

MIFA anticipeert, afwachten is geen optie

Een advies om de kans op
hemelwateroverlast te verminderen



Versie:	Definitief
Datum:	7 juni 2018
Auteurs:	Leon van den Berg Nicole van der Meer
Opdrachtgever:	MIFA Aluminium b.v

MIFA anticipeert, afwachten is geen optie

Een advies om de kans op hemelwateroverlast te verminderen

Bachelor scriptie

Auteurs:	Leon van den Berg Nicole van der Meer
E-mailadres:	Leon.vandenberg@outlook.com Nicole.vandermeer@hvhl.nl
Opleiding:	Land- & Watermanagement
Onderwijsinstelling:	Van Hall Larenstein
Begeleider:	P. Groenhuijzen
E-mailadres:	Peter.groenhuijzen@hvhl.nl
Opdrachtgever:	MIFA Aluminium b.v.
Externe begeleider:	JK. Koel
E-mailadres:	Jaap-kees.koel@MIFA.nl
Afstudeerperiode:	Februari t/m juni 2018 Venlo, 7 juni 2018

Voorwoord

Voor u ligt de scriptie 'Titel'. Het onderzoek naar de meest efficiënte wijze om de kans op hemelwateroverlast te verminderen is uitgevoerd bij MIFA Aluminium b.v. in Venlo. De scriptie is geschreven in kader van ons afstuderen aan de opleiding Land en Watermanagement aan Van Hall Larenstein in Velp en in opdracht van MIFA Aluminium b.v. Dit rapport is geschreven voor belanghebbende binnen MIFA Aluminium b.v., de begeleidende docent en beoordelaars van Hogeschool Van Hall Larenstein. In de periode februari tot juni 2018 is de scriptie opgesteld.

Het traject van dit onderzoek heeft ons leren omgaan met het doen van een eigen onderzoek. Daarom willen wij bij dezen onze begeleiders die ons tijdens het afstudeertraject hebben bijgestaan danken. Jaap-Kees Koel en Peter-Jan Coumans vanuit MIFA Aluminium b.v. en Peter Groenhuijzen vanuit Van Hall Larenstein. De begeleiders en de directie vanuit MIFA Aluminium b.v. waren betrokken van het begin tot het eind van het onderzoek. Dit gaf ons een gevoel van waardering in het proces van het onderzoek.

Peter Groenhuijzen willen wij danken voor de fijne feedback momenten en de interne hulp wanneer de voortgang van het onderzoek dreigde vast te lopen.

Tevens willen wij Lara Savelkoul, Gert Middel en Jacques Vrusch vanuit Waterschap Limburg en Erik Lammers van Lammerswater danken voor het meedenken bij onze scriptie. Voor het geleende materiaal dat benodigd was bij de grondboringen en het inmeten van het terrein willen wij Erwin Roeterd danken.

Wij wensen u veel leesplezier toe,

Leon van den Berg & Nicole van der Meer
Venlo, 7 juni 2018

Samenvatting

Rondom het terrein van MIFA Aluminium b.v. is steeds frequenter sprake van water op straat. De toename hiervan wordt gezien als een dreiging voor de continuïteit van de productie. Het afwateringssysteem op het terrein van MIFA Aluminium b.v. functioneert niet naar behoren. Bij extreme neerslag ontstaat er een kans op hemelwateroverlast.

Het doel van dit onderzoek is om de oorzaak van water op straat te achterhalen en een advies uit te brengen om de kans op hemelwateroverlast te verminderen. Hiervoor is de volgende onderzoeksvraag opgesteld: *“Wat is de meest doelmatige en efficiënte wijze om de kans op hemelwateroverlast op het terrein van MIFA Aluminium b.v. te verminderen?”*

MIFA Aluminium b.v. is aangesloten op een gescheiden rioolstelsel. Omdat de documentatie over het onderhoud en ligging van het rioolstelsel van MIFA onvolledig is, is het rioolstelsel van het bedrijf zelf niet verder onderzocht.

De oorzaak van water op straat bestaat uit een combinatie van oorzaken. Bij extreme neerslag ontstaat er op de laaggelegen straten, onder andere de Deltakade, opwaartse waterdruk in het hemelwaterstelsel vanuit de hoger gelegen straten. Door druk in het hemelwaterstelsel komt hemelwater via de straatkolken omhoog. Naast druk in het hemelwaterstelsel vindt er oppervlakkig afstroming plaats. Het water stroomt dan van hoger gelegen straten naar de lager gelegen straten. Daarnaast zijn de straatkolken niet/nauwelijks onderhouden, waardoor neerslag niet optimaal afgevoerd kan worden richting het riool. Tijdens de aanleg van het rioolstelsel van Venlo Trade Port is geen rekening gehouden met het veranderen van het klimaat. De bui waar het rioolstelsel op gedimensioneerd is valt vandaag de dag vaker en extremere varianten hierop komen steeds frequenter voor. Het industrieterrein bestaat uit een hoog percentage verharding wat het infiltreren van hemelwater op het eigen terrein lastig maakt. Het rioolstelsel wordt plaatselijk overbelast door invloed vanuit de omgeving waardoor hemelwater tijdelijk boven het straatniveau geborgen wordt (water op straat).

Ondanks dat het terrein van MIFA voor 98% verhard is, zijn de oplossingsrichtingen vasthouden en bergen toch mogelijk. Dit zijn de eerste twee oplossingsrichtingen van de VBA-voorkeurstrategie die opgesteld is door de Commissie Waterbeheer. Van alle maatregelen die passen bij de oplossingsrichting blijkt een combinatie van een greppel met infiltratiebuizen het efficiëntst. Echter is dit niet overal mogelijk, het is niet gewenst dat parkeerplekken verdwijnen. Het projectgebied is daarom in drie deelgebieden opgesplitst. In deelgebied 1 bij de hoofdingang van MIFA is de dreiging tot hemelwateroverlast minder dan aan de Deltakade. Deelgebied 2 en 3 liggen aan de Deltakade. Er is een ontwerp opgesteld voor de drie deelgebieden. Deelgebied 1 kan een bui van 30 mm bergen en deelgebieden 2 en 3 kunnen een bui bergen van 50 mm. Dit onderscheid is gemaakt omdat de dreiging tot hemelwateroverlast in deelgebied 1 lager is dan in deelgebied 2 en 3. Het aantal te bergen mm neerslag per deelgebied is bovenop de standaard 20 mm per uur dat via het rioolstel afgevoerd kan worden en het hemelwater dat op straat tussen de trottoirbanden geborgen kan worden. De maatregelen die gebruikt zijn voor de deelgebieden van het efficiëntste ontwerp zijn: greppels in combinatie met verticale infiltratiebuizen, waterdoorlatende verharding, verlaging van het maaiveld en infiltratiekratten.

Inhoud

	Figuren	9
	Tabellen	10
	Begrippenlijst	11
1.	Inleiding	13
1.1	Aanleiding	13
1.2	Probleemstelling	13
1.3	Onderzoeksdoel	14
1.4	Afbakening	14
1.5	Leeswijzer	15
1.6	Methode	16
2.	Het watersysteem	17
2.1	Riolering	17
2.2	Bodemopbouw	18
2.3	Grondwater	19
2.4	De Maas	20
3.	Water op straat	21
3.1	De oorzaak	21
3.2	Onderhoud straatkolken	21
3.3	Waterdruk	22
3.4	Verhard oppervlakte	22
3.5	Toename intensiteit buien	22
3.6	Oppervlakkige afstroming	22
4.	Ruimtelijke ontwikkeling en ambities	25
4.1	Visie van de gemeente Venlo omtrent de waterhuishouding	25
4.2	Visie Stichting RIONED	27
4.3	MIFA Aluminium b.v.	28
4.4	Meer Maas, Meer Venlo	28
5.	Oplossingsrichtingen	29
5.1	Vasthouden	29
5.2	Bergen	29
5.3	Afvoeren	29
5.4	Tegenhouden	30
5.5	Geschikte oplossingsrichting	30
6.	Maatregelen	31
6.1	Toepasbare maatregelen	31
6.3	Meest geschikte maatregelen	35
7.	Terreininrichting	37
7.1	Uitgangspunten	37
7.2	De inpassing van de maatregelen	37
7.3	Het meest geschikte ontwerp	44
8.	Conclusie	45
9.	Aanbevelingen	47
9.1	Straatkolken onderhouden	47
9.2	Collectief bergen	47
9.3	Rioolrevisie	47
	Literatuurlijst	49

Bijlagen

A.	Reflectie	5
A.1	Nicole	5
A.2	Leon	6
B.	Het watersysteem	7
B.1	Boorstaten	7
B.2	Locatie grondwatermeetpunt	10
B.2	Waterstand Maas 2000-2018	11
C.	Water op straat	13
C.1	Buien	13
C.2	Verloop buien	14
C.3	Foto's 1 juni 2016	15
C.4	Foto's 18 september 2017	16
C.5	Foto's 10 april 2018	16
C.6	Inspectie straatkolken	17
D.	Ruimtelijke ontwikkeling en ambities	19
D.1	Projectgrenzen Meer Maas, Meer Venlo	19
E.	Maatregelen	21
E.1	Uitgangspunten berekeningen	21
E.2	Wadi	22
E.3	Infiltratiestrook	24
E.4	Greppel	25
E.5	Infiltratiekratten	28
E.6	Waterdoorlatende verharding	29
E.7	Verticale infiltratiebuizen	31
F.	Terreininrichting	33
F.1	Berekening deelgebied 1	33
F.2	Berekening deelgebied 2	34
F.3	Berekening deelgebied 3	35
F.4	Ontwerp deelgebied 1	37
F.5	Ontwerp deelgebied 2	39
F.6	Ontwerp deelgebied 3	41
	Literatuurlijst	43

