

6 JUNI 2019

ONDERZOEKSRAPPORT

TOEKOMSTBESTENDIGE WATERHUISHOUDING COLIJNSPLAAT



Auteur:	Bastiaan Nijskens
Opleiding:	Civiele Techniek
Onderwijsinstelling:	HZ University of Applied Sciences
Studiejaar:	2018/2019, semester 8
Datum van uitgave:	6 juni 2019
Versie:	1.0

Voorwoord

Dit onderzoek is uitgevoerd in het kader van de afstudeerfase van de opleiding Civiele Techniek aan de HZ University of Applied Sciences te Middelburg.

In deze studie is onderzoek gedaan naar de maatregelen die wateroverlast beperken of minimaliseren. Het onderzoeksgebied betreft de kern van het dorp Colijnsplaat in de gemeente Noord-Beveland.

Mijn dank gaat uit naar mijn begeleidster Ing. Natalie Rambat en begeleider Ing. Gerhard Schrijver voor alle tijd en hulp die zij in dit afstudeeronderzoek hebben gestoken. Daarnaast wil ik ook mijn contactpersoon/de opdrachtgever van gemeente Noord-Beveland, Ing. Sjoerd Prince, bedanken voor de fijne samenwerking en het goede contact tijdens dit onderzoek. Verder wil ik de mensen waarmee ik persoonlijk, telefonisch of mailcontact mee heb gehad bedanken voor het bijdragen aan dit onderzoek. Als laatste bedank ik mijn stagedocent Ing. Ricky Vaneveld voor de kritische feedback en begeleiding gedurende dit afstudeeronderzoek.

Het onderzoek wordt uitgevoerd in opdracht van de gemeente Noord-Beveland is uitgevoerd met behulp van ingenieursbureau Juust.

Kapelle, 6 juni 2019

Bastiaan Nijskens

Samenvatting

In het kader van de afstudeerfase van de opleiding Civiele Techniek aan de HZ University of Applied Sciences is een onderzoek uitgevoerd naar optimale maatregelen tegen wateroverlast in de kern van Colijnsplaat.

De toenemende intensiteit van buien, de steeds langere perioden van droogte en de stijging van de temperatuur zijn gevolgen van de klimaatverandering. De gevolgen oefenen allemaal invloed uit op de omgeving. Om de gevolgen en de daarbij behorende effecten op de omgeving in te schatten, moet iedere gemeente binnen Nederland voor 2019 de stresstest hebben uitgevoerd. De gemeente Noord-Beveland heeft de stresstest in 2016 uitgevoerd.

De hoofdvraag van het onderzoek is als volgt:

‘Welke maatregelen beperken de wateroverlast door hemelwater en zorgen voor een toekomstbestendige kern van Colijnsplaat?’

Na het stellen van de hoofdvraag is aan de hand van hoogteligging, bodemopbouw en rioolkenmerken het onderzoeksgebied in kaart gebracht. Binnen het onderzoeksgebied zijn een aantal gebieden die kwetsbaar zijn bij een bepaald hoeveelheid hemelwater. Deze kwetsbare gebieden komen voort uit de stresstest van de gemeente Noord-Beveland en de depressiekaart van het Kennisportaal Ruimtelijke Adaptie.

Voordat de maatregelen voor de kwetsbare gebieden opgesteld konden worden, is een Programma van Eisen opgesteld. Hierin staan de wettelijke eisen en eisen van de gemeente Noord-Beveland. Aan de hand van het Programma van Eisen zijn verschillende maatregelen opgesteld. Vanwege de slecht waterdoorlatende ondergrond en de beperkte ruimte is kiezen van de optimale maatregel per gebied een lastige keuze. De soorten maatregelen die in het onderzoek zijn gebruikt zijn als volgt:

- Ondergrondse berging creëren of vergroten
- Bovengrondse berging creëren of vergroten
- Doorlatendheidscapaciteit vergroten
- Belasting op het stelsel reduceren
- Belasting op aanvoerende stelsels reduceren.

Na het opstellen van bovenstaande maatregelen is gebruik gemaakt van een multicriteria-analyse. De multicriteria-analyse beoordeelt de maatregelen onder andere op effectiviteit, ruimtelijke inpassing en kosten. Per kwetsbaar gebied is een multicriteria-analyse ingevuld met de verschillende maatregelen. Dit heeft geresulteerd in verschillende concrete maatregelen per kwetsbaar gebied. In enkele gebieden zijn er per kwetsbaar gebied meerdere optimale maatregelen, vanwege de omvang van het gebied of de grootte van de wateroverlast. Om de interactie tussen gebieden en maatregelen in kaart te brengen zijn de maatregelen toegelicht met behulp van een maatregelenkaart.

De maatregelen die worden voorgeschreven reduceren het tekort aan bergingsmogelijkheden met 31%. Dit betekent van een tekort van 60% in de huidige situatie, naar een tekort van 29% na het toepassen van de maatregelen. Na het toepassen van de maatregelen zal de wateroverlast bij extreme toekomstige neerslag beperkt of geminimaliseerd zijn.

Inhoudsopgave

Voorwoord	i
Samenvatting.....	ii
Figuren- en tabellenlijst.....	v
Figuren.....	v
Tabellen	v
Afkortingen en begrippen	vi
1.0 Inleiding	1
1.1 Probleemstelling.....	1
1.2 Doelstelling.....	1
1.3 Vraagstelling	2
1.4 Leeswijzer	2
2.0 Theoretisch kader	3
2.1 Omgevingskarakterisering.....	3
2.1.1 Hoogteligging.....	3
2.1.2 Infiltratiecapaciteit	4
2.2 Rioolkenmerken	5
2.3 Kwetsbare gebieden.....	5
2.3.1 Interactie kwetsbare gebieden.....	5
3.0 Methode	6
3.1 Programma van Eisen	6
3.1.1 Randvoorwaarden	6
3.1.2 Functionele eisen	6
3.1.3 Ontwerpbeperkingen	6
3.2 Oplossingen	7
3.2.1 Geen actie.....	8
3.2.2 Ondergrondse berging creëren of vergroten	8
3.2.3 Bovengrondse berging creëren of vergroten	9
3.2.4 Doorlatendheidscapaciteit vergroten	10
3.2.5 Belasting op stelsel reduceren	11
3.2.6 Belasting van aanvoerende stelsels reduceren	11
3.3 Multicriteria-analyse	12
4.0 Resultaten.....	14
4.1 Maatregelenplan	14
4.1.1 Hovenierstraat.....	14

4.1.2 West Havenstraat	14
4.1.3 Colijnsplaatseweg	15
4.1.4 Ringweg	15
4.1.5 Oost Havenstraat, Oost Zeedijk	15
4.1.6 Oost Kerkstraat	15
4.1.7 Voorstraat	16
4.1.8 Irenestraat, Kruisstraat	16
4.1.9 West Kerkstraat, Zuid Kerkstraat	16
4.1.10 Oost Havenstraat	16
4.1.11 Dokter Maasstraat	16
4.1.12 Meidoornstraat, Ribesstraat, Rozenstraat, Zonnebloemstraat, Tulpstraat	17
4.1.13 Havelaarstraat	17
4.1.14 Particulier terrein Oost Zeedijk 6A en 6B	17
4.1.15 Oude Haven	17
4.2 Technische uitwerking	18
4.2.1 Betonklinkers en voegmateriaal	18
4.2.2 Straatlaag	19
4.2.3 Fundering	19
4.2.4 IT-riool	20
5.0 Conclusie en aanbevelingen	21
5.1 Conclusie	21
5.2 Aanbevelingen	21
6.0 Bibliografie	22

Figuren- en tabellenlijst

Figuren

Figuur 1: Colijnsplaat, Zeeland (Google Maps, 2019).....	1
Figuur 2: Colijnsplaat kern (Google Maps, 2019)	1
Figuur 3: Methode/maatregelen-schema	7
Figuur 4: Infiltratiekratten (Enka-solutions, Milieu-Infrastructuur, 2019)	8
Figuur 5: Waterpasserende verharding (MBI, 2019).....	10
Figuur 6: Wadi (Gemeente Roermond, 2019)	10
Figuur 7: Waterdoorlatende structuur	18
Figuur 8: Verdeling Oost Havenstraat (Gemeente Noord-Beveland, 2008)	20

Tabellen

Tabel 1: Hoogteligging kern Colijnsplaat (Actueel Hoogte Bestand Nederland, 2019).....	3
Tabel 2: Hemelwaterafvoer verhard oppervlak (NU-Adviesbureau, 2013)	4
Tabel 3: Voor- en nadelen bij geen actie.....	8
Tabel 4: Voor- en nadelen bij creëren of vergroten van ondergrondse berging	9
Tabel 5: Voor- en nadelen bij creëren of vergroten bovengrondse berging.....	9
Tabel 6: Voor- en nadelen bij doorlatendheidscapaciteit vergroten	10
Tabel 7: Voor- en nadelen bij het reduceren van belasting op het stelsel	11
Tabel 8: Voor- en nadelen bij reduceren van belasting van aanvoerende stelsels.....	12
Tabel 9: Criteriascore multicriteria-analyse	12
Tabel 10: Bepaling bovenlaag fundering	19

Afkortingen en begrippen

Afkorting	Omschrijving
DPRA	Deltaplan Ruimtelijke Adaptie
NAP	Normaal Amsterdams Peil
RWZI	Rioolwaterzuiveringsinstallatie
Wadi	Water afvoer door infiltratie

Begrip	Omschrijving
Bemalingsgebied	Een rioleringsgebied waaruit het afvalwater door een gemaal wordt verwijderd (RIONED, 2018).
Neerslaggebeurtenis	Bepaalde hoeveelheid neerslag tijdens de bruto neerslagduur (RIONED, Module C2100, 2004).
Stresstest	Test waarbij de potentiële kwetsbaarheden voor de klimaatthema's binnen een gebied geïdentificeerd worden (Kennisportaal Ruimtelijke Adaptie, 2019).
Water op straat	(berekend) Waterstandsniveau dat hoger is dan het plaatselijke maaiveld of putdekselniveau. In de praktijk van beperkte omvang en duur (RIONED, Module C2100, 2004).
Wateroverlast	Water op straat waarbij overlast optreedt, zoals opdrijvende putdeksels, water in woningen en langdurig grote waterhoeveelheden op het maaiveld (RIONED, Module C2100, 2004).

