort in de polder. De overslag over de waterkering draagt bij aan het opvullen van de komberging als gevolg van faalmechanisme 2;
- de invloed van falen zonder bezwijken (overslag) op faalmechanisme 2 kan significant zijn wanneer overslag een hoge frequentie heeft en wanneer het overslagdebiet groot is t.o.v. het kombergend vermogen. Daarnaast kan het relevant zijn wanneer het wateroverlastrisico als gevolg van faalmechanisme 2 groot is.

Met betrekking tot het pilotgebied kan worden geconcludeerd dat de frequentie van overslag en de hoeveelheid overslagvolume dusdanig beperkt zijn dat de relevantie van falen zonder bezwijken beperkt is. Hierdoor is de afhankelijkheid tussen falen zonder bezwijken en faalmechanisme 2 ook beperkt. Overslag in het pilotgebied heeft een verwaarloosbare invloed op het waterpeil in de polder, zolang het overslagdebiet kan worden verdeeld over verschillende peilgebieden. Kleine peilgebieden langs de waterkering zijn echter potentieel kwetsbaar indien het overslagdebiet niet kan worden verdeeld. Door het kleine kombergend vermogen leidt een beperkte hoeveelheid overslag in deze gebieden mogelijk tot een relatief snelle peilstijging.



CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

In dit hoofdstuk zijn de deelvragen uit de onderzoeksopzet beantwoord. Daarnaast zijn aanbevelingen opgenomen.

8.1 Conclusies

In deze paragraaf zijn per deelvraag de conclusies samengevat.

Deelvraag 1 - Hoe druk je binnen een integrale risicobenadering het (basis)beschermingsniveau op een locatie in het gebied uit en hoe bepaal je het?

Het beschermingsniveau beschrijft een acceptabel risico op wateroverlast, uitgedrukt in euro's. Dit integrale wateroverlastrisico is een functie van de volgende drie onderdelen:

- de faalkans van het systeem (bepaalt de kans op wateroverlast);
- de inrichting van het gebied (bepaalt de kans op schade gegeven wateroverlast);
- de waarde van het beschermd belang (bepaalt de schade gegeven wateroverlast).

Er zijn drie faalmechanismen afgeleid die binnen het watersysteem of binnen het waterkeringensysteem kunnen leiden tot wateroverlast:

- 1 neerslag kan lokaal onvoldoende worden afgevoerd naar de waterhuishouding van de polder door een tekort aan bergingscapaciteit, afvoer- en/of infiltratiecapaciteit van het maaiveld en/of de riolering;
- 2 neerslag kan onvoldoende worden geborgen in- of afgevoerd uit de polder;
- 3 de waterkering faalt waardoor boezemwater instroomt.

De verschillende faalmechanismen hebben verschillende kansen om tot wateroverlast te leiden (zoals de faalkans van een waterkering of de kans op een regenbui die leidt tot water op maaiveld). Daarnaast resulteert het falen van de verschillende faalmechanismen tot verschillende waterstanden en duur van wateroverlast in het pilotgebied, waardoor de kans op schade gegeven wateroverlast en de schade gegeven wateroverlast verschilt. Door het wateroverlastrisico uit te drukken in deze drie onderdelen kan per faalmechanisme het wateroverlastrisico berekend, vergeleken en/of gesommeerd worden.

Het optreden van deze faalmechanismen is (deels) gecorreleerd, doordat voor alle faalmechanismen neerslag (een van) de drijvende factor(en) is. Daarnaast zijn er echter ook onafhankelijkheden:

- faalmechanisme 1 (lokaal afvoer- en bergingstekort) is gedreven door korte hevige neerslag;
- faalmechanisme 2 (bergings- of afvoertekort in de polder) is gedreven door langdurige neerslag;
- faalmechanisme 3 (falen waterkering) is gedreven door langdurige neerslag (verhoging gemiddeld boezempeil), maar kan ook optreden zonder neerslag (bijv. door scheefstand als gevolg van wind).

Daarnaast is er (deels) correlatie tussen de faalkansen. Door de afhankelijkheden tussen de verschillende faalmechanismen is het totale wateroverlastrisico lager dan de som van de verschillende risico's. De verschillende mate van afhankelijkheid leidt tot een boven- en ondergrens van het gecombineerde wateroverlastrisico. In de praktijk zullen de faalmechanismen en -kansen ten dele gecorreleerd zijn. De mate van correlatie kan ook verschillen per deelgebied binnen het pilotgebied.

Het wateroverlastrisico kan worden getoetst aan het gekozen acceptabel risico. Dit gekozen (acceptabele) risico wordt het basisbeschermingsniveau genoemd.

Deelvragen 2 en 3 - Hoe maak je de vertaling van het (locatie specifieke) beschermingsniveau naar de kans op het falen van een deelsysteem binnen het watersysteem? En hoe maak je vervolgens de vertaling naar de kans van het optreden van een relevante weersomstandigheid? Welke aandachtspunten komen naar voren in het proces, bij de uitvoering van de methodiek?