Bijlagen zijn geleverd in een apart document

Figuren

Figuur 1 Locatie MIFA Aluminium b.v.	12
Figuur 2 Water op straat op 1 juni 2016 (Thijssen, 2016).....	13
Figuur 3 Water op straat op 7 juni 2016 (Van den Beuken, 2016).....	13
Figuur 4 Stroomschema inhoud rapport.....	15
Figuur 5 Gemeentelijke hemelwaterstelsels rondom MIFA	17
Figuur 6 Hemelwaterstelsel MIFA	17
Figuur 7 Boorstaat.....	18
Figuur 8 Grondwaterstand 2013 - 2018	19
Figuur 9 Stroomgebied van de Maas	20
Figuur 10 Overstromingskans Maasdal nabij Venlo	20
Figuur 11 Dichtgeslibde straatkolk	21
Figuur 12 Bladafval in een straatkolk	21
Figuur 13 Schematische weergave van water op straat door waterdruk en hoogteverschil	22
Figuur 14 Straatpeil t.o.v. NAP.....	23
Figuur 15 Oppervlakkige afstroming van hemelwater.....	23
Figuur 16 Ontwikkeling van extreme buien (Van Luijtelaa & Goedbloed, 2018).....	27
Figuur 17 Beging riool en water op straat (Van Luijtelaa & Goedbloed, 2018)	27
Figuur 18 Voorkeurstrategie vasthouden, bergen en afvoeren (Provinciehuis Drenthe, z.d.).....	29
Figuur 19 Dwarsprofiel wadi (Groenblauwenetwerken, z.d.) (Groenblauwenetwerken, z.d.).....	32
Figuur 20 Dwarsdoorsnede infiltratiestrook (Groenblauwenetwerken, z.d.)	33
Figuur 21 Dwarsdoorsnede greppel (Groenblauwenetwerken, z.d.)	33
Figuur 22 Dwarsdoorsnede infiltratiekratten (Groenblauwenetwerken, z.d.).....	33
Figuur 23 Dwarsdoorsneden waterdoorlatende verharding (Groenblauwenetwerken, 2009)	34
Figuur 24 Dwarsdoorsnede verticale infiltratiebuis (Groenblauwenetwerken, z.d.).....	34
Figuur 25 Deelgebieden	36
Figuur 26 Functiekaart terrein MIFA	36
Figuur 27 Sfeerbeeld infiltratiekratten onder parkeerplaatsen deelgebied 1 (La Faille, 2017)	38
Figuur 28 Aanlegkosten deelgebied 1.....	39
Figuur 29 Lengteprofiel infiltratiekratten onder het parkeerterrein	39
Figuur 30 Sfeerbeeld greppel deelgebied 2 (Achter de breedte sloot, z.d.)	40
Figuur 31 Sfeerbeeld waterdoorlatende verharding deelgebied 2 (Van de Bosch Beton b.v., z.d.)... 40	40
Figuur 32 Dwarsprofiel greppel deelgebied 2	40
Figuur 33 Aanlegkosten deelgebied 2.....	41
Figuur 34 Onderhoudskosten per jaar deelgebied 2.....	41
Figuur 35 Sfeerbeeld greppel deelgebied 3 (WaterWindow, z.d.)	42
Figuur 36 Dwarsdoorsnede greppel deelgebied 3	42
Figuur 37 Aanlegkosten deelgebied 3.....	43
Figuur 38 Onderhoudskosten per jaar deelgebied 3.....	43

Tabellen

Tabel 1 Grondwaterstanden.....	19
Tabel 2 Acceptatieniveau water gemeente Venlo (Gemeente Venlo, 2014).....	26
Tabel 3 De maatregelen met bijbehorende kosten per m ² en berging per m ³	32
Tabel 4 Totale oppervlakte van de deelgebieden	37
Tabel 5 Maatregelen per deelgebied	44
Tabel 6 Kosten per deelgebied	44

Begrippenlijst

Dijkteruglegging

De rivier meer ruimte geven door de waterkering te verleggen.

Dijktraject

Gedeelte van een primaire waterkering dat afzonderlijk genormeerd is.

Emissies

Lozing van stoffen, in deze context lozing van vuil water uit het vuilwaterriool.

Gemeentelijk rioleringsplan (GRP)

In het gemeentelijk rioleringsplan omschrijft de gemeente haar beleid rondom het stedelijk waterbeheer en wijze waarop dit financieel is vertaald.

Gemengd rioolstelsel

Rioolstelsel waarbij vuilwater en hemelwater tegelijk in een systeem getransporteerd worden.

Gescheiden rioolstelsel

Rioolstelsel waarbij vuilwater en hemelwater gescheiden getransporteerd worden.

Hemelwater

Water wat door middel van neerslag op het terrein terecht komt, ook wel regenwater genoemd.

Hemelwaterriool

Een rioolstelsel dat regenwater transporteert naar een plek waar regenwater geïnfiltreerd of geborgen kan worden. Wordt ook HWA (hemelwaterafvoer) genoemd.

Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP)

Het programma waarin waterschappen en Rijkswaterstaat maatregelen uitvoeren om ervoor te zorgen dat inwoners droge voeten houden tijdens hoogwater.

Meerjarenprogramma Infrastructuur, Ruimte en Transport

Het programma van het Ministerie Infrastructuur en Waterstaat waarin rijksprojecten/-programma's zijn opgenomen ter verbetering van de ruimtelijke inrichting van Nederland.

Nat oppervlak

Het oppervlak van de dwarsdoorsnede dat onder de waterspiegel ligt. In dit adviesrapport de dwarsdoorsnedes van maatregel.

Overstromingskans

De kans op het falen van het waterkerend vermogen van een dijktraject waardoor het achterliggende gebied zodanig overstroomt dat dit leidt tot dodelijke slachtoffers en/of economische schade.

Poriëngehalte

De ruimte tussen de gronddeeltjes van de grond, deze ruimte kan gevuld zijn met lucht of water.

Primaire waterkering

Waterkering die beveiliging biedt tegen overstromingen door buitenwater.

Vuilwaterriool

Een rioolstelsel dat vervuild water vanuit toiletgebouwen en ander afvalwater transporteert naar een rioolzuiveringsinstallatie of een overstortpunt. Wordt ook DWA (droogweerafvoer) genoemd.

Watersysteem

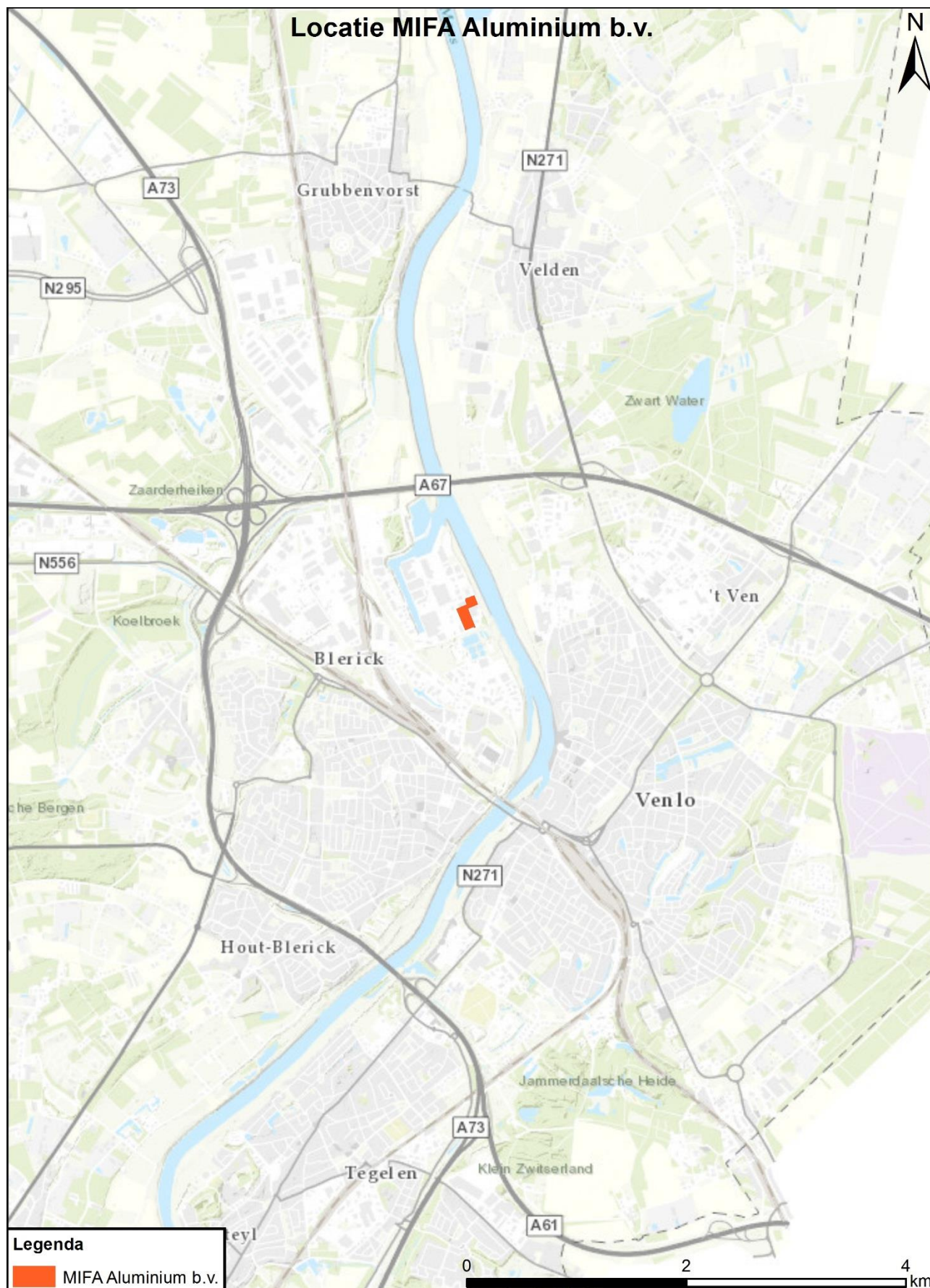
Een geheel van oppervlakte- en grondwaterlichamen. Hierbij behoren waterkeringen, kunstwerken en gebieden waar waterberging gebruikt wordt.

Waterwet

Een wet die gericht is op het voorkomen/beperken van overstromingen, overlast en waterschaarste door het regelen van het beheer van waterkeringen, oppervlaktewater en grondwaterlichamen.

Water op straat

Men spreekt van water op straat wanneer het waterstandsniveau in het riool hoger is dan het maaiveld/putdekselniveau zonder dat daar overlast van is.



Figuur 1 Locatie MIFA Aluminium b.v.

1. Inleiding

1.1 Aanleiding

Het bedrijf MIFA Aluminium b.v. (hierna MIFA) heeft geconstateerd dat de afgelopen jaren vaker water op straat optreedt bij extreme neerslag. Het steeds frequenter voorkomen van water op straat nabij het pand heeft voor de nodige vraagtekens gezorgd omtrent de continuïteit van de productie bij wateroverlast als gevolg van extreme neerslag. Wereldwijd verandert het klimaat als gevolg van onder andere de toenemende uitstoot van broeikasgassen (Milieu centraal, z.d.). De opwarming van de aarde resulteert in Nederland in een verschuiving van de weersextremen. De hedendaagse buien worden korter en intensiever. Nieuwsberichten over hemelwateroverlast zijn anno 2018 eerder regel dan uitzondering.

MIFA is een toonaangevend bedrijf in het produceren van aluminiumprofielen. MIFA is gevestigd op het bedrijventerrein Venlo Trade Port op de westoever van de Maas, zie Figuur 1. Het aantal bedrijven dat zich vestigen op bedrijventerrein Venlo Trade Port is sinds de aanleg in 1974 groeiende, dit komt mede door de tactische ligging nabij de Duitse grens en de Maas.

1.2 Probleemstelling

Het bedrijventerrein van Venlo Trade Port bestaat voornamelijk uit verhard oppervlak en door de aangroeiende industrie in de regio neemt het verharde oppervlak alleen maar toe. Tijdens de dimensionering van het rioolstelsel en aanleg van bedrijfspanden is nauwelijks rekening gehouden met het veranderende klimaat en het toenemende verhard oppervlak wat met enige regelmaat resulteert in water op straat en in mindere mate tot wateroverlast. Het terrein van MIFA zelf is voor 98% verhard. Naast het verharde oppervlak neemt in de toekomst de intensiteit van kortstondige buien toe, waardoor er tijdens een bui extreem veel neerslag valt wat het riool niet in een keer kan bergen.