1.0 Inleiding

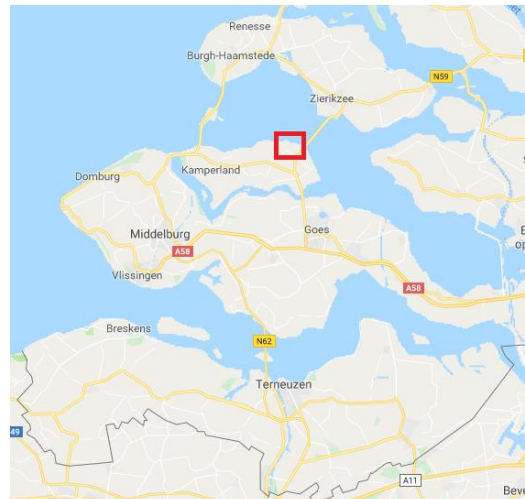
De toenemende intensiteit van buien, de steeds langere perioden van droogte en de stijging van de temperatuur zijn gevolgen van de klimaatverandering (Klimaatverandering, 2019). De gevolgen oefenen allemaal invloed uit op de omgeving. Om de gevolgen onder controle te houden is het Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie (DPRA) opgesteld. Het DPRA is een integrale aanpak binnen Nederland voor de vier klimaatthema's; wateroverlast, hittestress, droogte en overstromingen. Binnen deze aanpak behoort het uitvoeren van de klimaatstresstest. De klimaatstresstest toetst de omgeving op de vier klimaatthema's. De resultaten van de stresstest worden geanalyseerd waardoor een indicatie ontstaat waar de kwetsbare gebieden in de omgeving zijn. In 2017 werd in het DPRA bekend gemaakt dat alle overheden in Nederland op zijn laatst in 2019 een stresstest moeten hebben uitgevoerd. Volgens het DPRA zal de stresstest iedere zes jaar herhaald moeten worden om de effecten van de genomen maatregelen te kunnen volgen. De gemeente Noord-Beveland heeft in 2016 de stresstest uitgevoerd voor de gehele gemeente. Voor de kern van Colijnsplaat moeten de resultaten nog geanalyseerd worden en dient er verder onderzoek naar de kwetsbaarheden gedaan te worden.

1.1 Probleemstelling

Uit de stresstest van de gemeente Noord-Beveland en klachten van bewoners van Colijnsplaat blijkt dat er in de huidige situatie gebieden zijn binnen de kern die kwetsbaar zijn bij een bepaalde hoeveelheid hemelwater (Gemeente Noord-Beveland, 2017). Deze kwetsbare gebieden en de interactie met aangrenzende gebieden worden geanalyseerd voor het opstellen van de maatregelen. De bepaalde hoeveelheid water in kwetsbare gebieden kan resulteren in waterhinder of wateroverlast. Bij waterhinder is slechts tijdelijk water op het maaiveld aanwezig en resulteert dit niet in schade. Bij wateroverlast is langdurig water op het maaiveld aanwezig en resulteert dit wel in schade en kunnen veiligheids- of gezondheidsrisico's ontstaan. De gevolgen van wateroverlast zijn niet gewenst en daarom dienen maatregelen opgesteld te worden die deze gevolgen voorkomen of verminderen. Deze maatregelen zijn enkel gericht op het klimaatthema wateroverlast. De maatregelen mogen geen nadelige effecten hebben op de overige drie klimaatthema's.

1.2 Doelstelling

Het doel van het onderzoek is om de meest doelmatige maatregelen op te stellen voor het toekomstbestendig maken van de kern van Colijnsplaat op het gebied van wateroverlast. De maatregelen mogen geen nadelige effecten hebben voor de overige drie klimaatthema's; droogte, hittestress en overstromingen. Het onderzoek naar de maatregelen moet uiteindelijk een maatregelenplan vormen, wat als houvast zal dienen bij het ontwerpen van toekomstige reconstructies binnen de kern van Colijnsplaat.



Figuur 1: Colijnsplaat, Zeeland (Google Maps, 2019)



Figuur 2: Colijnsplaat kern (Google Maps, 2019)

1.3 Vraagstelling

De hoofdvraag voor het onderzoek volgt uit de probleemstelling en luidt als volgt:

‘Welke maatregelen beperken de wateroverlast door hemelwater en zorgen voor een toekomstbestendige kern van Colijnsplaat?’

Deze hoofdvraag is opgedeeld in 12 deelvragen. Met het beantwoorden van de deelvragen moet een antwoord geformuleerd worden voor de hoofdvraag. De deelvragen van dit onderzoek luiden als volgt:

1. *Wat zijn de factoren die het gedrag van het water in de kern bepalen?*
2. *Waar zijn de kwetsbare gebieden binnen de kern?*
3. *Wat maakt de gebieden kwetsbaar?*
4. *Hoe ziet de interactie tussen kwetsbare gebieden en aangrenzende gebieden er uit?*
5. *Wat zijn de mogelijke gevolgen bij het niet treffen van maatregelen?*
6. *Welke eisen worden er aan de eindsituatie gesteld?*
7. *Wat zijn de mogelijke maatregelen voor de kwetsbare gebieden?*
8. *Wat voor invloed hebben de maatregelen op aangrenzende gebieden?*
9. *Wat voor effect heeft de maatregel op de overige drie klimaatthema's?*
10. *Welke criteria vormen het toetsingskader?*
11. *Welke maatregel scoort het hoogst op het toetsingskader?*
12. *Hoe ziet het totale maatregelenplan er uit?*

1.4 Leeswijzer

Het voorliggende rapport bestaat uit vijf hoofdstukken en 10 bijlagen.

Hoofdstuk 2	behandelt de relevante (achtergrond) informatie die benodigd is om de kenmerken en eigenschappen van het onderzoeksgebied
Hoofdstuk 3	gaat in op de methode die wordt gebruikt voor het uitvoeren van het onderzoek. Geeft de mogelijke maatregelen en bespreekt de voor- en nadelen.
Hoofdstuk 4	licht de optimale maatregelen toe (resultaten multicriteria-analyses).
Hoofdstuk 5	geeft de conclusie en aanbevelingen die voortkomen uit het onderzoek.
Hoofdstuk 6	Bibliografie
Bijlage 1	Hoogteligging
Bijlage 2	Grondopbouw
Bijlage 3	Doorlatendheidscapaciteit
Bijlage 4	Gemeentelijk rioolstelsel
Bijlage 5	Bemalingsgebiedenkaart
Bijlage 6	Depressiekaart
Bijlage 7	Kwetsbare gebieden
Bijlage 8	Multicriteria-analyses
Bijlage 9	Waterbalans
Bijlage 10	Maatregelenkaart
Bijlage 11	Technische uitwerking Oost Havenstraat
Bijlage 12	Toelichting technische uitwerking

2.0 Theoretisch kader

De onderzoeksvraag van het onderzoek wordt beantwoord door de onderzoeksvraag te verdelen in deelvragen. In het theoretisch kader worden informatie, theorieën, kennis en ideeën verzameld. Het theoretisch kader dient als naslag bij het beantwoorden van de deelvragen.

2.1 Omgevingskarakterisering

De omgeving bepaalt voor een groot deel de methode waarop het hemelwater afgevoerd moet worden. Factoren als hoogteligging, verharde oppervlakken en de grondopbouw zorgen er voor op wat voor manier en hoe goed het water afgevoerd of opgevangen kan worden.

2.1.1 Hoogteligging

De kern Colijnsplaat is in zes gebieden te verdelen aan de hand van de hoogteligging. De gebieden met bijbehorende hoogtes ten opzichte van NAP (Normaal Amsterdams Peil) zijn in onderstaande tabel (tabel 1) weergegeven. De tabel is een toelichting op het figuur in bijlage 1. Bijlage 1 is een kaart waarop de hoogteligging en de zes gebieden worden weergegeven.

Tabel 1: Hoogteligging kern Colijnsplaat (Actueel Hoogte Bestand Nederland, 2019)

Hoogteligging kern Colijnsplaat		
Nr.	Gebied	Hoogteligging (t.o.v. NAP) [m]
1.	Haventerrein	2.5 – 8.5
2.	Colijnsplaat Noord	1.5 – 2.5
3.	Colijnsplaat Oost	1.0 – 2.5
4.	Colijnsplaatseweg	0.5 – 2.5
5.	Colijnsplaat West	0.0 – 1.5
6.	De Valle	-1.5 – 0.5

Uit de tabel is op te maken dat het Haventerrein en Colijnsplaat Noord het hoogste gelegen zijn binnen de kern. De gebieden Colijnsplaat West en De Valle zijn het laagst gelegen binnen de kern. De hoogtes uit de tabel zijn relatieve hoogtes en geven geen direct beeld van kwetsbare gebieden.

Niet enkel tussen de verschillende gebieden uit tabel 1, maar ook binnen de gebieden zelf, zitten verschillen in hoogte. Dit wordt de absolute hoogte genoemd. Het kan dus voorkomen dat een bepaalde locatie binnen een gebied uit tabel 1 lager ligt dan de rest van het gebied. Deze lageregelegen locatie zal te maken krijgen met wateroverlast, vanwege de natuurlijke afstroming. Hieruit blijkt dat niet enkel de laagstgelegen gebieden zoals De Valle en Colijnsplaat West, maar ook gebieden als Colijnsplaat Noord met wateroverlast te maken kunnen hebben.

2.1.2 Infiltratiecapaciteit

Wanneer het water niet via natuurlijke afstroom afgevoerd kan worden, zal het water proberen te infiltreren. Bij verharde oppervlakken en slecht doorlatende grondsoorten kan het water niet infiltreren. Het in beeld brengen van het verharde oppervlak en de grondsoorten creëert een inzicht in de infiltratiecapaciteit binnen de kern.

De gemeente Noord-Beveland heeft een inventarisatie laten uitvoeren naar het verharde oppervlak in iedere kern binnen de gemeente Noord-Beveland. Uit deze inventarisatie blijkt dat het verharde oppervlak binnen de kern van Colijnsplaat 19,7 hectare bedraagt. Het hemelwater wat op het verharde oppervlak valt, wordt voor het grootste deel afgevoerd door middel van riolering.

De verharde oppervlakken in de inventarisatie bestaan uit daken of verharding. De daken zijn onderverdeeld in hellende of vlakke daken. De verharding is onderverdeeld in gesloten of open verharding. In de onderstaande tabel (tabel 2) zijn de resultaten van de inventarisatie weergegeven. Per type verharding is aangegeven of het verhard oppervlak is aangesloten op gemengde riolering, hemelwaterriolering of niet is aangesloten op riolering.

Tabel 2: Hemelwaterafvoer verhard oppervlak (NU-Adviesbureau, 2013)

Aansluiting	Daken		Verharding		Totaal [m ²]	Totaal [ha]
	Hellend [m ²]	Vlak [m ²]	Gesloten [m ²]	Open [m ²]		
Gemengde riolering	66.065	8.959	1.495	33.087	109.606	10,96
Hemelwaterriolering	14.799	5.619	4.886	25.217	50.521	5,05
Niet aangesloten	4.682	906	23.013	8.668	37.269	3,73
Totaal	85.546	15.484	29.394	66.972	197.396	19,74

De totale oppervlakte van de kern bedraagt 55,4 hectare. Met een verhard oppervlak van 19,7 hectare is dus ongeveer een derde van de kern verhard. De rest van de kern bestaat uit onverhard oppervlak.