Uit de schadeberekeningen voor het pilotgebied blijkt dat faalmechanisme 3 (falen waterkering) sterk dominant is. Door deze dominantie liggen de boven- en ondergrens van het gecombineerde wateroverlastrisico dicht bij elkaar en is de meerwaarde van het gerichter inschatten van het gecombineerde risico op basis van de afhankelijkheden beperkt (ondergrens EUR 400.000,00, bovengrens EUR 505.000,00 per jaar).

Er wordt benadrukt dat deze dominantie van één faalmechanisme anders kan liggen voor andere gebieden of op een ander schaalniveau in het beschouwde gebied. In het pilotgebied is faalmechanisme 3 dominant als het gehele pilotgebied wordt beschouwd, omdat het falen van de waterkering leidt tot wateroverlast in een groot deel van de polder. Faalmechanismen 1 en 2 leiden tot wateroverlast op een kleiner schaalniveau. Deze lokale wateroverlast vindt over het algemeen echter altijd plaats in dezelfde gebieden, waardoor faalmechanismen 1 en/of 2 dominant zijn als de wateroverlast op dit (meer lokale) schaalniveau wordt beschouwd.

Het optimale basisbeschermingsniveau is afgeleid op basis van een MKBA. In de MKBA zijn de kosten en het risico als gevolg van faalmechanismen 1 en 3 afgewogen (faalmechanisme 2 is niet maatgevend). Het optimale basisbeschermingsniveau voor het pilotgebied is een jaarlijks wateroverlastrisico van EUR 110.000,00 per jaar verdeeld over faalmechanisme 1 en 3:

- het geaccepteerd wateroverlastrisico voor faalmechanisme 1 van 40 % (EUR 44.000,00 per jaar) en een bijbehorende ontwerpnorm met terugkeertijd van 2 jaar;
- het geaccepteerd wateroverlastrisico voor faalmechanisme 3 van 60 % (EUR 66.000,00 per jaar) en een bijbehorende ontwerpnorm met terugkeertijd van 600 jaar.

Hierbij wordt opgemerkt dat de optimale ontwerpnorm voor faalmechanisme 1 (riolering en maaiveldinrichting) stabiel is. Een andere ontwerpnorm leidt tot een groot verschil in totale maatschappelijke kosten. De optimale norm voor faalmechanisme 3 (waterkering) is niet stabiel. Dit betekent dat een kleine afwijking van het optimum kan leiden tot een enorm afwijking voor de optimale ontwerpnorm.

Deelvraag 4 - Welke opgave doet zich voor wanneer de huidige situatie in het gebied wordt vergeleken met het gewenste (basis)beschermingsniveau zoals gedefinieerd voor onderzoeksvraag 1 en 2?

Het berekende optimale basisbeschermingsniveau van EUR 110.000 per jaar in het pilotgebied leidt tot een strengere normering voor de waterkering ($T = 600$ jaar t.o.v. $T = 100$ jaar).

Deze strengere normering leidt tot de een opgave voor de versterking van de waterkering waarbij de meest impactvolle ingrepen (kosten en ruimtebeslag zijn):

- een kruinverhoging;
- een taludverflauwing.

*Er wordt benadrukt dat het berekende optimale basisbeschermingsniveau grof en mogelijk conservatief is berekend t.b.v. de pilotstudie. Uit bovenstaande conclusies dient dan ook **niet** geconcludeerd te worden dat de huidige normeringen niet passend zijn of dat een versterking van de waterkering noodzakelijk is.*

Pragmatisch gezien wijken de totale maatschappelijke kosten in het pilotgebied bij een semi-optimaal basisbeschermingsniveau van EUR 290.000,00 per jaar nauwelijks af van het optimale

basisbeschermingsniveau (binnen 10 %). Dit leidt tot een minder strenge normering voor de waterkering (T = 170 jaar).

Deelvragen 5 en 6 - Welke maatregelen kunnen de kans van optreden/de gevolgen van wateroverlast bij de locatie/het gebied beïnvloeden? Welke maatregelen zijn het meest kosteneffectief?

De haalbaarheid en effectiviteit van maatregelen in stedelijk gebied wordt vooral bepaald door omgevingsfactoren, zoals ruimtebeschikbaarheid, doorlatendheid van de bodem, grondwaterstanden en de nabijheid van oppervlaktewater. In het algemeen wordt gesteld dat bovengrondse bergingsvoorzieningen de voorkeur hebben, omdat zij het water vasthouden en relatief goedkoop in aanleg zijn. In binnensteden en centra is hiervoor echter vaak geen ruimte. In die gevallen kunnen ondergrondse en harde maatregelen uitkomst bieden. Het kan gaan om berging (ondergrondse bergingsbakken) of afvoerverbetering (grotere leidingdiameter, gemaalcapaciteit).

Op basis van de analyses van de faalmechanismen achter het wateroverlastrisico kunnen keuzen worden gemaakt over de ruimtelijk inrichting van een gebied. Aan de hand van deze keuzen zijn verschillende maatregelen mogelijk ter beheersing van het wateroverlastrisico. Dit is aangetoond met een fictieve casus waarin de locatiekeuze van een nieuwe woonkern is beschouwd. Door het wateroverlastrisico te beschouwen kan invulling worden gegeven aan het concept 'water en bodem sturend'. Door bij de ruimtelijke inrichting van een gebied rekening te houden met de verschillende factoren die het wateroverlastrisico beïnvloeden kan het risico worden beheerst (de kans op wateroverlast, de kans op schade gegeven wateroverlast en de schade gegeven wateroverlast).