In een tijdsbestek van 20 jaar heeft MIFA het aantal keren water op straat zien toenemen van eens in de 2-3 jaar naar 2-3 keer per jaar (J. Simais, persoonlijke communicatie, 10 april 2018). Het is aannemelijk dat binnen nu en afzienbare tijd de productie van MIFA stil gelegd wordt door hemelwateroverlast met alle economische gevolgen van dien. Buiten de materiele schade, voornamelijk specialistische machines, ligt de productie bij hemelwateroverlast naar verluidt 2 weken stil (R. van Oene, persoonlijke communicatie, 12 april 2018). Figuur 2 en Figuur 3 geven de situatie op de Deltakade weer tijdens water op straat.



Figuur 2 Water op straat op 1 juni 2016 (Thijssen, 2016)



Figuur 3 Water op straat op 7 juni 2016 (Van den Beuken, 2016)

1.3 Onderzoeksdoel

Dit onderzoek heeft het doel om MIFA inzicht te geven in de oorzaak van water op straat en hoe daar in de toekomst mee omgegaan kan worden zodat het risico op wateroverlast door overtollig hemelwater verminderd wordt. Het streven is daarbij te komen tot doelmatige en efficiënte oplossingen. Doelmatig wil zeggen dat de oplossingen aantoonbaar bijdragen aan een duurzame verwerking van het hemelwater. Efficiënt wil zeggen dat de oplossingen eenvoudig en zo kosten efficiënt mogelijk zijn.

Het voorgaande leidt tot de volgende vraagstelling: *"Wat is de meest doelmatige en efficiënte wijze om de kans op hemelwateroverlast op het terrein van MIFA te verminderen?"*

Om de centrale vraag te kunnen beantwoorden zijn de volgende deelvragen opgesteld:

- Hoe functioneert het huidige watersysteem waar MIFA onderdeel van is?
- Wat is de oorzaak van water op straat in de nabije omgeving van het terrein van MIFA?
- Wat zijn de plannen/ambities met betrekking tot de waterhuishouding rondom het projectgebied?
- Wat zijn doelmatige oplossingsrichtingen om water op straat te verminderen?
- Welke maatregelen passen het best bij de oplossingsrichting?
- Wat is het meest efficiënte ontwerp om water op straat te verminderen?

1.4 Afbakening

Binnen dit onderzoek is het onderwerp op vier niveaus afgebakend. De vier niveaus die worden onderkent in dit onderzoek zijn:

Eigen terrein MIFA

op het terrein van MIFA wordt onderzocht welke maatregelen getroffen dienen te worden en waar. Daarnaast wordt het functioneren van het huidige watersysteem in kaart gebracht. Met het terrein van MIFA wordt het gebied tussen de kadastrale grenzen dat tot het eigendom van MIFA behoort bedoeld. Maatregelen die toegepast kunnen worden buiten de perceelgrenzen van MIFA vallen buiten het kader van dit onderzoek.

De Maas

Betreffende de ruimte ambities/plannen voor de Maas wordt enkel gekeken naar projecten die direct invloed hebben op het terrein van MIFA.

Rioolstelsel

Het kader omtrent het rioolstelsel is het rioolstelsel waar MIFA op aangesloten is. Hydraulische berekeningen vallen buiten de scope van dit onderzoek. Het onderzoek beperkt zich tot het inventariseren van de ligging/werking van het stelsel en het beleid omtrent de gemeentelijke watertaken. Een inspectie naar de staat van het stelsel valt niet binnen het kader van dit onderzoek.

Kosten

Alle bedragen die in dit rapport benoemd worden zijn ter indicatie. Deze kosten zijn gebaseerd op gegevens van Stichting RIONED en GWWkosten.

1.5 Leeswijzer

Dit rapport bestaat uit de volgende hoofdstukken en is in dezelfde volgorde opgebouwd (zie Figuur 4):

Het watersysteem. In dit hoofdstuk staat beschreven van welk watersysteem MIFA deel uit maakt en wat voor invloed dit heeft op het terrein van MIFA. Dit hoofdstuk geeft meer inzicht in de werking van het systeem en geeft antwoord op de vraag: *“Hoe functioneert het huidige watersysteem waar MIFA onderdeel van is?”*

Water op straat. Aan de hand van een viertal buien waarbij water op straat is ontstaan, is onderzocht wat de oorzaak hiervan is. Dit hoofdstuk beantwoordt de deelvraag: *“Wat is de oorzaak van water op straat in de nabije omgeving van het terrein van MIFA?”*

Ruimtelijke ontwikkeling en ambities. Hoofdstuk 4 geeft inzicht in de ruimtelijke ambities/plannen die direct en indirect betrekking hebben op de waterhuishouding rondom het terrein van MIFA. Middels rapporten over het gemeentelijke rioleringsplan, Meer maas meer Venlo, Visie Rioned en gesprekken met de directie van MIFA wordt antwoord gegeven op de vraag: *“Wat zijn de ruimtelijke plannen/ambities met betrekking tot de waterhuishouding rondom het projectgebied?”*

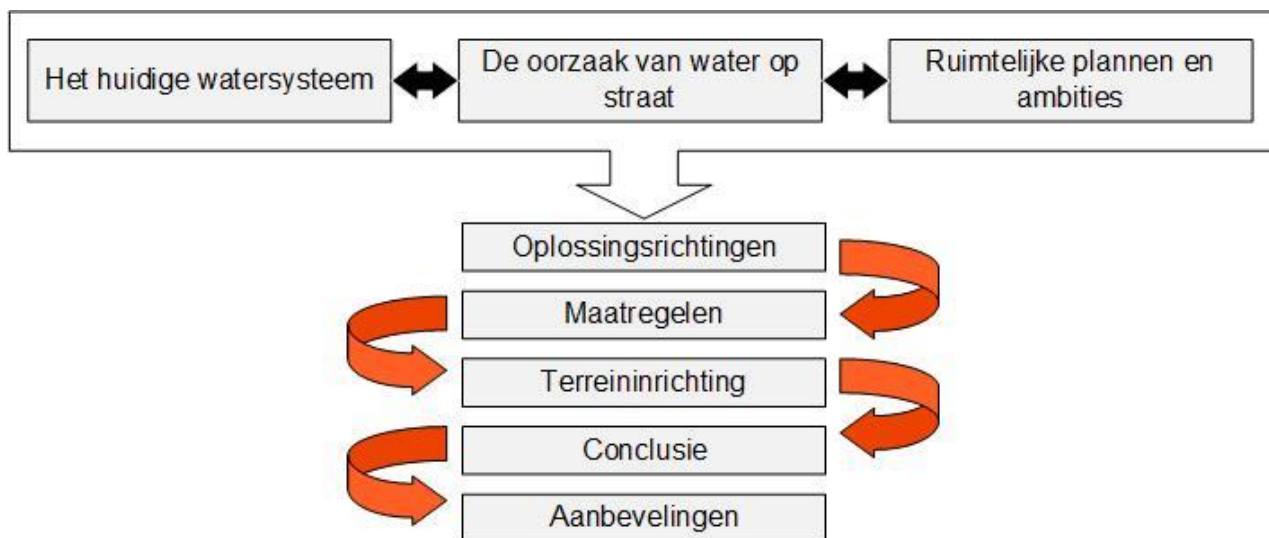
Oplossingsrichtingen. Door middel van hoofdstukken het watersysteem, water op straat en ruimtelijke ontwikkelingen en ambities zijn oplossingsrichtingen opgesteld die water op straat bij MIFA kunnen verminderen. In dit hoofdstuk staat ook beschreven waarom bepaalde oplossingsrichtingen verder in het onderzoek uitgesloten worden. Hier wordt antwoord gegeven op de vraag: *“Wat zijn de mogelijke oplossingsrichtingen om water op straat te verminderen?”*

Maatregelen. Dit hoofdstuk geeft inzicht in de mogelijke maatregelen bij de geadviseerde oplossingsrichting. Daarmee wordt antwoord gegeven op de deelvraag: *“Welke maatregelen passen het best bij de oplossingsrichting?”*

Terreininrichting. In hoofdstuk 7 staat het meest efficiënte ontwerp van het terrein centraal waarbij onderzocht is op welk punt het aantal millimeter te bergen neerslag relatief het goedkoopst is. In dit hoofdstuk wordt antwoordgegeven op: *“Wat is het meest efficiënte ontwerp om water op straat te verminderen rondom het terrein van MIFA?”*

Conclusie. In de conclusie komen de resultaten uit de voorgaande hoofdstukken bijeen en geven samen een antwoordt op de hoofdvraag: *“Wat is de meest doelmatige en efficiënte wijze om de kans op hemelwateroverlast op het terrein van MIFA te verminderen?”*

Aanbevelingen. Bij de aanbevelingen wordt geadviseerd welke maatregelen de opdrachtgever moet nemen om zo effectief mogelijk de kans op hemelwateroverlast te verminderen in de periode na dit onderzoek.



Figuur 4 Stroomschema inhoud rapport

1.6 Methode

Desktopresearch

Aan de hand van websites en rapporten is de benodigde informatie verkregen om het beleid van het huidige hemelwaterstelsel van de gemeente te inventariseren en de oorzaak van water op straat te onderzoeken. De websites die voornamelijk zijn gebruikt zijn: Dinoloket, Groenblauwenetwerken, GRP Venlo 2014-2023, GWWkosten, KNMI, Rijkswaterstaat en Stichting RIONED. Op de website Groenblauwenetwerken is de informatie over de toepasbare maatregelen verkregen. De website van Stichting RIONED is benaderd voor aanlegkosten, beheer en onderhoudskosten en de hoeveelheid te creëren berging per maatregel in combinatie met GWWkosten. Dinoloket is gebruikt voor de gegevens van de grondwaterstanden in de buurt van MIFA. Op de website van Rijkswaterstaat zijn de benodigde waterstanden van de Maas verkregen.

Archiefonderzoek

MIFA heeft in het verleden een grondonderzoek laten uitvoeren door ingenieursbureaus. Met de informatie vanuit dit grondonderzoek is de opbouw van de ondergrond geïnventariseerd. Het archief van MIFA is ook geraadpleegd voor oude tekeningen van het rioolstelsel. Naast het archief van MIFA is het digitale archief van het KNMI gebruikt om de achterliggende gegevens van de buien te vergaren. De informatie van buien waarbij sprake was van water op straat is opgevraagd en onderzocht. Op de momenten waarop water op straat ervaren werd zijn er foto's gemaakt door personeel van MIFA. Deze foto's zijn gebruikt om te constateren waar op het terrein van MIFA water op straat daadwerkelijk een risico vormt.

Kaart analyse

Om enkele aspecten te verduidelijken met beeldmateriaal in de vorm van kaarten is er gebruik gemaakt van een geografisch informatie systeem ArcMap. Om de hoogtes van het maaiveld te bepalen is de AHN kaart (Algemene Hoogtekaart Nederland) toegevoegd in ArcMap.

Deskundige raadplegen

Enkele gesprekken hebben met deskundige plaatsgevonden. De kennis die opgedaan is gedurende deze gesprekken is verwerkt in de scriptie. Dhr. Nas, specialist op het gebied van stedelijk water bij Gemeente Venlo, heeft uitgelegd dat er een rioolrevisie van MIFA benodigd is voor het verkrijgen van informatie van het rioolstelsel van de Gemeente Venlo. Bij het waterschap is er door middel van een overleg met L. Savelkoel meer inzicht verkregen in referentieprojecten in de provincie Limburg. E. Lammers van Lammerswater weet alles van verticale infiltratiebuizen, vanuit E. Lammers zijn de eigenschappen bepaald behorend tot verticale infiltratiebuizen. Als laatste heeft er een gesprek plaatsgevonden met G. Middel van Waterschap Limburg, G. Middel is een specialist in klimaatadaptie en stedelijk water. G. Middel heeft advies gegeven over de inrichting van het ontwerp.