De overige 35,7 hectare binnen de kern bestaat uit onverhard oppervlak. Op dit oppervlak kan hemelwater infiltreren, mits de doorlatendheid van de grondsoort dit toe laat. Volgens sonderingen die in het verleden zijn uitgevoerd en boorprofielen van Dinoloket (Bijlage 2), bestaat de opbouw over de gehele kern uit twee grondsoorten; een kleilaag met daaronder een laag van zeer fijn zand. Aan elke grondsoort is een doorlatendheidsfactor, K-waarde, gekoppeld. Een lage K-waarde betekent dat de grondsoort slecht waterdoorlatend is en dus een lage infiltratiecapaciteit heeft (Bodemrichtlijn, 2019). De K-waarde per grondsoort is weergegeven in tabel 1 in bijlage 3. De K-waarden voor de grondsoorten klei en zeer fijn zand zijn relatief laag in vergelijking met andere grondsoorten als grind en grof zand. De lage K-waarden voor klei en zeer fijn zand zorgen ervoor dat de doorlatendheid op het onverharde oppervlak erg laag is, waardoor infiltratie minimaal zal zijn.

Binnen de kern zijn nauwelijks tot geen infiltratievoorzieningen voor hemelwater, zoals groenvoorzieningen. Enkel ter hoogte van de Oude Haven is een grasveld. Het grootste deel van het hemelwater in de Oude Haven kan afstromen naar het grasveld en zal hier in de bodem infiltreren. De plannen zijn om dit gebied beter te benutten met behulp van een herinrichting van het gebied. Het plan is om het grasveld te ontgraven, zodat er ruimte komt voor een waterpartij waarin hemelwater geborgen kan worden.

2.2 Rioolkenmerken

Het hemelwater wat niet door infiltratie of oppervlaktewater afgevoerd wordt, zal door middel van een rioolstelsel afgevoerd worden. Het gemeentelijk rioolstelsel van de kern Colijnsplaat bestaat uit een vijftal bemalingsgebieden, waarop een aantal drukrioleringsgebieden zijn aangesloten. Bijlage 5 laat door middel van een tekening zien hoe de kern verdeeld is in verschillende bemalingsgebieden en welke drukrioleringsgebieden zijn aangesloten. Het rioolstelsel binnen de kern bestaat uit gemengde riolering, hemelwaterriolering, vuilwaterriolering en drukriolering. Bijlage 4 bevat een tekening met het huidige rioolstelsel van de kern Colijnsplaat. Het gemengde rioolstelsel bevat interne overstorten die er voor zorgen dat bemalingsgebieden Colijnsplaat Noord, Colijnsplaat West en Colijnsplaat Oost als één gebied functioneren tijdens standaard neerslagsituaties als bui 08 (20 mm/uur (RIONED, Module C2100, 2004)). Het rioolstelsel binnen de kern wordt extra belast door de toevoer van afvalwater afkomstig van het dorp Kats naar het rioolgemaal in Colijnsplaat Oost. Het rioolgemaal pompt het afvalwater naar de rioolwaterzuiveringsinstallatie (RWZI) toe.

2.3 Kwetsbare gebieden

Het afvoeren van het hemelwater gaat binnen de kern niet overal optimaal. Om de gebieden waar problemen zijn met het afvoeren van het hemelwater in beeld te brengen, is de stresstest uitgevoerd door gemeente Noord-Beveland. De stresstest heeft geresulteerd in een inventarisatie waarbij een zevental locaties naar voren is gekomen (Gemeente Noord-Beveland, 2017). Naast de inventarisatie die voortgekomen is uit de stresstest zijn er aan de hand van de depressiekaart (Klimaat-effectatlas Wateroverlast, 2019), bij een bui van T=100 (bui van 60 millimeter (Harry van Luijtelaar, 2015)), een achttal kwetsbare gebieden bij gekomen. In bijlage 6 is de depressiekaart weergegeven. De kwetsbaarheid van de gebieden wordt veelal veroorzaakt vanwege de hoogteligging. Zo ligt in sommige gevallen de rijbaan hoger dan de naastgelegen huizen of liggen de aangrenzende straten op een hoger niveau. In enkele gevallen komt het voor dat de buisdiameters van het rioolstelsel te krap zijn. De kwetsbare gebieden kunnen te maken krijgen met water wat in gebouwen stroomt of situaties waar het water op straat of maaiveld komt te staan wat leidt tot wateroverlast.

De kwetsbare locaties die naar voren zijn gekomen uit de stresstest en depressiekaart zijn opgesteld in bijlage 7.1. Hierin staan de oorzaken en gevolgen van de kwetsbaarheid van de gebieden. De gebieden die in bijlage 7.1 worden benoemd, zijn aangegeven in de kern op de tekening in bijlage 8.

2.3.1 Interactie kwetsbare gebieden

Uit de tabel in bijlage 7.1 komen de kwetsbare gebieden in de kern van Colijnsplaat naar voren. De eigenschappen en kenmerken van de kwetsbare gebieden zijn nader toegelicht in bijlage 7.2. Sommige gebieden zijn verbonden met elkaar, waardoor er interactie is tussen de aangrenzende kwetsbare gebieden. Wat in het ene gebied gebeurt, kan dus invloed hebben op het naastgelegen (kwetsbare) gebied.

Uit de stresstest en de depressiekaart zijn 15 kwetsbare gebieden voortgekomen. De interactie kan zijn vanwege de hoogteligging of vanwege de verbinding door middel van riolering. Door de interactie tussen de gebieden moeten integrale oplossingen gezocht worden.

3.0 Methode

Het opstellen van de juiste maatregelen kan enkel met de juiste methode van aanpak. De methode wordt gekozen aan de hand van de eisen die aan het onderzoek gesteld worden. In dit hoofdstuk worden het Programma van Eisen en de mogelijke maatregelen, die opgesteld zijn aan de hand van het Programma van Eisen, nader toegelicht.

3.1 Programma van Eisen

Het Programma van Eisen dient als leidraad bij het ontwerpen van de maatregelen. In het Programma van Eisen wordt een beschrijving gegeven hoe het eindproduct eruit moet komen te zien aan de hand van eisen van de opdrachtgever. Het Programma van Eisen bestaat uit de randvoorwaarden, functionele eisen en de ontwerpbeperkingen. In de volgende subparagrafen worden de randvoorwaarden, functionele eisen en ontwerpbeperkingen nader toegelicht.

3.1.1 Randvoorwaarden

De randvoorwaarden zijn eisen waaraan voldaan moet worden om het onderzoek succesvol uit te voeren. De randvoorwaarden binnen het onderzoek zijn als volgt:

- Uitvoeringstijd van 29 januari 2019 tot 6 juni 2019 (30 EC, 840 uur);
- Het onderzoeksrapport mag maximaal 30 A4 pagina's lang zijn (exclusief het voor- en nawerk);
- Er dient een computer beschikbaar te zijn met internetverbinding, een tekstverwerkingsprogramma (Word), een technisch tekenprogramma (AutoCAD) en een geografisch informatie systeem (GIS);
- Er dient toegang te zijn tot het archief van gemeente Noord-Beveland voor specifieke gebiedsinformatie.

3.1.2 Functionele eisen

De functionele eisen zijn de eisen waaraan de maatregelen moeten voldoen. De functionele eisen binnen het onderzoek zijn als volgt:

- Er mag geen water-op-straat problematiek optreden bij bui 08 (20 mm/uur (RIONED, Module C2100, 2004));
- De maatregelen dienen minimaal 'Matig klimaatbestendig' te zijn (om kunnen gaan met 90 mm/uur) (RIONED, Regenwatervoorzieningen op eigen terrein, wat werkt (niet)?, 2016);
- De maatregelen mogen geen negatieve effecten hebben op de overige drie klimaatthema's (hittestress, droogte en overstromingen).

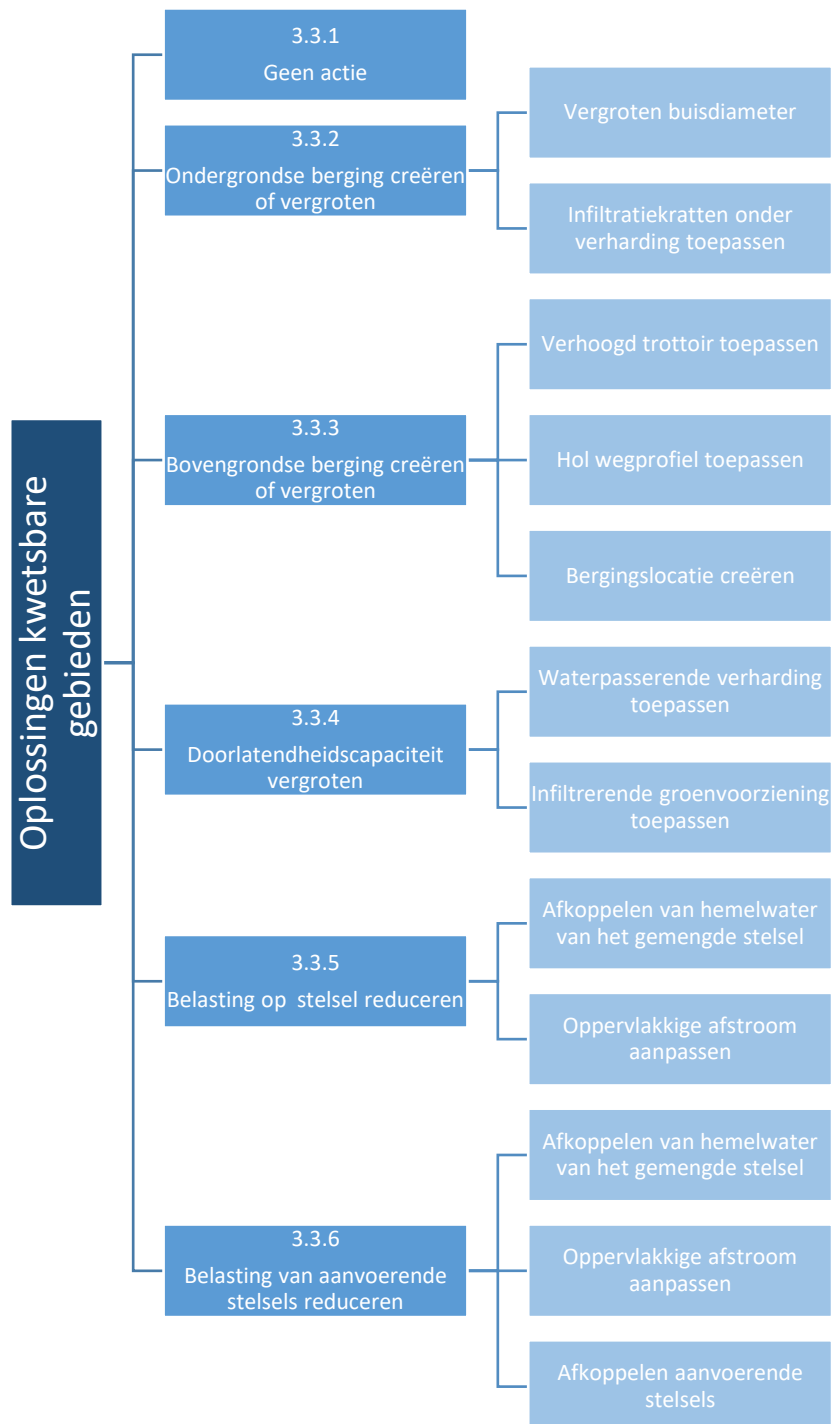
3.1.3 Ontwerpbeperkingen

De ontwerpbeperkingen vormen de uiterste grenzen binnen het onderzoek. Het onderzoek zal binnen de grenzen blijven. De ontwerpbeperkingen voor het onderzoek zijn als volgt:

- De maatregelen worden enkel ontworpen aan de hand van het klimaatthema wateroverlast;
- De maatregelen dienen in de huidige infrastructuur ingepast te worden of inpasbaar te zijn bij reconstructies;
- Het onderzoeksgebied beperkt zich tot de kerngrens van het dorp Colijnsplaat;
- Het onderzoek dient uitgevoerd te worden volgens Nederlandse en Europese wetgeving.

3.2 Oplossingen

Bij het opstellen van maatregelen wordt eerst de methode van aanpak bepaald. Voor dit onderzoek zijn er zes methoden opgesteld die ieder hun eigen maatregelen hebben. De methoden met bijbehorende maatregelen die in dit onderzoek toegepast kunnen worden zijn als volgt:



Figuur 3: Methode/maatregelen-schema

De maatregelen uit het bovenstaande methode/maatregel-schema worden nader toegelicht in de volgende subparagrafen. Hier zullen de eigenschappen, kenmerken en voor- en nadelen van iedere maatregel worden toegelicht.

3.2.1 Geen actie

De eerste methode is het niet ondernemen van actie. Het niet ondernemen van actie en de huidige situatie niet aanpassen heeft enkele voor- en nadelen. Deze voor- en nadelen zijn weergegeven in tabel 1.

Tabel 3: Voor- en nadelen bij geen actie

Voordelen	Nadelen
• Geen kosten op korte termijn.	• Risico op toename overlast bij toekomstige hevigere neerslag; • Risico op blootstelling aan mogelijke gezondheidsrisico's bij overstroming van gemengd riool; • Risico op bovengrondse schade (openbare ruimte, tuinen, woningen etc.); • Hoge kosten op lange termijn.

Geen actie ondernemen is een methode om het kwetsbare gebied aan te pakken, maar zal niet geadviseerd worden om toe te passen. Met deze aanpak zal niet aan de eisen voldaan worden die gesteld zijn in het Programma van Eisen om de wateroverlast in de kwetsbare gebieden te reduceren.

3.2.2 Ondergrondse berging creëren of vergroten

De tweede methode is het creëren of vergroten van de ondergrondse berging. Het creëren of vergroten van de ondergrondse berging kan met twee maatregelen:

- Vergroten buisdiameter;
- Infiltratiekratten onder verharding toepassen.

De eerste maatregel is het vergroten van de bestaande buisdiameter. Bij het vergroten van de buisdiameter zal de huidige verharding moeten worden opgebroken en wordt de rioolbuis ontgraven. Vervolgens wordt de buis vervangen door een buis met een grotere diameter (Rainproof-Amsterdam, Vergroten rioldiameter, 2019).

De tweede maatregel is het toepassen van infiltratiekratten (figuur 3). De infiltratiekratten houden het hemelwater vast en laten het hemelwater doordringen in de bodem (Enka-solutions, Bezinkputten en waterdoorlatende bestrating t.b.v. wadi's, 2019). Vanwege de slecht doorlatende bodem wordt onder de infiltratiekratten een infiltratiepakket aangelegd wat het water kan laten infiltreren in de grond. Net zoals bij het vergroten van de buisdiameter, zal de huidige verharding moeten worden opgebroken. Vervolgens zal de slecht waterdoorlatende grond ontgraven moeten worden en worden vervangen door het infiltratiepakket met daar boven de infiltratiekratten.



Figuur 4: Infiltratiekratten (Enka-solutions, Milieu-Infrastructuur, 2019)

Tabel 4: Voor- en nadelen bij creëren of vergroten van ondergrondse berging

Voordelen	Nadelen
• Risico op lokaal wateroverlast wordt gereduceerd; • Kan een grote impact hebben op het vergroten van de bergingscapaciteit; • Infiltratiekratten kunnen onder rijbaan en trottoir worden toegepast; • Resultaat van toepassen van beide maatregelen is bekend.	• Arbeidsintensief, enkel aan te raden bij reconstructies toe te passen; • Vergroten van de buisdiameter is een relatief dure maatregel; • Extra berging die gecreëerd wordt is niet voldoende voor hevige neerslag.

3.2.3 Bovengrondse berging creëren of vergroten

De derde methode is het creëren of vergroten van de bovengrondse berging. Het creëren of vergroten van de bovengrondse berging kan op twee manieren:

- Verhoogd trottoir toepassen;
- Hol wegprofiel toepassen;
- Bergingslocatie creëren.

De eerste maatregel is het toepassen van een verhoogd trottoir. Hierbij wordt het trottoir hoger aangelegd dan de rijbaan. Hierdoor wordt een gemiddelde bergingshoogte van 7 centimeter gecreëerd over de gehele rijbaanbreedte. De eerste neerslag van een neerslaggebeurtenis zal hiermee tussen de banden blijven en niet direct richting gebouwen stromen.

De tweede maatregel is het toepassen van een hol wegprofiel. Net als bij de maatregel waarbij een verhoogd trottoir wordt toegepast, wordt ook hier de eerste neerslag van een neerslaggebeurtenis op de rijbaan vastgehouden. Hierdoor stroomt het water niet direct richting de gebouwen.

De derde maatregel is het creëren van een bergingslocatie. Met een bergingslocatie wordt een kaal oppervlak bedoeld, waar het water verzameld kan worden zonder dat dit voor wateroverlast zorgt. Een bergingslocatie creëren kan zo effectief zijn, dat het de wateroverlast in een gebied kan minimaliseren. Het toepassen van een bergingslocatie pakt ook positief uit voor het klimaatthema droogte.

Tabel 5: Voor- en nadelen bij creëren of vergroten bovengrondse berging

Voordelen	Nadelen
• Verhoogd trottoir zorgt dat het water niet direct richting trottoir/gebouwen stroomt; • Hol wegprofiel zorgt dat het water niet direct richting trottoir/gebouwen stroomt; • Nieuwe bergingslocatie kan de wateroverlast tijdens hevige neerslag minimaliseren; • Relatief lage onderhoudskosten (lange termijn).	• Verhoogd trottoir en hol wegprofiel zijn arbeidsintensief om aan te leggen, enkel aan te raden bij reconstructies toe te passen; • Relatief hoge realisatiekosten (korte termijn).

3.2.4 Doorlatendheidscapaciteit vergroten

De vierde methode is het vergroten van de doorlatendheidscapaciteit. Het vergroten van de doorlatendheidscapaciteit kan met de volgende twee maatregelen:

- Waterpasserende verharding met infiltratiepakket toepassen;
- Infiltrerende groenvoorziening toepassen.

De eerste maatregel is het toepassen van waterpasserende verharding met een infiltratiepakket. Bij het toepassen van waterpasserende verharding moet de huidige verharding worden opgebroken en zal vervolgens de waterpasserende verharding worden aangebracht. De waterpasserende verharding heeft een brede voeg tussen de klinkers (figuur 4), zodat het hemelwater hierdoor weg kan zakken in de grond. Vanwege de slecht doorlatende bodem wordt onder de waterpasserende verharding een infiltratiepakket aangelegd, wat het water kan laten infiltreren in de grond (Rainproof-Amsterdam, Waterpasserende verharding, 2019).



Figuur 5: Waterpasserende verharding (MBI, 2019)

De tweede maatregel is het toepassen van een infiltrerende groenvoorziening, ook wel bekend als wadi (water afvoer door infiltratie). Een wadi vangt door middel van hoogteverschil het hemelwater uit het gebied op en zorgt dat dit langzaam in de bodem infiltreert. Net zoals bij de waterpasserende verharding dient ook hier een infiltratiepakket onder de wadi aangelegd te worden (Gemeente Roermond, 2019). Dit zorgt er voor dat het water in de bodem kan infiltreren.



Figuur 6: Wadi (Gemeente Roermond, 2019)

Tabel 6: Voor- en nadelen bij doorlatendheidscapaciteit vergroten

Voordelen	Nadelen
• Maatregelen hebben beide ook een positief effect op het klimaatthema droogte; • Infiltrerende groenvoorziening heeft een positief effect op het klimaatthema hittestress.	• Vervuilingen kunnen in bodem infiltreren via waterpasserende verharding; • Beperkte ruimte binnen de kern voor het aanbrengen van infiltrerende groenvoorziening.

3.2.5 Belasting op stelsel reduceren

De vijfde methode is het reduceren van de belasting op het stelsel in het kwetsbare gebied. Het reduceren van de belasting op het stelsel in het kwetsbare gebied kan met de volgende twee maatregelen:

- Afkoppelen van hemelwater van het gemengde stelsel;
- Oppervlakkige afstroom aanpassen.

De eerste maatregel is het hemelwater afkoppelen van het gemengde stelsel. Deze maatregel is enkel van toepassing bij kwetsbare gebieden die voorzien zijn van een gemengd riool. Bij het afkoppelen van het gemengde riool wordt een hemelwaterriool aangelegd. Het hemelwater kan via het hemelwaterriool worden afgevoerd waardoor de belasting op het gemengde stelsel gereduceerd wordt. Voor het aanleggen van een hemelwaterriool moet de bestaande verharding opgebroken worden en dient er ontgraven te worden. Dit zorgt er voor dat de realisatiekosten relatief hoog zijn. De tweede maatregel is het aanpassen van de oppervlakkige afstroom. Door aanpassingen te doen in de hoogteligging van het maaiveld, kan het water als het ware gestuurd worden. Een laaggelegen locatie kan worden opgehoogd, waardoor het water zich niet meer verzameld in het gebied.