Deelvraag 7 - Wat is de eis ten aanzien van de hoogte, op basis van een integrale norm ten aanzien van de kans op wateroverlast

Falen van de waterkering zonder bezwijken kan optreden wanneer de optreden overslag leidt tot overstromingsgevolgen zonder het bezwijken van het dijklichaam. Deze overstromingsgevolgen treden op wanneer het kombergend vermogen in het achterliggende peilvak wordt overschreden.

De hoeveelheid beschikbaar kombergend vermogen is afhankelijk van faalmechanisme 2: bergings- of afvoertekort in de polder. De overslag over de waterkering draagt bij aan het opvullen van de komberging als gevolg van faalmechanisme 2.

De invloed van falen zonder bezwijken (overslag) op faalmechanisme 2 kan significant zijn wanneer overslag een hoge frequentie heeft en wanneer het overslagdebiet groot is t.o.v. het kombergend vermogen van het peilgebied. Daarnaast kan het relevant zijn wanneer het wateroverlastrisico als gevolg van faalmechanisme 2 groot is.

Met betrekking tot het pilotgebied kan worden geconcludeerd dat de frequentie van overslag en de hoeveelheid dusdanig beperkt zijn dat de relevantie van falen zonder bezwijken beperkt is. Hierdoor is de afhankelijkheid tussen falen zonder bezwijken en faalmechanisme 2 ook beperkt. Overslag in het pilotgebied heeft een verwaarloosbare invloed op het waterpeil in de polder, zolang het overslagdebiet kan worden verdeeld over verschillende peilgebieden. Kleine peilgebieden langs de waterkering zijn echter potentieel kwetsbaar indien het overslagdebiet niet kan worden verdeeld. Door het kleine kombergend vermogen leidt een beperkte hoeveelheid overslag in deze gebieden mogelijk tot een relatief snelle peilstijging.

8.2 Aanbevelingen

In deze paragraaf zijn vijf aanbevelingen opgenomen.

Aanbeveling 1: schademodel

Een belangrijke parameter voor het wateroverlastrisico is het schademodel (Waterschadeschatter). Zoals bekend is met name voor stedelijke wateroverlast de nauwkeurigheid beperkt (zie bijvoorbeeld ook de reflectie op de berekende schade voor Woudsend, paragraaf 4.2.2). Er wordt aanbevolen om dit model nader uit te werken om het (integrale) wateroverlastrisico nauwkeuriger te kunnen bepalen.

Aanbeveling 2: neerslagstatistiek

Naast het schademodel is de neerslagstatistiek een tweede bepalende parameter om de impact van en correlatie tussen de verschillende vormen van wateroverlast te bepalen. Toekomstige klimaatverandering heeft impact op de neerslagstatistiek (frequentie en intensiteit van extreme buien). Om een accurate risico-inschatting te maken wordt aanbevolen deze statistiek aan te scherpen.

Aanbeveling 3: effecten buiten beschouwd gebied

In dit rapport is enkel gekeken naar het wateroverlastrisico binnen het pilotgebied. Het wateroverlastrisico kan echter ook vanaf een hoger schaalniveau invloed hebben in het pilotgebied.

De volgende aspecten spelen een rol op een hoger schaalniveau en kunnen invloed hebben op het wateroverlastrisico binnen het pilotgebied (niet-uitputtend):

- de invloed van primaire waterkeringen;
- de invloed van een maalstop;
- de faalkans van andere waterkeringen binnen het regionale boezemsysteem is niet beschouwd.

Aanbeveling 4: schaalniveaus wateroverlastrisico

De risicoverdeling tussen de verschillende faalmechanismes of verschillende vormen van wateroverlast is afhankelijk van het schaalniveau waarop gekeken wordt (zie bijvoorbeeld paragraaf 4.6). Welk schaalniveau passend is hangt af van het doel van de analyse. Voor de afweging van de optimale investering op polderniveau (versterken waterkering of regionaal watersysteem) is een analyse op polderniveau nodig. Om te bepalen welk risico een individueel beschermd belang loopt is een ander detailniveau mogelijk wenselijk.

Aanbeveling 5: afwegingscriteria

In de voorliggende pilotstudie is het basisbeschermingsniveau en de meest doelmatige investering bepaald op basis van een MKBA. Een MKBA is een krachtig instrument om een herleidbare afweging te maken, maar kent beperkingen. Zo zijn niet alle "kosten" eenduidig in een monetaire eenheid (euro's) uit te drukken, zoals een onveilig of onprettig gevoel of verlies van vertrouwen. Er wordt aanbevolen om bij het opstellen van een basisbeschermingsniveau goed na te denken over te hanteren criteria die herleidbaar en reproduceerbaar zijn en recht doen aan relevante kosten.