Veldonderzoek

Het hemelwaterstelsel van MIFA is door middel van buizen aan het plafond van de productiehallen bevestigd. Het hemelwaterstelsel is van binnenuit geïnventariseerd en in kaart gebracht. Daarnaast is gepoogd om een peilbuis te plaatsen op het terrein van MIFA. Het plaatsen van de peilbuis is echter gestaakt doordat diverse boringen vastliepen op een grondlaag op 7 meter beneden het maaiveld. Naast de grondwaterstanden zijn ook de hoogtes van het terrein ingemeten door middel van een GPS. De staat van de kolken op het terrein van MIFA zijn ook onderzocht, omdat water op straat al ontstond bij kleine buien (<5mm per uur).

Overleg/presentaties bij MIFA

Gedurende de afstudeerperiode hebben er gesprekken plaatsgevonden met de begeleiders vanuit MIFA, Jaap-Kees Koel en Peter-Jan Coumans. Naast de begeleiders is er ook overleg geweest met de directie van MIFA over de toekomstplannen en de visie omtrent de ruimtelijke inrichting. Om de informatie tijdens het onderzoek te verduidelijken naar de begeleiders en de directie toe hebben er tussentijdse presentaties plaatsgevonden.

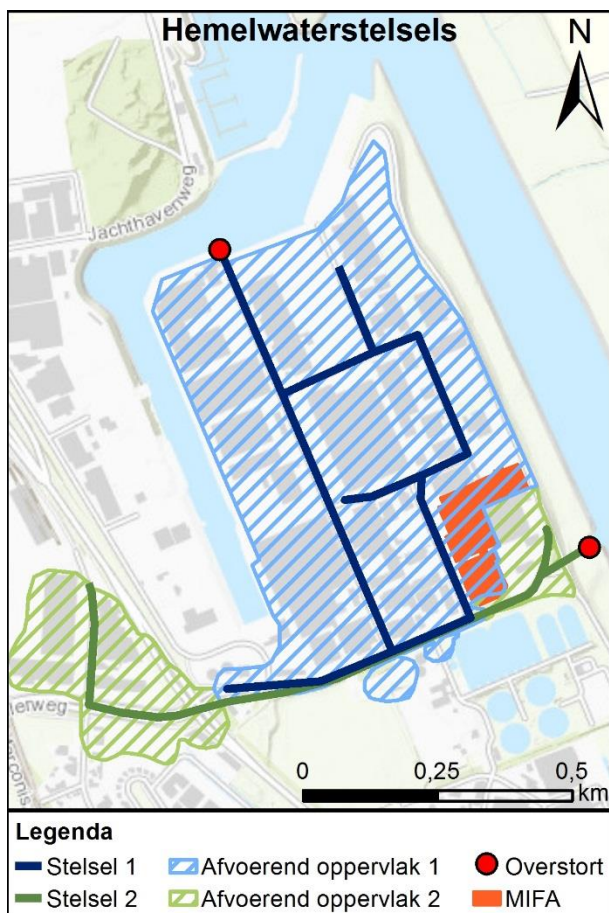
2. Het watersysteem

Dit hoofdstuk beschrijft het watersysteem waar MIFA onderdeel van uit maakt. De eerste paragraaf behandelt de riolering op het terrein en in de nabije omgeving van MIFA. In de paragraaf daaropvolgend staat de bodemopbouw van het projectgebied beschreven, aan de hand van deze informatie kan bepaald worden of en op welke diepte waterdoorlatende lagen aanwezig zijn. De laatste paragraaf gaat dieper in op het grondwater. Met deze gegevens, gecombineerd met de bodemopbouw, wordt bepaald tot op welke diepte hemelwater geïnfiltreerd kan worden. Bij elkaar geeft deze informatie specifieke kennis over het projectgebied en geeft het antwoord op de vraag: "Hoe functioneert het huidige watersysteem waar MIFA onderdeel van is?"

2.1 Riolering

Venlo Trade Port is deels voorzien van een gescheiden rioolstelsels met twee hemelwaterafvoerstelsels (zie Figuur 5). Beide hemelwaterstelsels hebben een overstort naar de Maas. Voor zover bekend is MIFA op een correcte wijze aangesloten op het gescheiden rioolstelsel (J. van den Beuken, persoonlijke communicatie, 22 maart 2018). Hierdoor wordt het vuilwaterstelsel in dit onderzoek verder buiten beschouwing gelaten. Het rioolstelsel zoals die er nu ligt is in 1974 gedimensioneerd op een afvoer van 60 l/s/ha. Dit is gelijk aan een neerslagintensiteit van ongeveer 20 mm/uur op het gehele afvoerende oppervlak. Het stelsel is in beheer van de gemeente. De laatste inspectie van het rioolstelsel is verricht in 2008. Vanuit de gemeente Venlo wordt verwacht dat de volgende inspectie in 2019 plaats gaat vinden. In 2008 had het rioolstelsel rondom MIFA nog geen onderhoud nodig.

MIFA voert het gevallen hemelwater inpandig rechtstreeks af naar het gemeentelijk stelsel. De documentatie over het onderhoud en de ligging van het rioolstelsel van MIFA is onvolledig. De documentatie bestaat uit diverse verouderde tekeningen. In Figuur 6 staat schematisch de ligging van het HWA-stelsel weergegeven en de daarop aangesloten oppervlakken. Doordat over het inpandige HWA-stelsel van MIFA onzekerheid heerst wordt deze verder in het onderzoek buiten beschouwing gelaten.



Figuur 5 Gemeentelijke hemelwaterstelsels rondom MIFA



Figuur 6 Hemelwaterstelsel MIFA

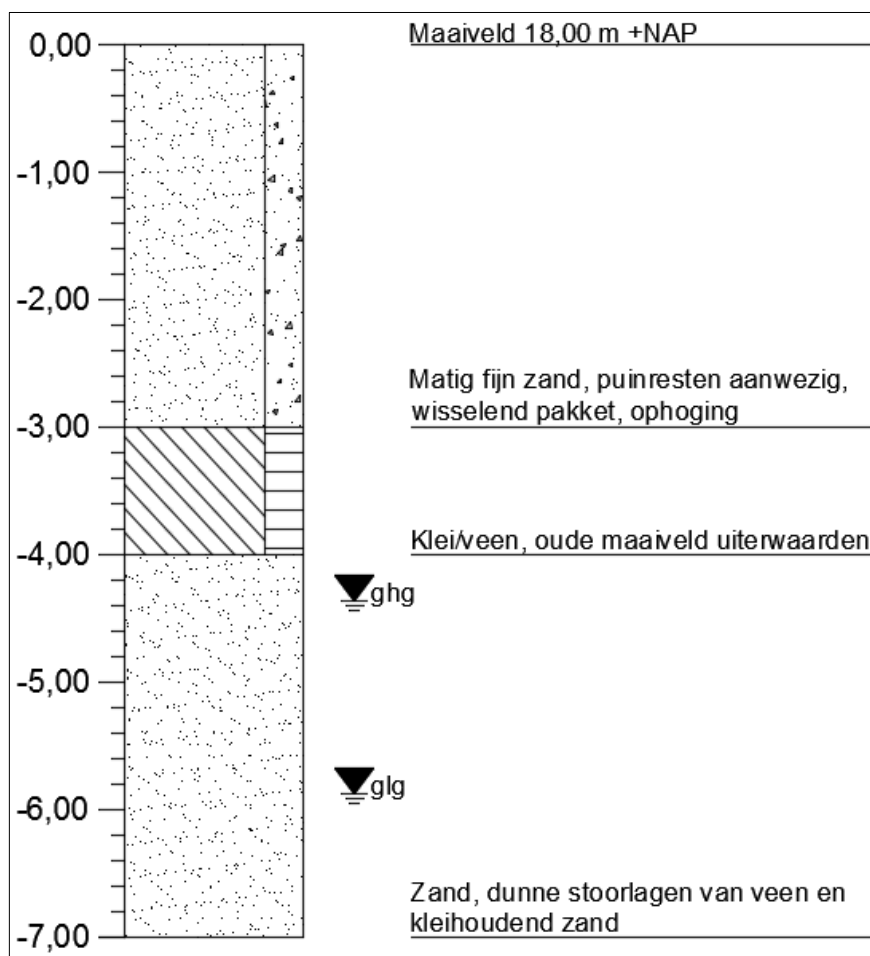
2.2 Bodemopbouw

Ten behoeve van een funderingsadvies en bodemsanering zijn in 1995 en 2004 bodemonderzoeken verricht op het terrein van MIFA. Deze onderzoeken schetsen onder andere een compleet beeld van de bodemgesteldheid. In Bijlage B.1 staan de boorstaten weergegeven van het bodemonderzoek dat verricht is in 2004.

Vanaf het maaiveld (gemiddeld $\pm 18,0$ m +NAP) is tot een diepte van 15 à 16,0 m +NAP een zeer wisselend grondpakket aanwezig. Dit pakket bestaat voornamelijk uit matig fijn zand en bevat plaatselijk puin en puinresten. Op basis van de samenstelling en de locatie wordt verondersteld dat deze lagen een ophoging betreffen welke op de vroegere uiterwaarden van de maas is aangebracht.

Onder deze laag bevindt zich een laag, welke varieert in dikte van 0,5 à 1,0 m, die het oude maaiveld van de uiterwaarden vertegenwoordigt. Deze laag bestaat uit klei en veen. Onder het oude maaiveld bevindt zich een zandpakket tot een diepte van 8,0 à 10,0 m +NAP dat dunne stoorlagen bevat bestaande uit veen en/of kleihoudend zand. Ter verduidelijking geeft Figuur 7 een boorstaat van de ondergrond weer.

Het bovenste grondpakket is ondanks de storende lagen geschikt voor zowel boven- als ondergrondse infiltratievoorzieningen. Het oude maaiveld van de uiterwaarden daarentegen is een slecht doorlatende laag. Het grondpakket wat zich onder het oude maaiveld bevindt is zeer wisselvallig maar plaatselijk wel geschikt voor infiltratievoorzieningen.



Figuur 7 Boorstaat

2.3 Grondwater

De grondwaterstand op het terrein staat onder invloed van de waterstand van de Maas doordat MIFA direct grenst aan de rivier. Door het ontbreken van een peilbuis op locatie zijn de gegevens van een vergelijkbare locatie/peilbuis ten zuiden van Venlo gebruikt, zie Bijlage B.2. Van deze peilbuis is op basis van de langjarige meetreeks van TNO, zie Figuur 8, de gemiddeld hoogste grondwaterstand (GHG) en gemiddeld laagste grondwaterstand (GLG) berekend. Dit is de gemiddelde van de drie hoogste (of laagste) grondwaterstanden per jaar over een periode van 5 jaar (2013-2017). Deze gegevens staan weergegeven in Tabel 1 (Nederlandse organisatie van Toegepast-natuurwetenschappelijk Onderzoek TNO, 2017).