Tabel 7: Voor- en nadelen bij het reduceren van belasting op het stelsel

Voordelen	Nadelen
• Gereduceerde belasting op het oude gemengde stelsel door het afkoppelen van het hemelwater; • Geen onnodige vervuiling van schoon hemelwater dus verminderde belasting op de afvalwaterzuiveringsinstallatie.	• Aanleggen hemelwaterriool is arbeidsintensief en relatief dure maatregel, enkel aan te raden bij reconstructies toe te passen; • Aanpassen van oppervlakkige afstroom enkel effectief voor kleine gebieden.

3.2.6 Belasting van aanvoerende stelsels reduceren

De zesde methode is het reduceren van de belasting op stelsels die het water afvoeren op het stelsel in het kwetsbare gebied. Het reduceren van de belasting op stelsels die het water afvoeren op het stelsel in het kwetsbare gebied kan met de volgende drie maatregelen:

- Afkoppelen van hemelwater van het gemengde stelsel;
- Oppervlakkige afstroom aanpassen;
- Afkoppelen van aanvoerende stelsels.

De eerste twee maatregelen zijn hetzelfde als in paragraaf 3.2.5. Wat verschillend is in deze situatie is dat de maatregelen niet worden toegepast in het kwetsbare gebied zelf, maar in water aanvoerende gebieden. Door in deze water aanvoerende gebieden de belasting op het gemengde stelsel te reduceren, wordt ook de belasting op het stelsel in het kwetsbare gebied gereduceerd.

De derde maatregel is het afkoppelen van de water aanvoerende gebieden op het kwetsbare gebied. Hierbij wordt het hemelwater en/of rioolwater afgevoerd naar een ander stelsel dan het stelsel in het kwetsbare gebied. Dit reduceert de belasting op het stelsel in het kwetsbare gebied. Echter kan met het toepassen van deze maatregel een nieuw kwetsbaar gebied ontstaan. De voorwaarde bij het toepassen van deze maatregel is dat het nieuwe afvoerende stelsel de extra belasting aan moet kunnen.

Tabel 8: Voor- en nadelen bij reduceren van belasting van aanvoerende stelsels

Voordelen	Nadelen
• Geen extra belasting afkomstig van aangrenzende gebieden. • Geen onnodige vervuiling van schoon hemelwater dus verminderde belasting op de afvalwaterzuiveringsinstallatie.	• Aanleggen hemelwaterriool is arbeidsintensief en relatief dure maatregel, enkel aan te raden bij reconstructies toe te passen; • Afkoppelen van aanvoerende stelsels kan resulteren in een nieuw kwetsbaar gebied.

3.3 Multicriteria-analyse

Per kwetsbaar gebied dient een maatregel of samenstelling van maatregelen gekozen te worden. Om te beoordelen welke maatregel het meest effectief is, worden de maatregelen beoordeeld door middel van een multicriteria-analyse. Hierin staan criteria die aan de kenmerken en eigenschappen van de maatregel worden getoetst. De criteria uit de multicriteria-analyse zijn als volgt:

- Bovengrondse inpassing;
- Ondergrondse inpassing;
- Afname van het probleem korte termijn;
- Afname van het probleem lange termijn;
- Effecten op aangrenzende gebieden;
- Kosten voor de aanleg;
- Kosten onderhoud en beheer;
- Effecten op hittestress;
- Effecten op droogte;
- Effecten op overstromingen.

Tabel 9: Criteriascore multicriteria-analyse

Per kwetsbaar gebied wordt de multicriteria-analyse ingevuld, waardoor er per maatregel een eindscore opgesteld wordt. De maatregel of maatregelen met de hoogste score zijn de maatregelen die geadviseerd worden om toe te passen. De score die per criteria wordt gegeven is gebaseerd op tabel 7.

Score	Beschrijving
1	Zeer slecht
2	Slecht
3	Gemiddeld
4	Goed
5	Zeer goed

Bovengrondse inpassing

Het criteria is gebaseerd op de inpassing van de maatregel in de huidige bovengrondse infrastructuur. Wanneer de maatregel niet of niet goed in de bovengrondse infrastructuur kan worden toegepast, resulteert dit in een lage score. Als de maatregel wel in de bovengrondse infrastructuur toegepast kan worden, levert dit een hoge score op. De score zal van groot belang zijn in de eindbeoordeling van de maatregel.

Ondergrondse inpassing

Bij dit criteria wordt gekeken naar de ondergrondse inpassing van de maatregel. Wanneer de maatregel niet in de beschikbare ondergrondse ruimte ingepast kan worden, scoort de maatregel laag. Wanneer de maatregel binnen de beschikbare ondergrondse ruimte toegepast kan worden, scoort de maatregel hoog.

Afname van het probleem korte termijn

Dit criteria is gebaseerd op de omvang en ernst van het probleem op korte termijn na het toepassen van de maatregel. De maatregel scoort hoog wanneer het probleem verholpen of geminimaliseerd is direct na het toepassen van de maatregel. De maatregel scoort laag wanneer het probleem na het toepassen van de maatregel niet of nauwelijks is verholpen.

Afname van het probleem lange termijn

Dit criteria is gebaseerd op de omvang en ernst van het probleem op lange termijn na het toepassen van de maatregel. De maatregel scoort hoog wanneer het probleem verholpen of geminimaliseerd is direct na het toepassen en na een verloop van 50 jaar nog steeds effectief is. De maatregel scoort laag wanneer het toepassen van de maatregel na verloop van tijd niet langer het gewenste effect heeft.

Effecten op aangrenzende gebieden

Omdat alle gebieden binnen de kern met elkaar in verbinding staan door middel van riolering, kan het toepassen van een maatregel in een kwetsbaar gebied effect(en) hebben op aangrenzende gebieden. Als de maatregel negatieve effecten veroorzaakt voor de aangrenzende gebieden levert dit een lage score op. Wanneer het toepassen van de maatregel positieve effecten veroorzaakt voor de aangrenzende gebieden scoort de maatregel hoog.

Realisatiekosten

Dit criteria is gebaseerd op de kosten die gemaakt worden bij het realiseren van de maatregel. De realisatiekosten bestaan uit de engineering- en uitvoeringskosten. Een arbeidsintensieve maatregel zal hoge realisatiekosten met zich mee brengen wat een lage score oplevert. Lage engineering- en uitvoeringskosten resulteren in lage realisatiekosten waardoor de maatregel een hoge score krijgt.

Onderhoud- en beheerkosten

Dit criteria is gebaseerd op de kosten die gemaakt worden na de realisatie, namelijk de onderhoud- en beheerkosten. Hierbij wordt naar een tijdsbestek van 50 jaar na realisatie gekeken. Als de onderhoud- en beheerkosten hoog zijn, zal dit de maatregel een lage score opleveren. Een hoge score wordt behaald wanneer de onderhoud- en beheerkosten laag zijn.

Effecten op hittestress, droogte en overstromingen

De maatregelen worden ontworpen naar aanleiding van het klimaatthema wateroverlast. Een voorwaarde aan de maatregelen is dat de nadelige effecten voor de overige drie klimaatthema's zo minimaal mogelijk moeten blijven. De maatregel zal hoog scoren wanneer de nadelige effecten op hittestress, droogte en overstromingen zo minimaal mogelijk zijn. Een lage score wordt behaald wanneer het toepassen van de maatregel resulteert in nadelige effecten voor hittestress, droogte en overstromingen.

4.0 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten van het onderzoek behandeld. De multicriteria-analyses waaruit het maatregelenplan voortkomt, staan in bijlage 8. Bijlage 8.1 is de leeswijzer van de multicriteria-analyses. De ingevulde multicriteria-analyses staan in bijlagen 8.2 tot en met 8.16.

4.1 Maatregelenplan

De optimale maatregelen komen voort uit de multicriteria-analyse. Deze maatregelen zijn naar voren gekomen aan de hand van de kenmerken en eigenschappen van het kwetsbare gebied. De multicriteria-analyses per gebied staan in bijlage 8. De maatregelen die het hoogste scoren in de multicriteria-analyse, de optimale maatregelen, zijn groen gearceerd. De optimale maatregelen per gebied worden in de volgende subparagrafen nader toegelicht. Om het maatregelenplan te visualiseren is een tekening gemaakt (bijlage 10) waarin de maatregelen per gebied zijn verwerkt. De effecten van de optimale maatregelen op de waterbalans van Colijnsplaat bij neerslag van 100 mm/uur, zijn toegelicht in bijlage 9. In de volgende subparagrafen worden per kwetsbaar gebied de optimale maatregelen toegelicht. Het nummer van de maatregel correspondeert met de nummers op de maatregelenkaart van bijlage 10.

4.1.1 Hovenierstraat

Voor het gebied de 'Hovenierstraat' zijn drie maatregelen opgesteld. Uit de multicriteria-analyse blijkt dat het creëren van een bergingslocatie en het aanpassen van de oppervlakkige afstroom de optimale maatregelen zijn.

- (1) De bergingslocatie wordt ter hoogte van het pad tussen Hovenierstraat 26 en De Hoge Weie 4 gecreëerd. De locatie vormt de toegang naar de achtergelegen volkstuintjes en is zeer gunstig, omdat de Hovenierstraat en naastgelegen straten afstromen richting de bergingslocatie.
- (2) Vanaf deze bergingslocatie wordt een verbinding gemaakt met het oppervlaktewater wat achter de volkstuintjes ligt. Het water zal zo oppervlakkig af kunnen stromen.
- (3) Naast deze verbinding met het oppervlaktewater wordt nog een verbinding ter hoogte van Hovenierstraat 8 gecreëerd. Het water zal zo oppervlakkig af kunnen stromen richting het bos.

4.1.2 West Havenstraat

Voor het gebied 'West Havenstraat' zijn twee maatregelen opgesteld. Uit de multicriteria-analyse blijkt dat het creëren van een bergingslocatie en het aanpassen van de oppervlakkige afstroom de optimale maatregelen zijn.

- (4) Ter hoogte van West Havenstraat 21a is de keuze om een bergingslocatie of een watergang naar De Valle te creëren. De duurste optie is het creëren van een bergingslocatie, omdat hierbij het gehele perceel gekocht moet worden. De andere optie is om een watergang langs het perceel te creëren, zodat het water oppervlakkig af kan stromen richting De Valle.
- (5) Ter hoogte van de kruising West Havenstraat – West Zeedijk zal een drempel aangelegd worden. Hiermee wordt voorkomen dat het water vanaf de West Zeedijk oppervlakkig afstroomt in de West Havenstraat. Het water zal richting De Valle worden gestuurd.

4.1.3 Colijnsplaatseweg

Voor het gebied 'Colijnsplaatseweg' zijn drie maatregelen opgesteld. Uit de multicriteria-analyse blijkt dat toepassen van een verhoogd trottoir, een hol wegprofiel en het aanpassen van de oppervlakkige afstroom de optimale maatregelen zijn.