9

REFERENTIES

- 1 Beleidstafel wateroverlast (2022). Eerste advies beleidstafel wateroverlast. <https://open.overheid.nl/repository/ronl-a335b7f144cbbbf579c8778eb81b97a150764cd2/1/pdf/bijlage-eerste-advies-beleidstafel-wateroverlast-en-hoogwater.pdf>
- 2 STOWA (2022). Opdrachtformulering: Integrale risicoanalyse wateroverlast.
- 3 Nationaal Landschap Zuidwest Fryslân (2021). Het verhaal van nationaal landschap Zuidwest Fryslân, Oudermirdum, 2021, URL: <https://nationaallandschap.frl/nationaal-landschap-zuidwest-fryslan/>.
- 4 Wageningen University and Research, 2021. BOFEK 2020 - Bodemfysische schematisatie van Nederland. <https://www.wur.nl/nl/show/bodemfysische-eeenhedenkaart-bofek2020.htm>
- 5 Wetterskip Fryslân (2021). Ontwerp revisiepeilbesluit Friese Boezem (toelichting), Leeuwarden.
- 6 Stichting RIONED (2022). Kennisbank Stedelijk Water. <https://www.riool.net/kennisbank>
- 7 Gemeente Súdwest-Fryslân (2022). Toekomstbestendig Woudsend: plan van aanpak.
- 8 Deltares (2019). Fenomenologische beschrijving faalmechanismen. <https://www.helpdeskwater.nl/onderwerpen/waterveiligheid/primaire/beoordelen/@205760/fenomenologische/>
- 9 STOWA (2019). Neerslagstatistiek en -reeksen voor het waterbeheer 2019. <https://www.stowa.nl/publicaties/neerslagstatistiek-en-reeksen-voor-het-waterbeheer-2019>
- 10 De Valk, C. (2020). Spatiotemporal statistics of extreme sub-daily precipitation derived from weather radar data. Preprint submitted to *Advances in Water Resources*.
- 11 STOWA (2020). De Veiligheidsbenadering Regionale Keringen. <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%202020/STOWA%202020-07%20Veiligheidsbenadering%20regionale%20keringen2.pdf>
- 12 Rijkswaterstaat (Steunpunt Economische Expertise), 2021. Factsheets Q&A discontovoet 2021. <https://www.rwseconomie.nl/documenten/rapporten/2021/december/07/factsheets-discontovoet>
- 13 28187/22-005.153 Onderzoek normering regionale kering, Witteveen+Bos, 2022.
- 14 Provincie Friesland (2016). Waterverordening provincie Fryslân. <https://lokaleregelgeving.overheid.nl/CVDR423339/1>

Bijlage(n)

BIJLAGE: ACHTERGROND VIGERENDE NORMEN WATEROVERLAST

In deze bijlage is de achtergrond van de huidige vigerende normen m.b.t. wateroverlast beschouwd.

I.1 Beleid gemeentelijk niveau

Definities gemeente Súdwest-Fryslân

De gemeente Súdwest-Fryslân spreekt van regen- of afvalwateroverlast in de volgende gevallen:

- Puur afvalwater (dat wil zeggen niet als gevolg van neerslag en niet verdund met hemelwater) stroomt de straat op en/of treedt huizen of gebouwen binnen;
- Afvalwater afkomstig uit een gemengd rioolstelsel staat langer dan 4 uur op straat én stinkt en/of er toilet papier en andere visueel waar te nemen verontreinigingen in aanwezig zijn (risico volksgezondheid)
- Water treedt via de straat huizen of gebouwen binnen;
- Afvalwater loopt over uit toiletten op de begane grond;
- Verkeersaders en doorgaande wegen en tunnels worden langer dan 4 uur geblokkeerd door water;
- Water levert langer dan 4 uur hinder op voor het verkeer (gemotoriseerd, fietsers en voetgangers);
- Afvalwater staat langer dan 4 uur in een tuin én het water is afkomstig uit het rioleringsysteem.

Naast overlast kan er sprake zijn van waterhinder. Voorbeelden zijn water op straat tussen de trottoirbanden en tijdelijk ondergelopen paden of tuinen. Hinder kan onttaarden in overlast wanneer de hinder meerdere uren aanhoudt en/of stankoverlast en verontreiniging veroorzaakt.

Definities gemeente De Fryske Marren

De gemeente De Fryske Marren heeft in het vGRP geen definities van wateroverlast opgenomen. Er wordt wel verwezen naar de landelijke richtlijnen en wetten, zoals de Waterwet. In de Waterwet worden de drie gemeentelijke zorgplichten (afvalwater, hemelwater en grondwater) uitgewerkt.

Normen en ambities

Het streven is om wateroverlast te voorkomen, maar dit wordt niet gegarandeerd in extreme gevallen. De gehanteerde norm is dat er bij bui 08 (circa 20 mm in één uur; herhalingstijd huidig klimaat twee jaar) slechts in beperkte mate water op straat voor mag komen en dat er bij deze bui géén sprake is van wateroverlast. Bij zwaardere buien is overlast niet uit te sluiten en kan overlast dus wél voorkomen.

De gemeente anticipeert op klimaatverandering door maatregelen robuuster en groter te dimensioneren dan strikt noodzakelijk. Een voorbeeld is het toepassen van een minimale diameter van 250 mm bij de aanleg van regenwaterriolen.