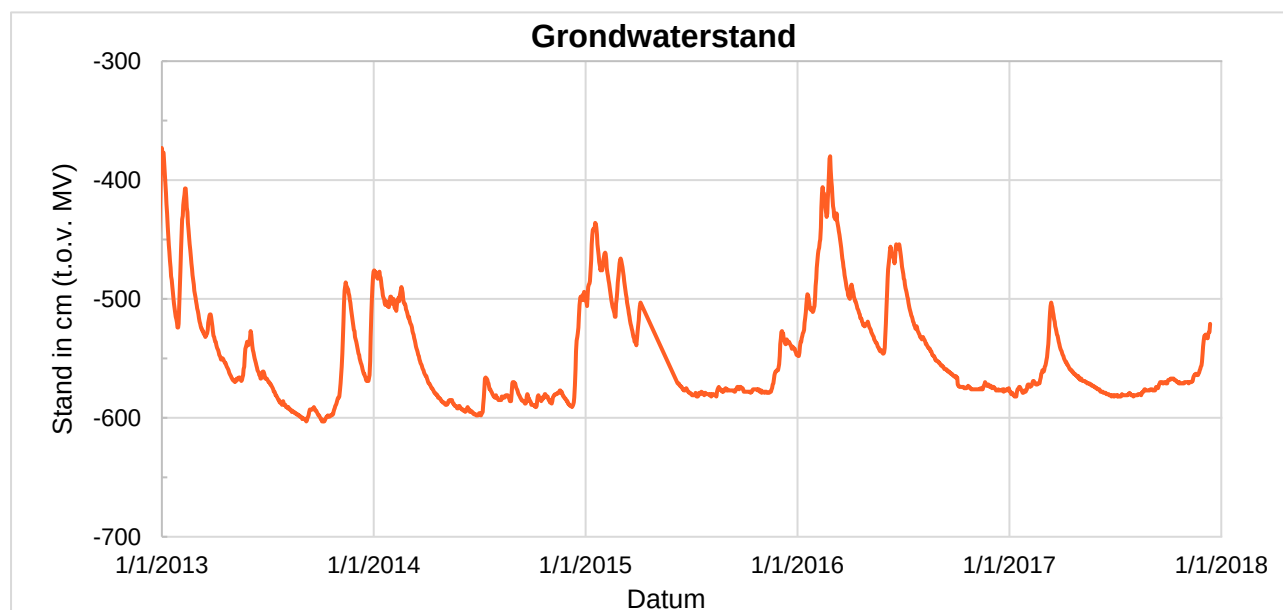
Tabel 1 Grondwaterstanden

Peilbuis	GHG (m +NAP)	GHG (m -MV)	GLG (m +NAP)	GLG (m -MV)
B52G3169	13.14	4.36	11.62	5.88

Tijdens een droge periode wordt tot een diepte van 5m beneden het maaiveld geen grondwater gevonden. Door de grote variatie in samenstelling van de toplaag (doorlatende en ondoorlatende lagen) kunnen schijnwaterstanden ontstaan waardoor plaatselijk kleine hoeveelheden grondwater waargenomen kunnen worden op ondieptes.

In Figuur 8 is zichtbaar dat tussen het hoogst en laagst gemeten grondwaterstand in 2013 220 cm verschil zit. Het maaiveld van MIFA bevindt zich ongeveer 18 m +NAP. Uit het figuur valt ook op te maken dat de grondwaterstand tussen 4,0 en 6,5 meter beneden maaiveld zit.

De berekende GHG van de nabije gelegen TNO peilbuis vormt geen probleem voor infiltratietoepassingen. De afstand tussen het maaiveld en de GHG bedraagt 4,36 meter.

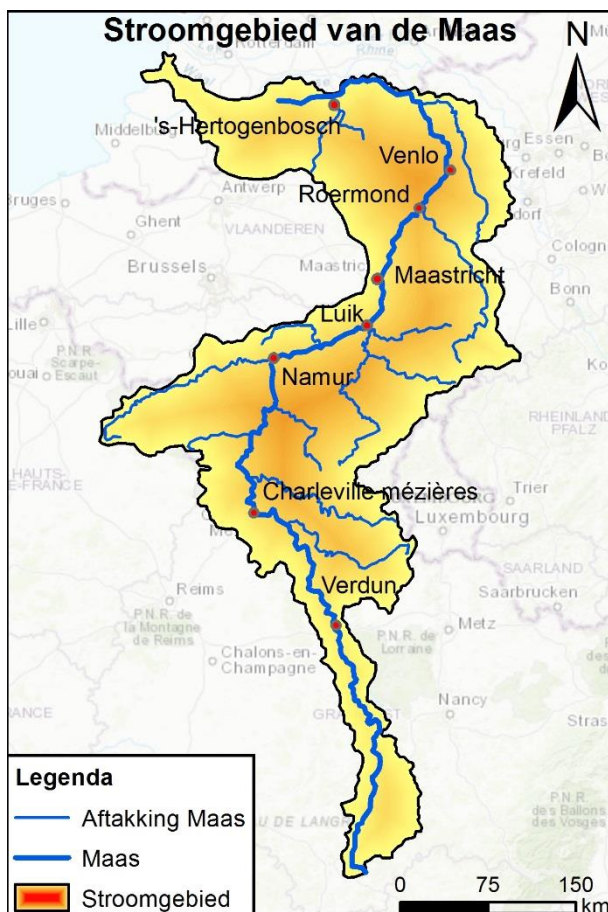


Figuur 8 Grondwaterstand 2013 - 2018

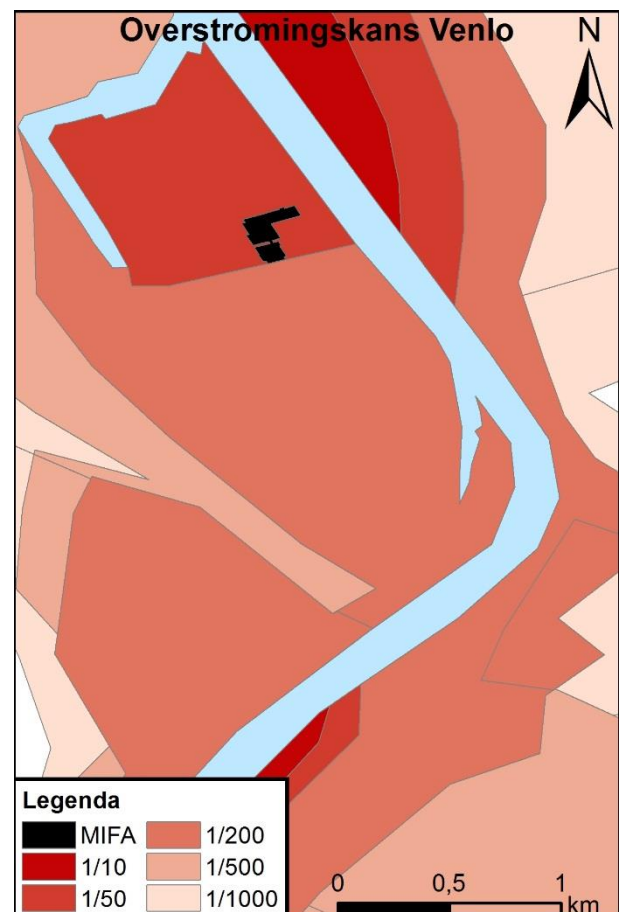
2.4 De Maas

Aan de oostkant van MIFA stroomt de Maas in noordelijke richting, zie Figuur 9. De Maas is een 950 kilometer lange rivier met een gemiddeld debiet van 230 m³/s ter hoogte van Maastricht (Rijkswaterstaat, 2007). De maatgevende afvoer van de Maas is 4000 m³/s. De maatgevende afvoer is gebaseerd op een afvoer die eens in de 1250 jaar voor kan komen (Bisschop, De Groot, Zethof, & Leenders, 2015). Het risico op het overschrijden van deze limiet is klein. Bij een overstromingskans wordt rekening gehouden met verouderde dijken en de kans op het bezwijken van de dijk. De overstromingskans voor het dijktraject Blerick 69.1 is momenteel eens in de 50 jaar, zie Figuur 10 (Meer Maas, Meer Venlo, 2017).

De waterstand van de Maas wordt bepaald door het aanbod regen- en smeltwater uit de Ardennen en het verschil in de temperatuur. De gemiddelde waterstand van de Maas ter hoogte van Venlo is 11.52m + NAP. Bijlage B.3 geeft een grafiek weer van de fluctuerende waterstand van de Maas ter hoogte van Venlo tussen 2000 en 2018 (Rijkswaterstaat, zd.). Deze grafiek bevat een trendlijn en geeft een kleine gemiddelde verlaging van de waterstanden van de Maas aan. Door projecten die de Maas hebben verbreed kan de waterstand van de Maas lichtelijk zijn afgenomen.



Figuur 9 Stroomgebied van de Maas



Figuur 10 Overstromingskans Maasdalen nabij Venlo

3. Water op straat

Voor zover bekend bij MIFA is op de Deltakade regelmatig sprake van water op straat. Tot op het moment van schrijven is van wateroverlast als gevolg van water op straat rondom de Deltakade nooit voorgekomen. Dit hoofdstuk geeft antwoord op: *“Wat is de oorzaak van water op straat in de nabije omgeving van het terrein van MIFA?”* Door het beantwoorden van deze deelvraag wordt inzichtelijk wat de exacte oorzaak van water op straat is. Daardoor kan het uiteindelijke advies zo geschreven worden dat het probleem bij de bron aangepakt kan worden.

3.1 De oorzaak

Van een viertal buien, waarbij sprake was van water op straat, staan de omstandigheden beschreven in Bijlage C.1 tot en met Bijlage C.4. De oorzaak van water op straat rondom MIFA, met name op de Deltakade, bestaat uit een combinatie van factoren. De Deltakade is, ten opzichte van de rest van het rioolgebied, één van de laagst gelegen straten. Door oppervlakkige afvoer van hemelwater tijdens extreme neerslag stroomt dit vanuit de omgeving richting de Deltakade. Door het lagere straatpeil en dus ook het lagere putdekselniveau komt het hemelwater in het riool als eerste omhoog op de Deltakade bij extreme neerslag. Daarnaast zijn de straatkolken op het terrein van MIFA niet/nauwelijks onderhouden. De gemeente en bedrijven op het industrieterrein Venlo Trade Port hebben tijdens de aanleg van het rioolstelsel, omstreeks 1980, geen rekening gehouden met de toenemende intensiteit van de buien. Het industrieterrein kent een hoog percentage verhard oppervlakte in verhouding met groenstructuren. Dit maakt het infiltreren van hemelwater lastig waardoor het rioolstelsel overbelast wordt en water op straat ontstaat. In de hierop volgende paragrafen staan de factoren verder beschreven.