- (6) Het toepassen van een verhoogd trottoir zorgt er voor dat het water tot een bepaalde hoogte tussen de banden blijft staan. Hierdoor stroomt het water niet meteen de voortuinen en woningen in.
- (7) Om de berging tussen de banden nog verder te vergroten, wordt er een hol wegprofiel toegepast.
- (8) Om het water wat tussen de banden blijft staan snel af te kunnen voeren, zal de oppervlakkige afstroom worden aangepast. Hierdoor kan het water op De Valle afgevoerd worden.

4.1.4 Ringweg

Voor het gebied 'Ringweg' zijn vijf maatregelen opgesteld. De Ringweg is centraal gelegen in de kern en is daarmee een belangrijk gebied. Uit de multicriteria-analyse blijken de onderstaande maatregelen optimaal te zijn voor het gebied.

- (9) De bergingslocatie wordt ter hoogte van Ringweg 18 gecreëerd. De bergingslocatie ligt op het lagergelegen gedeelte van de Ringweg, zodat het water hier oppervlakkig naar toe kan stromen.
- (10) Vanaf deze bergingslocatie wordt een verbinding gemaakt met het achtergelegen oppervlaktewater De Valle waar het water op geloosd wordt.
- (11) Het toepassen van een verhoogd trottoir zorgt er voor dat het water tot een bepaalde hoogte tussen de banden blijft staan. Hierdoor stroomt het water niet meteen de woningen of gebouwen in.
- (12) Om de berging tussen de banden nog verder te vergroten, wordt er een hol wegprofiel toegepast.
- (13) De laatste maatregel in het gebied 'Ringweg' is het aanbrengen van een hemelwaterriool. De maatregel is zeer effectief, omdat het gemengde stelsel ontlast wordt van het hemelwater. Dit komt de afvoercapaciteit ten goede, aangezien de Ringweg een belangrijke afvoerroute van het gemengde riool is.

4.1.5 Oost Havenstraat, Oost Zeedijk

Voor het gebied 'Oost Havenstraat, Oost Zeedijk' is één optimale maatregel opgesteld. Het verhogen van het trottoir bleek hier de optimale maatregel uit de multicriteria-analyse.

- (14) Om er voor te zorgen dat het water niet in de loods stroomt, is het verhogen van het trottoir hier de optimale maatregel. Door middel van inritblokken toe te passen blijft de loods begaanbaar. Momenteel wordt de loods gebruikt om jachten in te stallen. Het vervoeren van deze jachten met trailers zal niet langer mogelijk zijn, wanneer het verhoogd trottoir wordt aangelegd. Mogelijk wordt in de toekomst een andere bestemming aan de loods gegeven en kan deze maatregel wel worden toegepast.

4.1.6 Oost Kerkstraat

Voor het gebied 'Oost Kerkstraat' is één optimale maatregel opgesteld. Het verhogen van het trottoir blijkt hier de optimale maatregel uit de multicriteria-analyse.

- (15) Het gedeelte ter hoogte van Oost Kerkstraat 9 wordt verhoogd aangelegd. Hierdoor stroomt het water af in de richting van de Zuid Kerkstraat. Het verhoogd aanleggen van dit gedeelte zorgt er voor dat het hemelwater zich niet verzamelt op één punt binnen de Oost Kerkstraat.

4.1.7 Voorstraat

Voor het gebied 'Voorstraat' is één optimale maatregel opgesteld. Het toepassen van waterpasserende verharding blijkt hier de optimale maatregel uit de multicriteria-analyse.

- (16) Vanwege het monumentale aspect van de Voorstraat is het toepassen van een hol weg profiel geen oplossing. De rijbaan heeft een bol wegprofiel, waardoor het water afstroomt richting de parkeerstroken langs de rijbaan. In deze parkeerstroken wordt waterpasserende verharding toegepast.

4.1.8 Irenestraat, Kruisstraat

Voor het gebied 'Irenestraat, Kruisstraat' zijn drie optimale maatregelen. Vanwege het ruimtegebrek en hoogteligging van de kruising Irenestraat – Kruisstraat zijn het toepassen van een verhoogd trottoir en waterpasserende verharding de optimale maatregelen.

- (17) Het toepassen van waterpasserende verharding zorgt er voor dat het water op de Irenestraat afgevoerd kan worden. De waterpasserende verharding zal enkel in de rijbaan worden toegepast.
- (18) Ter hoogte van de kruising Irenestraat – Kruisstraat wordt op een gedeelte van de Kruisstraat het trottoir verhoogd waar dit nog niet toegepast is. Dit zorgt er voor dat er een berging tussen de banden wordt gecreëerd en het water niet direct de woningen binnen stroomt.
- (19) Het toepassen van waterpasserende verharding zorgt er voor dat het water op de Kruisstraat afgevoerd kan worden. De waterpasserende verharding zal enkel in de rijbaan worden toegepast.

4.1.9 West Kerkstraat, Zuid Kerkstraat

Voor het gebied 'West Kerkstraat, Zuid Kerkstraat' is één optimale maatregel opgesteld. Deze maatregel is het creëren van een bergingslocatie. De bergingslocatie is ook één van de maatregelen voor het kwetsbare gebied 'Ringweg', namelijk maatregel 9. Vanwege het ruimtegebrek in de West Kerkstraat en Zuid Kerkstraat en de oppervlakkige afstroom richting de Ringweg is de bergingslocatie ter hoogte van Ringweg 18 hier de optimale maatregel.

4.1.10 Oost Havenstraat

Voor het gebied 'Oost Havenstraat' zijn twee optimale maatregelen opgesteld. Het toepassen van waterpasserende verharding en het aanleggen van een hemelwaterriool blijken de optimale maatregelen uit de multicriteria-analyse.

- (20) Het aanleggen van een hemelwaterriool ontlast het gemengde stelsel. Het hemelwater wordt afgevoerd richting de Oost Zeedijk, waarna het geloosd wordt op het oppervlaktewater.
- (21) Het toepassen van waterpasserende verharding zorgt er voor dat het water op de Kruisstraat afgevoerd kan worden. De waterpasserende verharding zal enkel in de rijbaan worden toegepast.

4.1.11 Dokter Maasstraat

Voor het gebied 'Dokter Maasstraat' zijn drie optimale maatregelen opgesteld. Het creëren van een bergingslocatie is de optimale maatregel voor het gebied. Daarnaast zorgen maatregel 1 en 2 (gebied 'Hovenierstraat'), voor berging en afvoer van het gebied.

- (22) Ter hoogte van de Meidoornstraat en Zonnebloemstraat wordt een bergingslocatie gecreëerd. De aangrenzende straten zullen zo worden aangepast dat het water oppervlakkig kan afstromen richting de bergingslocatie.

4.1.12 Meidoornstraat, Ribesstraat, Rozenstraat, Zonnebloemstraat, Tulpstraat

Voor het gebied 'Meidoornstraat, Ribesstraat, Rozenstraat, Zonnebloemstraat, Tulpstraat' zijn vijf optimale maatregelen opgesteld. Naast de onderstaande maatregelen is maatregel 22 ook effectief in dit gebied. Vanwege de omvang van het gebied is niet enkel de maatregel met de hoogste score opgenomen in het maatregelenplan.

- (23) Het toepassen van waterpasserende verharding zorgt er voor dat het water op de Meidoornstraat afgevoerd kan worden. De waterpasserende verharding zal enkel in de rijbaan worden toegepast.
- (24) Het toepassen van waterpasserende verharding zorgt er voor dat het water op de Ribesstraat afgevoerd kan worden. De waterpasserende verharding zal enkel in de rijbaan worden toegepast.
- (25) De kruising Rozenstraat – Havelaarstraat wordt verlaagd. Hierdoor zal het water vanuit de Rozenstraat richting de Havelaarstraat, waardoor het water oppervlakkig kan afstromen richting het oppervlaktewater in de Havelaarstraat.
- (26) Wanneer het oppervlaktewater uit maatregel 25 niet voldoende bergingscapaciteit blijkt te hebben, kan het achterliggende akkerland als bergingslocatie worden gebruikt.
- (31) Het creëren van verbinding van de W.J. Klein Wassinkstraat met het oppervlaktewater zorgt voor extra afvoer in het gebied. Wanneer water op straat staat in het gebied 'Meidoornstraat, Ribesstraat, Rozenstraat, Zonnebloemstraat, Tulpstraat' en het water afstroomt richting de W.J. Klein Wassinkstraat zorgt deze verbinding met het oppervlaktewater voor een snellere afvoer.

4.1.13 Havelaarstraat

Voor het gebied 'Havelaarstraat' zijn drie optimale maatregelen opgesteld. Het toepassen van infiltratiekratten en het oppervlakkig sturen van het hemelwater blijken de optimale maatregelen volgens de multicriteria-analyse. Daarnaast heeft maatregel 26 ook een positief effect op het afvoeren en bergen van hemelwater in het gebied.

- (27) Het toepassen van infiltratiekratten onder de rijbaan in het gebied zorgt er lokaal voor dat het water afgevoerd wordt. Daarnaast zorgen de infiltratiekratten er voor dat in droge periodes genoeg water in de bodem aanwezig is.
- (28) Om de afvoer binnen het gebied te vergroten kan een verbinding worden gemaakt met het hemelwaterriool op de Oost Zeedijk.

4.1.14 Particulier terrein Oost Zeedijk 6A en 6B

Voor het particuliere terrein achter Oost Zeedijk 6A en 6B is één optimale maatregel uitgebracht. Vanwege het particuliere beheer kan de maatregel niet worden uitgevoerd, maar wordt wel het advies gegeven aan de beheerders van het terrein.

- (29) Door het terrein verhoogd aan te leggen, stroomt het water oppervlakkig af richting het naastgelegen hemelwaterriool. Het hemelwaterriool zal het hemelwater vervolgens afvoeren op het oppervlaktewater.

4.1.15 Oude Haven

Voor het gebied 'Oude Haven' is er één optimale maatregel opgesteld. Het creëren van een bergingslocatie blijkt de optimale maatregel volgens de multicriteria-analyse.

- (30) Ter hoogte van de Oude Haven wordt een bergingslocatie gecreëerd. Vanwege de hoogteligging kan enkel water van de Oude Haven geborgen worden.