Hemelwaterbeleid

Op hoofdlijnen is het inzamelen van hemelwater in de gemeente als volgt ingeregeld:

- in het buitengebied – waar alleen drukriolering is – zamelt de gemeente geen hemelwater in. Particulieren verwerken zelf het hemelwater op eigen terrein of voeren het af naar oppervlaktewater;
- in bestaand stedelijk gebied zamelt de gemeente overtollig hemelwater in. Waar doelmatig zet de gemeente in op het afkoppelen van verhard oppervlak. Bij de uitvoering van gemeentelijke afkoppelprojecten biedt de gemeente particulieren de mogelijkheid om mee te werken aan het afkoppelen van particulier terrein;

- bij nieuwbouw worden afvalwater en hemelwater direct van elkaar gescheiden ingezameld. De precieze manier waarop wordt omgegaan met hemelwater verschilt. Het uitgangspunt is waterneutraal bouwen met een voorkeur voor infiltratie. Particulieren zijn verantwoordelijk voor het mogelijk maken van (bovengrondse) afvoer van overtollig hemelwater richting de straat.

Praktijk

Het hydraulisch functioneren van de rioolstelsels is in meer detail beschreven in de verschillende Basisrioleringsplannen (BRP's). Op hoofdlijnen wordt in bijna alle kernen voldaan aan de eis dat bui08 niet leidt tot water op straat. In een aantal kernen heeft zich de afgelopen jaren wel wateroverlast voorgedaan, waaronder in Woudsend. De gemeente onderzoekt maatregelen om de wateroverlast te verkleinen.

1.2 Provinciaal niveau

Op grond van de Waterwet (art. 2.8) zijn provincies verplicht om normen voor wateroverlast te verankeren in de provinciale waterverordening. Voor verschillende vormen van landgebruik worden verschillende normen gehanteerd. De normen staan ook bekend als de NBW-normen (Nationaal Bestuursakkoord Water).

De normen zijn uitgedrukt als de kans dat het oppervlaktewaterpeil het niveau van het maaiveld overschrijdt. Daartoe is per categorie van grondgebruik een inundatiefrequentie en een maaiveldcriterium vastgesteld. De inundatiefrequentie geeft aan met welke frequentie inundatie vanuit het oppervlaktewater wordt geaccepteerd. Het maaiveldcriterium geeft aan welk deel van het gebied níet hoeft te voldoen aan de normering. In de praktijk komt dit neer op de lager gelegen delen van het maaiveld, bijvoorbeeld rondom de watergangen.

Voor de Provincie Friesland zijn de normen vastgesteld in bijlage 1 van de provinciale Waterverordening en weergegeven in Tabel I.1.

Tabel I.1 Normen voor wateroverlast zoals beschreven in de provinciale Waterverordening Friesland [ref. 14]

Grondgebruik	Inundatiefrequentie [jaar ⁻¹]	Maaiveldcriterium [% maaiveld]
Grasland	10	5
Mais	25	5
Overige landbouw (inclusief hoogwaardige akkerbouw)	50	1
Bebouwd gebied	100	0

De normen houden bijvoorbeeld in dat grasland niet vaker dan eens per 10 jaar mag inunderen. 5 % van het (laaggelegen) grasland is uitgezonderd volgens het maaiveldcriterium: dit mag vaker inunderen.

In Friesland heeft een eerste toetsing van het areaal aan de normen (NBW-toetsing) plaatsgevonden in 2003. Deze toetsing is uitgevoerd met een oppervlaktewatermodel in SOBEK. Het uitgangspunt daarbij is de middenvariant van het KNMI klimaatscenario voor 2050 (klimaatscenario G uit 2006). Op dit moment wordt de toetsing herzien met actuelere klimaatscenario's. Er is in voorliggende pilotstudie gebruik gemaakt van de conceptresultaten van deze actuelere toetsing, maar de resultaten van deze toetsing zijn nog niet definitief.

Relatie met het waterschap

De normering geeft invulling aan de zorgplicht van het waterschap om wateroverlast vanuit oppervlaktewater als gevolg van neerslag te voorkomen. De normen gelden juridisch gezien als inspanningsverplichting en niet als harde resultaatsverplichting. Er kunnen dus niet direct rechten aan de normering worden ontleend.