3.2 Onderhoud straatkolken

Naar aanleiding van een bui op 10 april 2018 zijn de straatkolken rondom het terrein van MIFA gecontroleerd. Ondanks dat het geen intensieve bui betrof bleef op enkele plekken water staan (zie Bijlage C.5). De locatie van de verstopte straatkolken staat weergegeven in Bijlage C.6. Tijdens de inventarisatie bleek dat 15 van 61 kolken verstopt waren. Figuur 11 en Figuur 12 onderaan de pagina geven weer hoe de straatkolken zijn aangetroffen. Hier is direct op gehandeld door de kolken op 16 april 2018 op het terrein van MIFA te laten reinigen. Aan de hand van de hoeveelheid bladafval in de bezinkputten van de straatkolken is geschat dat deze in ruim 6 jaar tijd niet zijn schoongemaakt (J. van den Beuken, persoonlijke communicatie, 23 april 2018). Naast het feit dat het water niet goed afgevoerd kan worden als de kolken verstopt zijn, mist het systeem hierdoor ook bergingscapaciteit.



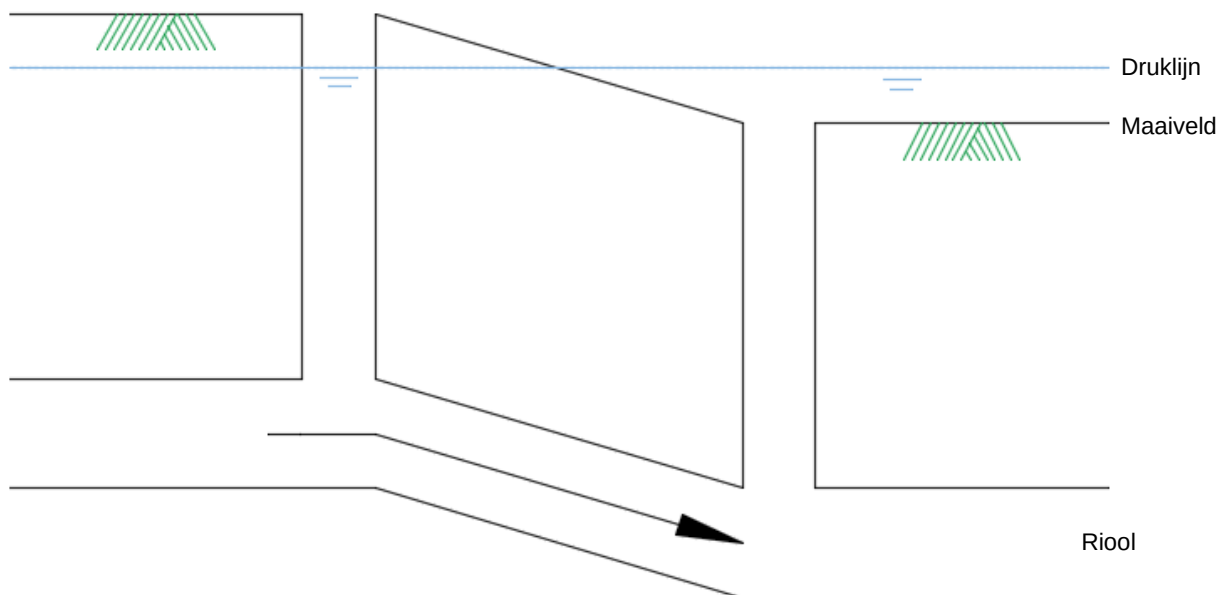
Figuur 11 Dichtgeslibde straatkolk



Figuur 12 Bladafval in een straatkolk

3.3 Waterdruk

Het straatpeil van de Deltakade ligt ten opzichte van de Groot Bollerweg 30 cm lager, zie Figuur 13. Als het bergend vermogen van het HWA-stelsel volledig benut is dan komt door de druk het regenwater als eerst omhoog op de laagste punten, in dit geval de Deltakade. Dit is dus ook de eerste locatie in het gebied waar water op straat ontstaat (zie Figuur 15). Dit verklaart waarom op sommige momenten het hemelwater opborrelt via de straatkolken zoals weergegeven in Bijlage C.4.



Figuur 13 Schematische weergave van water op straat door waterdruk en hoogteverschil

3.4 Verhard oppervlakte

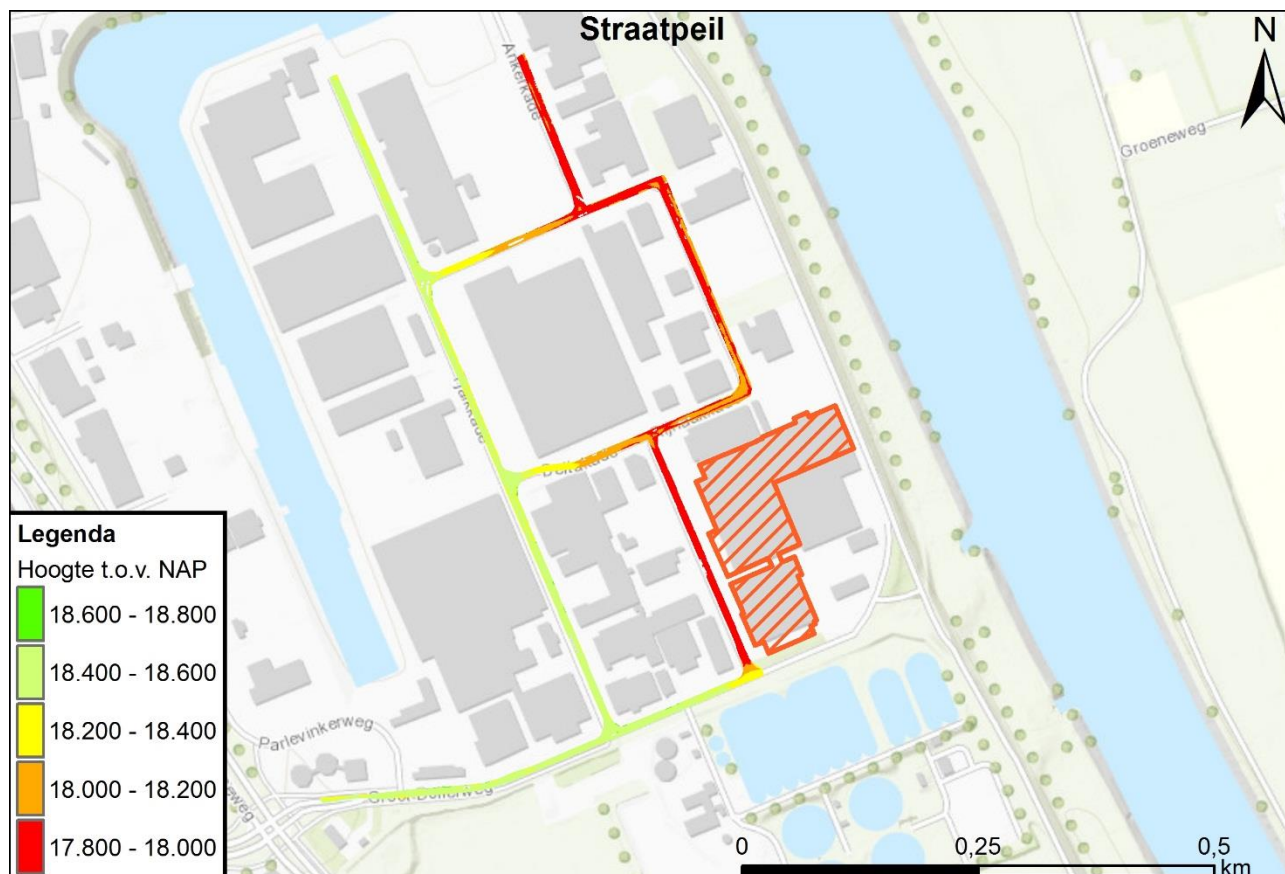
Over het gehele industrieterrein Groot-Boller is sprake van grote oppervlaktes verharding zonder óf met minimale onverharde oppervlaktes (infiltratievoorzieningen). Vandaag de dag dient voor nieuwe bedrijfspanden een watertoets succesvol doorlopen te worden. In het verleden werd geen aandacht gegeven aan waterhuishouding wanneer een nieuw bestemmingsplan ingediend werd. Dit heeft ertoe geleid dat bedrijven direct het regenwater lozen op het hemelwaterafvoerstelsel en daarmee het stelsel overbelasten. Bedrijven/omwonenden hebben zelf in de loop der tijd een probleem gecreëerd.

3.5 Toename intensiteit buien

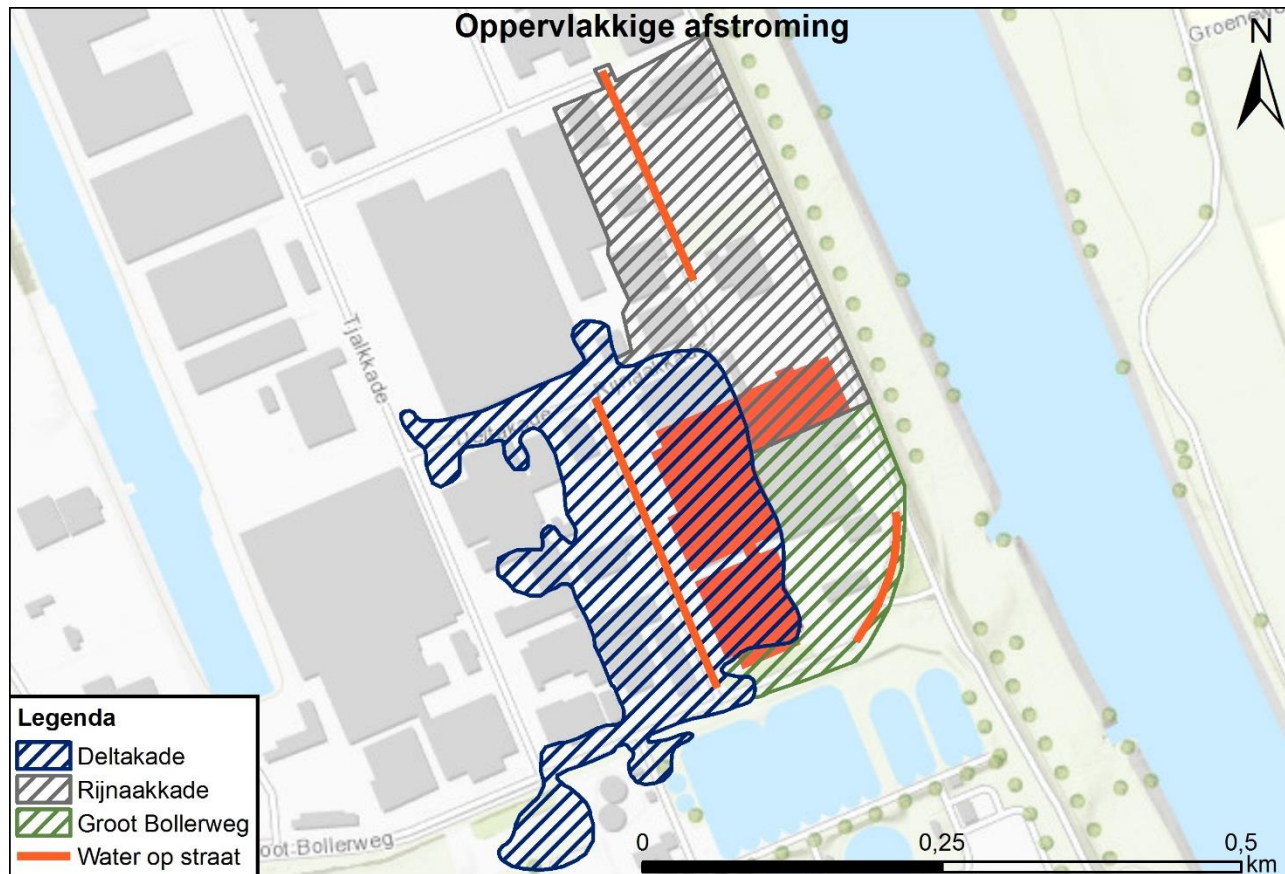
In Nederland is sinds 1906 het jaargemiddelde temperatuur met 1,7°C gestegen (CBS, PBL, RIVM, WUR, 2018). Per gestegen graad nemen de buien 14% toe (KNMI, z.d.). Hierdoor wisselen weersextremen elkaar steeds vaker af. In de afgelopen 40 jaar is Nederland wel 15% natter geworden (Hiemstra, 2017). Het rioolstelsel waarop MIFA is aangesloten is ontworpen/aangelegd rond 1974. Tijdens de dimensionering van het riool is toentertijd uitgegaan van het op dat moment heersende klimaat (S. Nas, persoonlijke communicatie, 12 maart 2018).