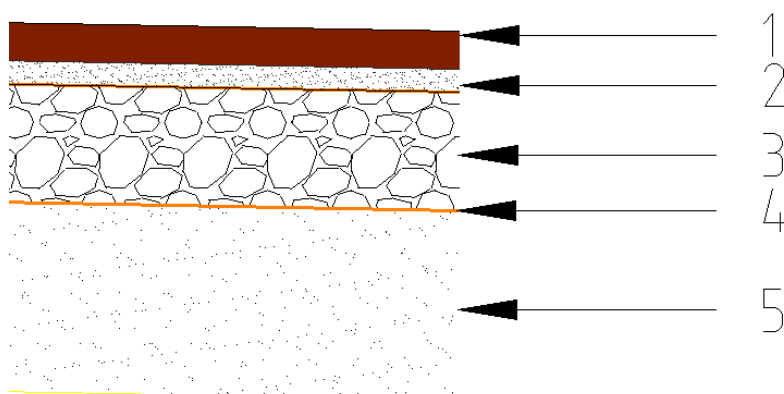
4.2 Technische uitwerking

Voor de technische uitwerking is het kwetsbare gebied Oost Havenstraat uitgewerkt. De maatregelen die in het kwetsbare gebied toegepast worden zijn:

- Waterpasserende verharding toepassen;
- Aanleg van een IT-riool.

Bijlage 11 bevat de technische uitwerking van de Oost Havenstraat. De overzichtstekening is weergegeven in bijlage 11.1. De principe doorsneden zijn weergegeven in bijlage 11.2. Hieronder worden de ontwerpkeuzes voor materialen en afmetingen kort toegelicht.

Om de maximale berging en afvoercapaciteit van de waterpasserende verharding te behalen wordt er een waterdoorlatende structuur bepaald. De waterdoorlatende structuur is afgeleid van de schets in figuur 1.



Figuur 7: Waterdoorlatende structuur

1. Waterdoorlatende betonstraatstenen
2. Straatlaag
3. Doornikse steenslag (fundering)
4. Grond dicht scheidingsdoek
5. Zand (fundering)

In de onderstaande paragrafen worden de keuzes voor de gebruikte materialen en afmetingen toegelicht.

4.2.1 Betonklinkers en voegmateriaal

De bovenste laag bestaat uit de betonklinkers en het voegmateriaal. De betonklinkers hebben een afmeting van 200 x 100 x 80 (l x b x h) millimeter. Tussen de klinkers zitten brede voegen die worden opgevuld met voegmateriaal. Het voegmateriaal moet een minimale waterdoorlatendheid van $5,4 \times 10^{-4}$ m/s hebben om het water af te voeren naar de lagen eronder. Ook moet het voegmateriaal aan een bepaalde stabiliteit voldoen zodat het voegmateriaal niet in de lagen eronder zakt. Voor het voegmateriaal wordt basalt gekozen. Dit heeft een lange levensduur in tegenstelling tot een 'zacht' voegmateriaal, waardoor de waterdoorlatendheid en stabiliteit langer behouden blijft (Febestral, 2008). Als korrelmaat wordt 2/5 mm gekozen, zodat de waterdoorlatendheid van het voegmateriaal voldoende is.

4.2.2 Straatlaag

Onder de betonklinkers en het voegmateriaal bevindt zich de straatlaag. Net als het voegmateriaal moet ook de straatlaag aan een bepaalde waterdoorlatendheid en stabiliteit voldoen. Zo moet ook de straatlaag een minimale waterdoorlatendheid van $5,4 \times 10^{-4}$ m/s hebben. In het ontwerp wordt een straatlaag van basaltsplit met dikte van 50 millimeter en een fractie van 2/8 gebruikt. Dit voldoet aan de waterdoorlatendheid- en stabiliteit eisen (Helden, Philip Van, 2013).

4.2.3 Fundering

Onder de straatlaag bevindt zich de fundering. De fundering bestaat uit de boven- en onderlaag. Beide lagen worden hieronder nader toegelicht.

Bovenlaag

De bovenlaag van de fundering vormt de constructieve laag die de rijbaan ondersteunt. De dikte van de bovenlaag wordt dan ook bepaald door de verkeersbelasting. In onderstaande tabel (tabel 1) staan vier categorieën voor verschillende verkeersbelastingen met de bijbehorende funderingsdikte.

Tabel 10: Bepaling bovenlaag fundering

Categorie	Type van verkeer			Fundering (bovenlaag)	
	Voetgangers, fietsers, bromfietzers	Lichte voertuigen ($\leq 3,5$ t)	Zware voertuigen ($> 3,5$ t)	Drainerend schraal beton	Ongebonden steenslag
I	Onbeperkt	Beperkt tot 5000 per dag	Beperkt tot 400 per dag	N.v.t.	N.v.t.
II	Onbeperkt	Beperkt tot 5000 per dag	Beperkt tot 100 per dag	20 cm	35 cm
III	Onbeperkt	Beperkt tot 5000 per dag	Beperkt tot 20 per dag	15 cm	25 cm
IV	Onbeperkt	Occasioneel	Geen	N.v.t.	15 cm

Gezien het type verkeer behoort de Oost Havenstraat tot categorie III. Dit betekent een dikte van 15 centimeter bij drainerend beton of een dikte van 25 centimeter bij ongebonden steenslag voor de bovenlaag.

Het materiaal wat gekozen wordt is Doornikse (ongebonden) steenslag met korrelmaat 14/32. De keuze voor dit materiaal is genomen met het oog op de toekomst. Wanneer werkzaamheden aan het riool verricht moeten worden, wordt de fundering opengebroken. De Doornikse steenslag is simpeler te verwijderen en vervolgens ook simpeler weer terug toe te passen. De keuze voor Doornikse steenslag houdt in dat de dikte van de bovenlaag 250 millimeter bedraagt. Om de onderlaag van Doornikse steenslag wordt een grond dicht scheidingsdoek toegepast. Hierdoor wordt de laag van Doornikse steenslag op zijn plaats gehouden en blijft het gescheiden van de aangrenzende grondlagen.

Onderlaag

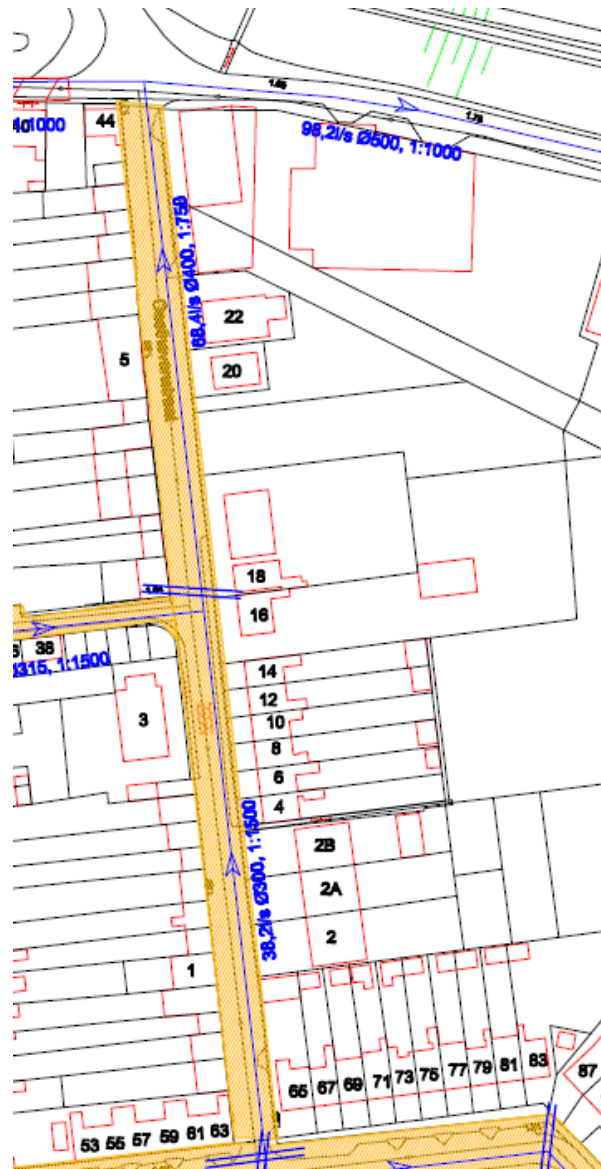
De onderlaag van de fundering heeft twee functies. Zo fungeert de onderlaag als buffer en als bescherming van inwerking van vorst in de grond onder de fundering. In de kern van Colijnsplaat bestaan de eerste lagen uit zandige klei. Kleilagen zijn erg gevoelig voor de inwerking van vorst. Daarom moet de onderlaag een bepaalde dikte hebben. De totale fundering moet een dikte hebben van 700 millimeter om de ondergrond vorstvrij te houden (NEN, 2009). Vanwege de straatlaag van 50 millimeter en bovenlaag van 250 millimeter, heeft de onderlaag een dikte van 400 millimeter. Voor de onderlaag zal drainzand worden gebruikt. Het drainzand heeft een goede doorlatendheid waardoor het hemelwater het IT-riool kan bereiken.

4.2.4 IT-riool

Het water wat in de fundering wordt opgevangen, zal via een IT-riool afgevoerd worden op het hemelwaterriool van de Oost Zeedijk. De buisdiameter van het IT-riool is bepaald aan de hand van het afkoppelplan van de gemeente Noord-Beveland (Gemeente Noord-Beveland, 2008). In het afkoppelplan staat hoeveel liter per seconde er moet worden afgevoerd door het IT-riool. De Oost Havenstraat is opgedeeld in twee delen (figuur 8). Het zuidelijke deel gaat van de kruising met de Havelaarstraat tot en met Oost Havenstraat 16. Het noordelijke deel gaat van Oost Havenstraat 18 tot de kruising met de Havenstraat.

Zo heeft het zuidelijke gedeelte een afvoer van 38,2 liter per seconde nodig. Bij het noordelijke gedeelte is een afvoer van 68,4 liter per seconde vereist. Deze waarden zijn gebaseerd op de hoeveelheid hemelwater die op het verharde oppervlak terecht komt (verharding en daken). Aan de hand van de vereiste afvoer in de straat is met behulp van verschillende formules berekend wat de juiste diameter is van het IT-riool. De berekeningen zijn toegelicht in bijlage 12.

Het zuidelijke deel van de Oost Havenstraat heeft een buisdiameter van 400 millimeter en een verhang van 1:1000. Het noordelijke deel van de Oost Havenstraat heeft een buisdiameter van 400 millimeter en een verhang van 1:1000. Voor het zuidelijke deel zou een buisdiameter van 300 millimeter ook volstaan hebben. De meerprijs van een buis met een diameter van 400 millimeter is echter relatief laag met de extra berging- en afvoercapaciteit die het biedt.