BIJLAGE: MODELKEUZEN

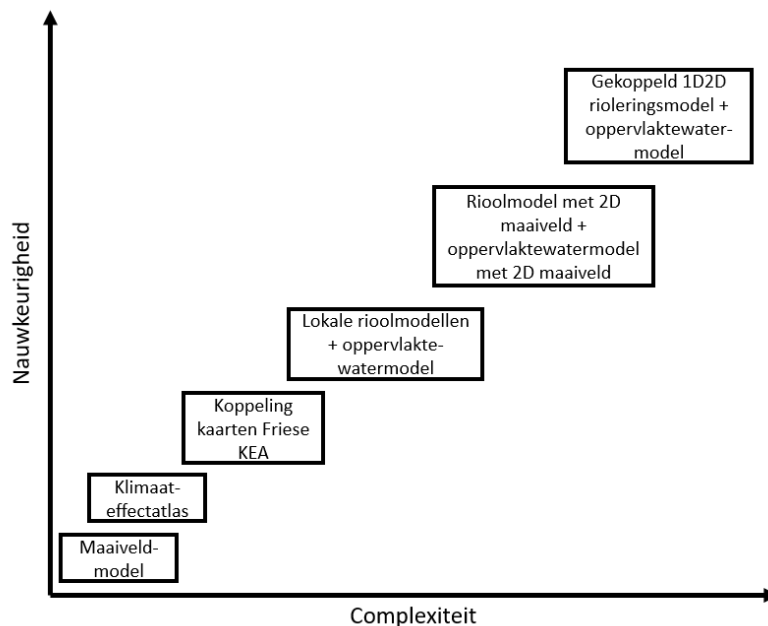
Het stedelijk watersysteem kent een belangrijke interactie met het regionale watersysteem (polderwater of boezemwater). Beide systemen staan met elkaar in verbinding en de riolering loost (al dan niet via een RWZI) overtollig hemelwater uit het stedelijk gebied op het omliggende regionale watersysteem. In paragraaf 3.2 is beschreven hoe dit tot wateroverlast (en schade) kan leiden en wat de relevante faalmechanismen zijn. Schade als gevolg van faalmechanisme 1 treedt vooral op in het stedelijk gebied (de waterdiepte en duur leidt over het algemeen tot beperkte schade in het omliggende gebied, zoals ook te zien is in de verkennende schadeberekeningen in paragraaf 3.1.2).

Voor het berekenen van de schade in het stedelijk gebied zijn de maximale waterdiepte en de duur relevante parameters, in vlakke gebieden spelen stroomsnelheden over het algemeen een beperkte rol.

Er zijn verschillende werkwijzen om de maximale waterdiepte door wateroverlast in de stad te modelleren. De modellen kunnen eenvoudig en snel zijn, waarbij vaak wordt ingeleverd op de nauwkeurigheid. Dit gebeurt bijvoorbeeld wanneer de interactie tussen stedelijk water en oppervlaktewater sterk wordt vereenvoudigd. Wanneer de interactie tussen de twee systemen meer nauwkeurig wordt gemodelleerd, neemt de complexiteit snel toe. Dit is weergegeven voor verschillende vormen van modellering in Afbeelding II.1.

Deze zes vormen van modellering zijn daarnaast toegelicht in Tabel II.1. In deze pilot is gebruik gemaakt van de uitkomsten van de landelijke KEA en het maaiveldmodel.

Afbeelding II.1 Relatie tussen complexiteit en nauwkeurigheid voor verschillende modelbenaderingen



Tabel II.1 Toelichting en voor- en nadelen bij de verschillende modelbenaderingen

Modelvorm	Eigenschappen	Voordelen	Nadelen
Maaiveldmodel	Het totale buivolume van maatgevende buien wordt geprojecteerd op een maaiveldkaart. Water verzamelt zich op de lage locaties. Werking van de riolering en interactie tussen riolering en watersysteem wordt verwaarloosd	Eenvoudig en snel Landelijk beschikbaar	Leidt tot een overschatting van wateroverlast in stedelijk gebied (riolering niet inbegrepen) Lage nauwkeurigheid leidt mogelijk tot verkeerde berekening van wateroverlastrisico
Waterdieptes uit de landelijke Klimaat-effectatlas (KEA)	De KEA bevat wateroverlastkaarten op basis van het AHN met enkele aannames voor de riolering en interactie met het watersysteem	Eenvoudig en snel Landelijk beschikbaar	Alleen T100 en T1.000-buien beschikbaar Gebaseerd op AHN2 (gedateerd) Interactie stedelijk en landelijk watersysteem sterk vereenvoudigd
Waterdieptes uit de Friese KEA	De Friese KEA bevat aparte wateroverlastkaarten voor stedelijk en landelijk gebied.	Doet enig recht aan de verschillen tussen stedelijk en landelijke watersystemen	Beperkte buien doorgerekend (alleen 60/100 mm) Alleen beschikbaar voor Friesland
Simulaties met lokale rioolmodellen en interactie met een oppervlaktewatermodel	De lokale riolering wordt in 1D gemodelleerd. Uitkomsten (lozingen op oppervlaktewater) worden opgelegd aan een apart oppervlaktewatermodel om afwenteling van wateroverlast in landelijk gebied te berekenen	Alle data zijn in principe aanwezig (elke gemeente voert hydraulische toets riolering uit) Interactie tussen stedelijk en landelijk gebied wordt beperkt gesimuleerd	Vereist veel gedetailleerde data De werkwijze en gebruikte modellen verschillen per gemeente. Daardoor veel praktische hobbels
Rioolmodel met 2D-maaiveld met oppervlaktewatermodel met 2D-maaiveld	De lokale riolering wordt gemodelleerd inclusief 2D maaiveldafstroming wanneer water niet meer in de riolering is geborgen. De uitkomsten worden opgelegd aan een oppervlaktewatermodel dat ook 2D-maaiveldstroming simuleert	De afstroming over het maaiveld wordt expliciet meegenomen voor beide systemen; Interactie tussen stedelijk en landelijk gebied wordt goed gesimuleerd	Vereist veel en gedetailleerde data over riolering en stedelijk watersysteem, en over het regionale watersysteem
Gekoppeld 1D2D rioleringsmodel + oppervlaktewatermodel	Per kern wordt het hydraulisch functioneren van het riool bepaald met maatgevende buien. Daarin wordt de maaiveldstroming in 2D gesimuleerd. De uitkomsten worden opgelegd aan een oppervlaktewatermodel om de interactie te simuleren	Benadert de werkelijke interactie tussen watersystemen het beste Leidt tot gedetailleerde waterdieptekaarten voor maatgevende buien, in zowel stedelijk als landelijk gebied	Complex en tijdrovend om uit te voeren op grote schaal Vereist veel en gedetailleerde data over riolering en stedelijk watersysteem