3.6 Oppervlakkige afstroming

Bij een extreme bui stroomt veel regenwater direct via het oppervlak af naar lageregelegen gebieden. De Deltakade doet haar naam eer aan. Dit komt doordat de Deltakade ten opzichte van de Groot Bollerweg 30cm lager ligt, zoals te zien in Figuur 14. Een deel van het overtollige hemelwater stroomt vanuit nabijgelegen straten, Rijnaakkade & Groot Bollerweg, via het maaiveld richting de Deltakade (zie Figuur 15).



Figuur 14 Straatpeil t.o.v. NAP



Figuur 15 Oppervlakkige afstroming van hemelwater

4. Ruimtelijke ontwikkeling en ambities

Het klimaat is aan het veranderen, de intensiteit van kortstondige buien nemen toe. Het is daarom van belang dat er naar de ruimtelijke ontwikkelingen en ambities gekeken wordt. Er zijn een aantal ruimtelijke plannen en ambities die betrekking hebben op het onderzoek. Het Gemeentelijk Rioleringsplan bestaat uit het plan voor de waterhuishouding van de Gemeente Venlo, de toekomstplannen van MIFA hebben betrekking op het terrein van MIFA, de visie van RIONED over de klimaatverandering en de ontwikkelingen bij de Maas hebben invloed op de legger van de dijkkring.

4.1 Visie van de gemeente Venlo omtrent de waterhuishouding

Om inzicht te krijgen in de toekomstplannen voor het riool waarop MIFA is aangesloten is het Gemeentelijk Rioleringsplan Venlo van 2014-2023 (hierna GRP) onderzocht en informatie ingewonnen door overleg met dhr. S. Nas van Gemeente Venlo.

4.1.1 Achtergrond

In het GRP omschrijft de gemeente haar beleid rondom het stedelijk waterbeheer en wijze waarop dit financieel is vertaald. Hiertoe behoren een drietal zorgplichten, er is echter één zorgplicht relevant voor dit onderzoek: Zorgplicht hemelwater ter voorkomen van wateroverlast bij hevige regenbuien en grondwater (Gemeente Venlo, 2014).

Het doel

De doelstellingen van planperiode van het GRP 2014-2023 die invloed kunnen hebben op MIFA:

1. Doelmatige inzameling en verwerking van afvloeiend hemelwater
2. Het transport van het ingezamelde water naar een geschikt lozingspunt/verwerkingspunt; waarbij: ongewenste emissies naar oppervlaktewater, bodem, grondwater zoveel mogelijk worden voorkomen en zo min mogelijk overlast voor de omgeving wordt veroorzaakt.

De inzameling en transport van binnen gemeentelijk gebied geproduceerd stedelijk afvalwater en de verwerking van afvloeiend hemelwater is van belang voor een goed functionerende waterhuishouding in het gebied (Gemeente Venlo, 2014).

4.1.2 Het rioelstelsel

De gemeente Venlo streeft ernaar dat het rioelstelsel hydraulisch voldoet, zodat er een bui die eens in de twee jaar voorkomt (bui 08) afgevoerd kan worden, zonder dat er water op straat ontstaat. Er wordt tevens een doorkijk gemaakt naar een grotere belasting op het rioelsysteem. Bij de doorkijk wordt gewerkt met buien die eens in de 5 en 10 jaar voorkomen.

Bij een plek in het rioelstelsel die meer kans heeft op wateroverlast of schade wordt het rioelstelsel waar mogelijk groter gedimensioneerd, hoeveel groter en waarop dit gebaseerd is staat niet beschreven in het GRP (Gemeente Venlo, 2014).

De huidige restcapaciteit van de riolering is bij buien met een grotere intensiteit die door klimaatverandering vaker voor gaan komen niet voldoende om overlast en schade te voorkomen. Dit komt doordat de capaciteit van de riolering eindig is en de riolering niet onbeperkt kan worden vergroot.

De gemeente zoekt daarom naar mogelijkheden om afkoppelen van verhard oppervlak en berging buiten het rioelstelsel te benutten, maar ook door bovengrondse berging en/of afvoer te creëren. Dit betekent dat de beschikbare ruimte tussen trottoirbanden ook vaker benut gaat worden als tijdelijke berging van hemelwater op straat. Dit kan in de toekomst een risico vormen bij MIFA als er een extreme bui ontstaat die het rioelstelsel niet kan verwerken. Als het water te hoog boven de trottoirbanden komt te staan is er een kans dat het hemelwater de productiehallen van MIFA bereikt. Het ontstaan van schade is ongewenst, maar kan in sommige situaties niet worden uitgesloten (Gemeente Venlo, 2014).

4.1.3 Robuust watersysteem

Het plan van de gemeente Venlo is om het rioolstelsel minder te belasten bij piekafvoeren. Een oplossing hiervoor kan zijn om hemelwater zoveel mogelijk te infiltreren in de bodem. Wanneer de infiltratievoorziening het hemelwater niet meer aan kan wordt het overgebleven hemelwater rechtstreeks op het oppervlak afgevoerd wat hemelwateroverlast kan veroorzaken. De gemeente Venlo heeft als doel om op plekken waar hemelwateroverlast ontstaat meer berging te realiseren op het terrein van de Gemeente. Het water kan dan tijdelijk vastgehouden en geborgen worden. Als de infiltratievoorziening/het riool ontlast is van het hemelwater kan het overige tijdelijk geborgen hemelwater gecontroleerd afgevoerd worden. Het hemelwaterriool wordt hierdoor ontlast (Gemeente Venlo, 2014).

Zelfvoorzienend

De gemeente en de samenleving werken steeds vaker samen om de kwaliteit van de openbare ruimte zo optimaal mogelijk te houden. De samenleving krijgt hierdoor steeds meer verantwoordelijkheid over de kwaliteit van de openbare ruimte. De samenleving kan bijvoorbeeld regenwater op eigen terrein bergen en infiltreren in plaats van direct afvoeren naar openbaar gebied. Naast bergen en infiltreren kan MIFA ook de kolkmondningen in de openbare ruimte zelf onderhouden. Dit vermindert plasvorming rondom de kolken (Gemeente Venlo, 2014).

Vooralsnog zijn particulieren niet verplicht om verhard oppervlak op eigen terrein af te koppelen bij een bestaand bedrijfspand. De Gemeente wil het afkoppelen wel stimuleren door mee in te zetten op een regionale samenwerking om het bewustzijn van de burger te bevorderen (Gemeente Venlo, 2014).

De gemeente Venlo is verantwoordelijk voor:

- Inzamelen van hemelwater
- Infiltreren van hemelwater in het openbaar gebied
- Het transporteren van hemelwater naar oppervlaktewater.

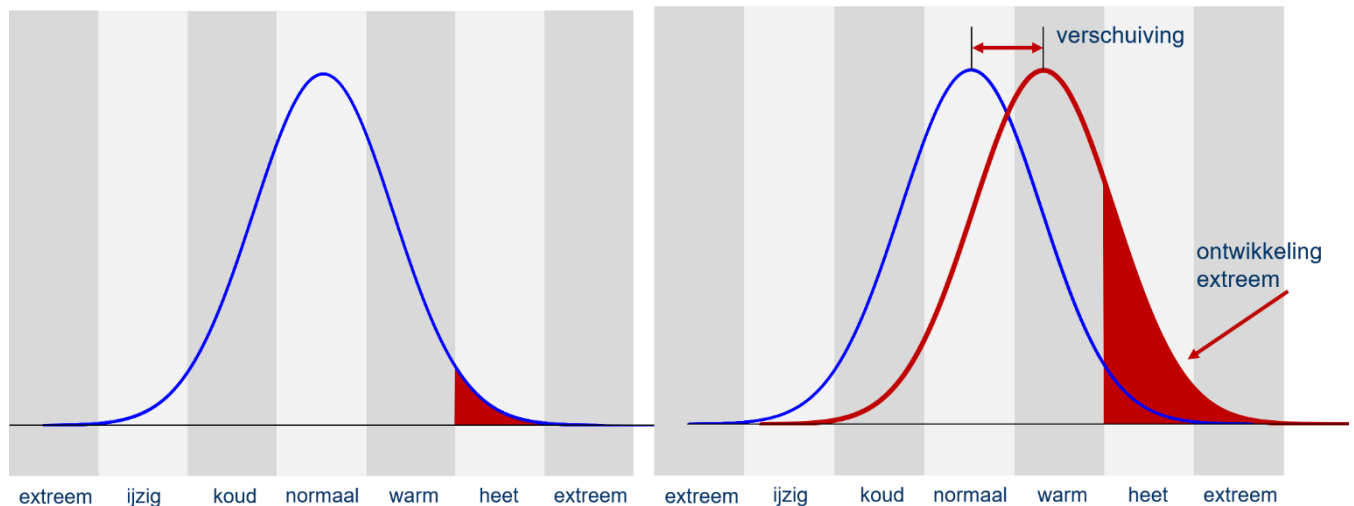
De gemeente Venlo acht wateroverlast in de zin van water op straat waarbij geen directe schade optreedt acceptabel, net als tijdelijke hinder zoals stremming van straten. Wat de gemeente Venlo niet accepteert is sterk met hemelwater verdund afvalwater op straat of stremming van een hoofdweg. In Tabel 2 is weergegeven wat de gemeente verstaat onder hinder, overlast en schade (Gemeente Venlo, 2014).

Tabel 2 Acceptatieniveau water gemeente Venlo (Gemeente Venlo, 2014).

Acceptatieniveau	Omschrijving
Hinder	Kortdurend water op straat van geringe omvang.
Overlast	Ernstige hinder zoals sterk met hemelwater verdund afvalwater op straat of stremming van een hoofdweg en forse hoeveelheden water op straat.
Schade	Kort- of langdurend water op straat van een dusdanige omvang dat schade aan eigendommen optreedt en/of essentiële gebruiksfuncties uitvallen.