Figuur 8: Verdeling Oost Havenstraat (Gemeente Noord-Beveland, 2008)

Het IT-riool wat wordt toegepast is een geperforeerde buis die omhuld is met geotextiel. Door de openingen in de buis kan het water uit de fundering in de buis stromen, zodat het vervolgens afgevoerd kan worden. Het geotextiel om de buis zorgt er voor dat er geen zand in de buis spoelt. De afvoercapaciteit blijft daardoor zo hoog mogelijk (Kijlstra riolering, 2019). Het IT-riool moet boven de grondwaterspiegel liggen. Als het IT-riool zich onder de grondwaterspiegel bevindt, zal het grondwater worden afgevoerd wat niet gewenst is. Het polderpeil is vastgesteld op -0,70 meter t.o.v. NAP (Gemeente Noord-Beveland). Het IT-riool zal dus boven -0,70 meter t.o.v. NAP worden geplaatst. Rondom het IT-riool en in het cunet wordt drainzand toegepast. Drainzand heeft goede waterdoorlatendheid, waardoor het water uit de fundering goed kan worden afgevoerd op het IT-riool.

De werking van het IT-riool is uitgewerkt door middel van een technische tekening. De technische tekening is geen bestekstekening. De tekeningen vormen wel de start voor de besteksfase.

5.0 Conclusie en aanbevelingen

Dit hoofdstuk bevat de conclusie van het onderzoek naar de maatregelen die wateroverlast door hemelwater beperken en zorgen voor een toekomstbestendige kern van Colijnsplaat. Tot slot worden de aanbevelingen die uit het onderzoek voortkomen toegelicht.

5.1 Conclusie

In het dagelijks leven kunnen we niet meer om het topic ‘klimaatverandering’ heen. De toenemende intensiteit van neerslag als gevolg van de klimaatverandering zorgt in de toekomst voor wateroverlast in Colijnsplaat. Om de wateroverlast te beperken of minimaliseren is het opstellen van een maatregelenplan de start geweest naar het toekomstbestendig maken van de kern Colijnsplaat. De gestelde hoofdvraag in het onderzoek is:

‘Welke maatregelen beperken de wateroverlast door hemelwater en zorgen voor een toekomstbestendige kern van Colijnsplaat?’

De maatregelen zijn opgesteld aan de hand van enkele kenmerken die invloed hebben op de inpasbaarheid of effectiviteit van de maatregel. De kenmerken waaraan de maatregelen opgesteld zijn, zijn als volgt:

- Beperkte beschikbare ruimte;
- Slecht doorlatende bodem;
- Beperkt bereikbaar oppervlaktewater.

In het gehele gebied is het infiltreren van hemelwater in de bodem nagenoeg onmogelijk. Hierdoor zijn de maatregelen in het maatregelenplan vooral bovengronds. Enkele gebieden binnen de kern hebben beperkte beschikbare ruimte en geen mogelijkheid om op het oppervlaktewater af te voeren. Dit zorgde er voor dat niet altijd de oplossing bovengronds gevonden kon worden. In deze gebieden was het zake om het water vertraagd af te voeren met bijvoorbeeld waterpasserende verharding.

De huidige situatie kampt met een bergingstekort van 60,49%. Na realisatie van de maatregelen zal het bergingstekort worden teruggedrongen tot 28,73%. Hieruit blijkt dat de bergingscapaciteit binnen de kern met 31,76% vergroot wordt.

5.2 Aanbevelingen

Tijdens het onderzoek is het rioolstelsel niet dynamisch berekend. Voor het realiseren van de maatregelen die vermeld staan in het maatregelenplan, wordt geadviseerd een dynamische berekening nog wel uit te voeren. Het dynamisch door rekenen van het rioolstelsel geeft een beter inzicht in de effectiviteit van de maatregelen en de interactie tussen kwetsbare gebieden. Mogelijk kunnen hier nieuwe maatregelen uit voort komen of aanpassingen op de maatregelen uit het maatregelenplan.

In het proces van het realiseren van de toekomstbestendige kern wordt geadviseerd om te starten met de gebieden die een hoge prioriteit hebben (bijlage 7). Het aanpakken van de gebieden met een hoge prioriteit heeft op korte termijn het grootste effect op de wateroverlast.

6.0 Bibliografie

- Actueel Hoogte Bestand Nederland. (2019). *Opgeroepen op maart 20, 2019, van Actueel Hoogtebestand Nederland*: <http://www.ahn.nl>
- Bodemrichtlijn. (2019). *In situ sanering, doorlatendheid van de bodem*. Opgeroepen op april 15, 2019, van Richtlijn herstel en beheer (water)bodemkwaliteit: <https://www.bodemrichtlijn.nl/Bibliotheek/bodemsaneringstechnieken/b-in-situ-reiniging/b1-algemene-aspecten-in-situ-reiniging/in-situ-sanering-doorlatendheid-van-de-bodem>
- Enka-solutions. (2019). *Bezinkputten en waterdoorlatende bestrating t.b.v. wadi's*. Opgeroepen op mei 6, 2019, van enka-solutions.com: <https://enka-solutions.com/nl/toepassingen/milieu-infrastructuur/bezinkputten-en-waterdoorlatende-bestrating-tbv-wadi-s/>
- Enka-solutions. (2019). *Milieu-Infrastructuur*. Opgeroepen op mei 6, 2019, van Enka-solutions.com: https://enka-solutions.com/media/3027/solution-overview_environment_nl.pdf
- Febestral. (2008). *Waterdoorlatende verhardingen met betonstraatstenen*. Opgeroepen op mei 21, 2019, van stradus.be: <https://www.stradus.be/pdf/documentatie/febestral-waterdoorlatende-betonstraatstenen-nl.pdf>
- Gemeente Noord-Beveland. (2008). *Afkoppelplan Colijnsplaat Stelseontwerp en potentieel*. Wissenkerke: Gemeente Noord-Beveland. Opgeroepen op mei 20, 2019
- Gemeente Noord-Beveland. (2017). *Inventarisatie (toekomstige) wateroverlast locaties*. Wissenkerke. Opgeroepen op februari 11, 2019
- Gemeente Noord-Beveland. (sd). *Polderpeilen Noord-Beveland*. Gemeente Noord-Beveland. Opgeroepen op mei 21, 2019
- Gemeente Roermond. (2019). *Water Afvoer Door Infiltratie (wadi)*. Opgeroepen op mei 8, 2019, van Roermond.nl: [https://www.roermond.nl/4/Natuur/Natuur-Water/Water-Afvoer-Door-Infiltratie-\(wadi\).html](https://www.roermond.nl/4/Natuur/Natuur-Water/Water-Afvoer-Door-Infiltratie-(wadi).html)
- Google Maps. (2019). Opgeroepen op april 16, 2019, van Google Maps: <https://www.google.nl/maps/>
- Harry van Luijtelaaar. (2015, juli 1). *Impact extreme neerslag stedelijk gebied: waarom en met welke buien?* Opgeroepen op april 15, 2019, van Riool.net: <https://www.riool.net/-/impact-extreme-neerslag-stedelijk-gebied-waarom-en-met-welke-buien->
- Helden, Philip Van. (2013). *Onderzoek naar de waterdoorlatendheid van bestratingen in functie van de tijd*. Hasselt: Universiteit Hasselt, KU Leuven. Opgeroepen op mei 21, 2019
- HZ University of Applied Science. (2016). *Thesis manual Delta Academy 2018-2019*. Vlissingen: Reproservice HZ. Opgeroepen op mei 7, 2019
- Kennisportaal Ruimtelijke Adaptie. (2019, januari). *Bijsluiter gestandaardiseerde stresstest Ruimtelijke Adaptie*. Opgeroepen op mei 15, 2019, van ruimtelijkeadaptie.nl: <https://ruimtelijkeadaptatie.nl/stresstest/bijsluiter/>
- Kijlstra riolering. (2019). *IT Buizen*. Opgeroepen op mei 21, 2019, van Kijlstra.eu: <https://www.kijlstra.eu/betonbuizen/it-buizen/>

- Klimaat-effectatlas Wateroverlast*. (2019). Opgeroepen op april 15, 2019, van klimaat-effectatlas.nl: <http://www.klimaat-effectatlas.nl>
- Klimaatverandering*. (2019). Opgeroepen op februari 22, 2019, van Milieucentraal: <https://www.milieucentraal.nl/klimaat-en-aarde/klimaatverandering/>
- MBI. (2019). *Waterpasserende bestrating*. Opgeroepen op mei 6, 2019, van mbi.nl: <https://www.mbi.nl/infra/systemen/waterpasserende-bestrating/>
- NEN. (2009). NEN-EN 1997-1. In N. Normalisatie-instituut, *Geotechnisch ontwerp van constructies*. Delft: Nederlands Normalisatie-instituut. Opgeroepen op mei 21, 2019
- NU-Adviesbureau. (2013). *Verhard oppervlak Noord-Beveland inventarisatie kernen*. NU-Adviesbureau. Opgeroepen op februari 8, 2019
- Rainproof-Amsterdam. (2019). *Vergroten riooldiameter*. Opgeroepen op april 30, 2019, van Rainproof: <https://www.rainproof.nl/toolbox/maatregelen/vergroten-riooldiameter>
- Rainproof-Amsterdam. (2019). *Waterpasserende verharding*. Opgeroepen op april 24, 2019, van Rainproof: <https://www.rainproof.nl/toolbox/maatregelen/waterpasserende-verharding>
- Rijkswaterstaat. (1988). *Handleiding wegenbouw ontwerp hemelwaterafvoer*. Delft: Ministerie van verkeer en waterstaat. Opgeroepen op april 30, 2019, van <http://publicaties.minienm.nl/documenten/handleiding-wegenbouw-ontwerp-hemelwaterafvoer>
- RIONED. (2004, augustus 28). *Module C2100*. Opgeroepen op februari 6, 2019, van RIONED: https://www.nelen-schuurmans.nl/turtle/C2100_Rioleringsberekeningen_hydraulisch_functioneren.pdf
- RIONED. (2016, juli 1). *Regenwatervoorzieningen op eigen terrein, wat werkt (niet)?* Opgeroepen op april 24, 2019, van riool.net: <https://www.riool.net/-/regenwatervoorzieningen-op-eigen-terrein-wat-werkt-niet->
- RIONED. (2018, mei 17). *Bemalingsgebied*. Opgeroepen op mei 15, 2019, van GWSW Ontologie: <https://data.gws.nl/Bemalingsgebied/>
- STOWA. (2018, oktober 15). *Adviesnotitie referentie neerslaggebeurtenissen t.b.v. stresstest wateroverlast*. Opgeroepen op mei 6, 2019, van <https://www.stowa.nl/sites/default/files/assets/PUBLICATIES/Publicaties%20diversen/20180614%20Notitie%20stresstest.pdf>
- van Herwijnen, F., Leijendeckers, P., de Roeck, G., Schwippert, G., & Verbakel, Y. (2010). *Polytechnisch Zakboek* (52 ed.). Doetinchem, Nederland: Reed Business. Opgeroepen op mei 8, 2019