BIJLAGE: VISUALISATIE EN COMMUNICATIE VAN HET BASISBESCHERMINGSNIVEAU

Begrippen als overstromingsrisico en beschermingsniveau zijn voor veel mensen abstract en weinig tastbaar. Enerzijds zijn er meerdere bronnen voor wateroverlast aan te wijzen (boezem, watergangen, riolering, regenwater) met elk een vorm van interactie. Anderzijds worden er verschillende beschermingsniveaus aangehouden voor deze bronnen. De beschermingsniveaus zijn veelal gebaseerd op statistiek (herhalingstijden) en daardoor lastig om te begrijpen.

De combinatie bovenstaande factoren maakt het lastig voor burgers om een goed beeld te vormen van de risico's en mogelijke beheersmaatregelen.

Een methode om het risico op wateroverlast en -schade inzichtelijk te maken is het gebruik van labels. Het gebruik van labels kent de volgende voordelen:

- het label maakt in één oogopslag duidelijk of het risico voor een gebied laag of hoog is. Een hoog risico (rode kleur) zet burgers sneller aan tot handelen dan een getal, omdat het getal abstract kan overkomen;
- het maakt bewoners vaak beperkt uit wat de oorsprong is van de overlast. Voor hen is de waterdiepte en mate van overlast en schade het belangrijkste. Met een label kan eenvoudig worden gefocust op het risico op overlast en schade;
- het label kent een analogie met de inmiddels wijdverspreide energielabels. Op die manier wordt meegelift met de bekendheid van energielabels.

Het gebruik van labels kent echter ook nadelen:

- er gaat informatie verloren doordat alle typen wateroverlast en overstromingen samengenomen worden onder de noemer van één label. Het is een mogelijkheid om aparte labels per type overstroming te maken, maar dit kan ook verwarrend werken;
- de analogie met het energielabel suggereert dat bewoners zelf actie kunnen ondernemen om hun label te verbeteren. Voor overstromingen is dit echter sterk afhankelijk van het type overstroming. Sommige woningen liggen verlaagd en het handelingsperspectief tegen overstromingen is dan beperkt;
- er zijn veel data nodig om op perceelniveau een label toe te kennen. Dit heeft te maken met specifieke karakteristieken van ieder perceel. Daarnaast is het mogelijk niet wenselijk om labels toe te kennen aan individuele percelen, omdat dit onrust of waardeveranderingen teweeg kan brengen.

Ten aanzien van het gebruik van labels wordt het volgende geconcludeerd:

- labels voor wateroverlast zijn in potentie een goede manier om risico's uit te drukken voor bewoners. De focus ligt daarbij niet op de diverse faalmechanismen van de verschillende watersystemen en hun herhalingstijden. De focus ligt wel op het verwachte risico op overlast en schade;
- om schijnzekerheid en de negatieve effecten van perceel specifieke labels te voorkomen, wordt geadviseerd om de labels alleen geaggregeerd (bijvoorbeeld op buurt- of wijkniveau) te berekenen en te presenteren.

IV

BIJLAGE: BEREKENINGEN MKBA

In deze bijlage zijn de kosten van verschillende beschermingsniveaus voor faalmechanisme 1 en 3. Deze kosten zijn gehanteerd in de MKBA in paragraaf 4.7.

IV.1 Uitgangspunten en resultaten MKBA faalmechanisme 1

De kosten per scenario zijn berekend met de volgende uitgangspunten:

- per scenario zijn de kosten van een fictief bergings- en afvoerstelsel berekend voor een aangenomen woonkern van 4.000 inwoners, zodat de getallen vergelijkbaar zijn met Balk (circa 4.000 inwoners). Deze aangenomen woonkern heeft een aangesloten verhard oppervlakte van 25 ha;
- de kosten van aanleg en onderhoud zijn ingeschat op basis van de kentallen van RIONED [ref. 6] voor een riolering voor een kern van 25.000 inwoners. De gehanteerde getallen zijn geschaald naar een woonkern van 4.000 inwoners. Deze kosten zijn weergegeven in Tabel IV.1;
- alleen de benodigde assets die bijdragen aan de afvoer van overtollig hemelwater op het maaiveld (kolken en riolering) en eventuele tijdelijke bergingsvoorzieningen zijn beschouwd. Gemalen, overstorten en RWZI's zijn niet meegenomen;
- zowel de aanlegkosten als de inspectie- en onderhoudskosten zijn geraamd. Hiervoor is een tijdshorizon van 60 jaar aangenomen. Deze periode komt ongeveer overeen met de levensduur van een gemiddeld stelsel. De kosten zijn verdisconteerd naar NCW.

Tabel IV.1 Gehanteerde kostenkentallen voor verschillende stelselonderdelen met de prijs per eenheid (prijspeil 2021) [ref. 6]

Onderdeel	Kosten [EUR]	Eenheid	Opmerkingen
Leiding diameter 300 mm	170	m ¹	-
Leiding diameter 500 mm	330	m ¹	-
Rioolput	2.680	stuk	-
Kolk	310	stuk	-
Wadi	75	m ²	Exclusief eventuele grondaankopen
Bergingsvoorziening	2.100	m ³	-
Onderhoud leiding	2	m ¹	Frequentie: elke 15 jaar
Onderhoud rioolput	27	stuk	Frequentie: elke 30 jaar
Onderhoud kolk	5,30	stuk	Frequentie: tweemaal per jaar (2x EUR 2,65)
Onderhoud wadi	10-	m ²	Frequentie: elk jaar. O.a. maaien, verwijderen zwerfafval, verticuteren, opnieuw aanbrengen toplaag
Onderhoud bergingsvoorziening	27.000	stuk	Frequentie: elke 15 jaar. Reiniging van de voorziening

Tabel IV.2 toont de resultaten. Dit zijn de kosten voor aanleg en onderhoud van alle maatregelen in de drie scenario's.

Tabel IV.2 Kosten voor beheer en onderhoud van alle voorzieningen in de drie scenario's

Scenario	1	2	3
Faalkans [per jaar]	1/2	1/10	1/50
Aanlegkosten	[EUR]	[EUR]	[EUR]
Leidingen	2.720.000	5.440.000	8.000.000*
Rioolputten	1.072.000	2.144.000	2.144.000
Kolken	496.000	496.000	992.000
Wadi	n.v.t.	312.500	625.000
Bergingsvoorziening	n.v.t.	n.v.t.	1.575.000
Totaal aanleg	4.288.000	8.392.500	13.336.000
Kosten regulier beheer en onderhoud over 60 jaar (NCW) [EUR]			
Leidingen	194.155	388.311	388.311
Rioolputten	21.053	42.107	42.107
Kolken	1.055.340	1.055.340	2.110.679
Wadi	n.v.t.	5.185.435	10.370.870
Bergingsvoorziening	n.v.t.	n.v.t.	163.819
Totaal onderhoud	1.270.549	6.671.192	13.075.785
TOTAAL AANLEG EN ONDERHOUD	5.558.549	15.063.692	26.411.785

* Verschillende leidingdiameters. Kosten gecombineerd.

IV.2 Uitgangspunten en resultaten MKBA faalmechanisme 3

Tabel IV.3 toont de uitgangspunten en resultaten voor de MKBA behorende bij faalmechanisme 3.

Tabel IV.3 Uitgangspunten en resultaten voor de MKBA behorende bij faalmechanisme

Norm [per jaar]	1/10	1/30	1/100	1/300	1/1.000	1/3.000	1/10.000
Aangenomen:							
buitentalud	1:3	1:3	1:3	1:3	1:3	1:3	1:3
kruinbreedte [m]	2	2	2	2	2	2	2
kruinhoogte [m +mv]	1,85	1,90	2,00	2,05	2,15	2,20	2,30
binnentalud	1:3	1:3,5	1:4	1:4,5	1:5	1:5,5	1:6
breedte dijk [m]	13,1	14,4	16,0	17,4	19,2	20,7	22,7
oppervlakte doorsnede [m ²]	14,0	15,6	18,0	20,0	22,8	25,0	28,5
Grondaankoop (kosten berekend t.o.v. van norm 1/10)							
grondaankoop [m ² /m]	n.v.t.	1,3	2,9	4,3	6,1	7,6	9,6
prijs grondaankoop [EUR/m ² /m]	n.v.t.	40	40	40	40	40	40
kosten grondaankoop [EUR/m]	n.v.t.	52	116	172	244	304	384
Dijkmateriaal (kosten berekend t.o.v. van norm 1/10)							
hoeveelheid klei [m ³ /m]	n.v.t.	1,6	4,0	6,0	8,8	11	14,5
prijs klei [EUR/m ³]	n.v.t.	20	20	20	20	20	20
kosten klei [EUR/m]	n.v.t.	32	80	120	176	220	290
Aanlegkosten (kosten grond + kosten materiaal)							
aanlegkosten dijkprofiel [EUR/m] (initiële investering)	275	359	471	567	695	799	949
Kosten regulier beheer en onderhoud (jaarlijks)							
kosten onderhoud [EUR/m]	10	10	10	10	10	10	10
NCW kosten regulier beheer en onderhoud [EUR/m]	445	445	445	445	445	445	445
Kosten groot onderhoud (terugkeertijd 30 jaar, eerste kosten na 30 jaar)							
kosten onderhoud [EUR/m]	275	275	275	275	275	275	275
NCW kosten groot onderhoud [EUR/m]	290	290	290	290	290	290	290
Totaalkosten (aanlegkosten + NCW kosten regulier beheer en onderhoud + NCW kosten groot onderhoud)							
totale kosten per m [EUR/m]	1.010	1.094	1.206	1.302	1.430	1.534	1.684
lengte (excl. hoge grond) [m]	26.000	26.000	26.000	26.000	26.000	26.000	26.000
totale kosten [EUR]	26.260.000	28.444.000	31.356.000	33.852.000	37.180.000	39.884.000	43.784.000