4.2 Visie Stichting RIONED

Stichting RIONED is een stichting die zich bezighoudt met het klimaat en de ontwikkeling daarvan. De temperatuur is aan het stijgen (zie paragraaf 3.5), waardoor extreme neerslag steeds vaker voorkomt. In Figuur 16 is het verloop van de verschuiving bij de stijging van de temperatuur weergegeven met daarbij de toename van extreme situaties (Van Luijtelaar & Goedbloed, 2018)



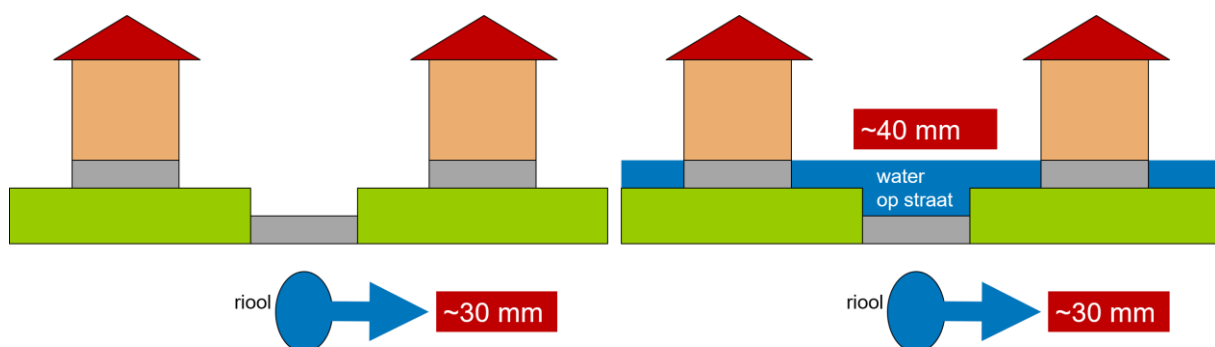
Figuur 16 Ontwikkeling van extreme buien (Van Luijtelaar & Goedbloed, 2018)

In de huidige situatie zijn een aantal extreme buien gevallen, aan deze buien is een kans gekoppeld in welke tijd deze kan vallen. Een voorbeeld hiervan is een bui die in Apeldoorn is gevallen. Een bui van 115 mm in anderhalf uur tijd komt eens in de >100.000 jaar voor. Dit is een erg extreme bui maar de kans is aanwezig dat deze opnieuw in Nederland valt. De voorspellingen van Stichting RIONED zijn uitgegaan van de extreme situaties.

Stichting RIONED stelt voor om uit te gaan van de volgende gradatie klimaatbestendigheid van bergen/infiltreren van hemelwater bij maatregelen zonder overstort (Stichting RIONED, z.d.):

- | | |
|------------------------------|-------------------|
| ▪ Niet klimaatbestendig | 60 mm in een uur |
| ▪ Matig klimaatbestendig | 90 mm in een uur |
| ▪ Gemiddeld klimaatbestendig | 120 mm in een uur |
| ▪ Zeer klimaatbestendig | 150 mm in een uur |

Van deze maatgevende buien kan er al een gedeelte in het hemelwaterriool en op straat geborgen worden. Een rioolstelsel kan 20 tot 30 mm per uur verwerken. Op een normale vlakke omgeving kan ongeveer 40 mm tijdelijk op straat geborgen worden, zonder dat er water op straat ontstaat, zie Figuur 17.



Figuur 17 Beging riool en water op straat (Van Luijtelaar & Goedbloed, 2018)

4.3 MIFA Aluminium b.v.

MIFA heeft voor alsnog geen plannen om uit te breiden. Onlangs heeft MIFA een naastgelegen pand aangekocht, wat tijdens het opstellen van dit advies gebruiksklaar gemaakt wordt. Uitbreiden op eigen terrein is uitgesloten. Als MIFA gereed is voor verdere uitbreiding dan is de meest logische oplossing, volgens de directie van MIFA, om een naastgelegen pand uit te kopen (R. van Oene, persoonlijke communicatie, 12 april 2018).

4.4 Meer Maas, Meer Venlo

Sinds 1 januari 2017 is de nieuwe Waterwet van kracht. In deze wet zijn onder andere de nieuwe normen voor primaire waterkeringen per dijktraject vastgelegd. In 2050 dienen alle primaire waterkeringen in Nederland aan de wettelijke norm te voldoen (Tjebbes, 2018). Voor het dijktraject 69-1, het traject wat MIFA drooghoudt tijdens hoogwater, is de norm vastgesteld op een overstromingskans van 1/1000^{ste} (Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, z.d.). Op dit moment geldt voor het betreffende dijktraject een overstromingskans van 1/50^{ste}, zie Figuur 10 (Meer Maas, Meer Venlo, 2017). Vanwege de grote overstromingskans van een aantal dijktrajecten in/en rondom Venlo hebben deze een hoge prioriteit gekregen. Dit betekent dat de zwakke schakels in Venlo voor 2025 versterkt/verhoogd dienen te zijn (Gemeente Venlo, 2016).

In de regio Venlo dienen zich meerdere meekoppelkansen aan rondom de Maas. Dit heeft ertoe geleid dat de gemeente de regie in handen heeft genomen voor een integrale aanpak van de ontwikkeling van de Maas en haar omgeving. De te nemen maatregelen dienen Venlo niet alleen veiliger maar ook aantrekkelijker voor de burger en ondernemer te maken. Het doel is om de regio en de Maas optimaal van elkaar te laten profiteren. Dit gebeurt onder de noemer “Meer Maas, Meer Venlo” (hierna MMMV). In dit programma worden de ambities/opgaven van het Meerjarenprogramma Infrastructuur, Ruimte en Transport, het Hoogwaterbeschermingsprogramma en de Ruimtelijke structuurvisie van de Gemeente Venlo optimaal gecombineerd tot een integraal voorkeursalternatief.

Het doel van MMMV is het verbinden van twee opgaven, ruimtelijk-economisch en waterveiligheid, in het gebied ten noorden van Venlo, zie Bijlage D.1. Door beide opgaven op elkaar af te stemmen en waar mogelijk te combineren dient een plan tot stand te komen hoe mens en omgeving optimaal van elkaar kunnen profiteren. In de verkennende documenten van MMMV staan enkele oplossingsrichtingen beschreven die invloed hebben op het terrein van MIFA:

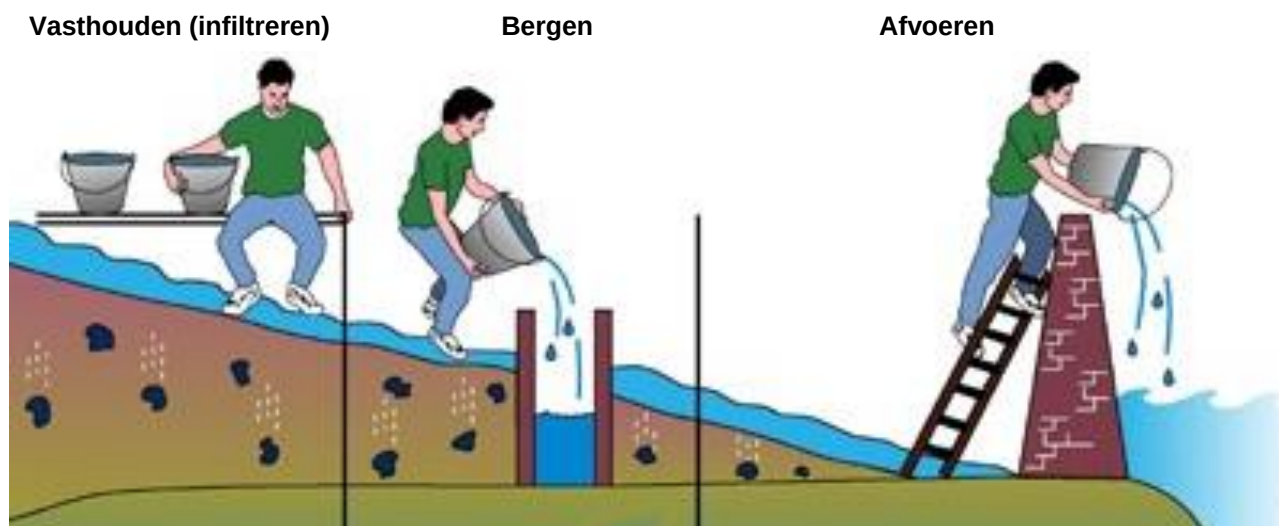
- Verlagen/verwijderen van het dijktraject rondom Groot Boller waardoor het terrein omgevormd wordt tot natte industrie.
- Uitbreiden containerhaven met adaptief deel en doorzetten hoogwatergeul westoever ten noorden van de A67.
- Versterken waterkering bedrijventerrein en containerhaven.

MMMV zit op het moment van schrijven, maart 2018, nog in de verkenningsfase. De hierboven genoemde oplossingsrichtingen worden aangevuld en uiteindelijk beoordeeld op haalbaarheid, waterveiligheid, ruimtelijk-economische meerwaarde en duurzaamheid. De meest voor de hand liggende voorkeursalternatief staat weergegeven in Bijlage D.1.

MIFA kan ervan uit gaan dat de waterkering nog voor 2025 opgehoogd gaat worden. Als gevolg van de ophoging wordt de dijk ook breder. Deze ruimte zal naar alle waarschijnlijkheid gewonnen moeten worden op het terrein van MIFA. De totale hoogte van ophoging hangt af van de gewonnen waterstandsdeling bij de andere projecten.

5. Oplossingsrichtingen

In dit hoofdstuk worden de uitgangspunten van de VBA-voorkeurstrategie aangehouden. VBA staat voor het vasthouden, bergen en afvoeren van hemelwater, zie Figuur 18. Het principe is dat de voorkeur uitgaat naar het vasthouden van hemelwater, indien dit niet mogelijk of niet voldoende is wordt de oplossingsrichting bergen gehanteerd. Afvoeren en het tegengaan van water zijn complexere oplossingsrichtingen maar dienen wel als mogelijkheid als vasthouden en bergen niet toegepast kan worden. De onderstaande paragrafen gaan in op de mogelijke oplossingsrichtingen en of die wel óf niet toegepast kunnen worden. Dit hoofdstuk geeft antwoord op de deelvraag: "Wat zijn doelmatige oplossingsrichtingen om water op straat te voorkomen?"



Figuur 18 Voorkeurstrategie vasthouden, bergen en afvoeren (Provinciehuis Drenthe, z.d.)

5.1 Vasthouden

Vasthouden is het infiltreren van water op locatie in de grond. Vasthouden van hemelwater is een duurzame oplossingsrichting, het kan de kans op hemelwateroverlast verminderen, houdt de grondwaterstand op peil en voorkomt verdroging. Hemelwater infiltreert in de grond waardoor bovengronds minder snel waterschade kan ontstaan. Infiltratievoorzieningen zijn beschikbaar in diverse varianten, zowel boven- als ondergronds. Voor het formaat van de infiltratievoorziening dient rekening gehouden te worden met het verhard oppervlakte dat hierop afstroomt. Op het terrein van MIFA zijn enkele locaties waar het infiltreren van hemelwater mogelijk is. Vasthouden van hemelwater is dus een oplossingsrichting die mogelijk is op het terrein van MIFA.

5.2 Bergen

Als er te weinig ruimte is om water direct te infiltreren kan het hemelwater tijdelijk boven- of ondergronds geborgen worden. Door hemelwater vast te houden voordat het infiltreert of afgevoerd wordt, stroomt het overtollige water pas het hemelwaterriool in wanneer deze weer geledigd is. Het riool wordt op deze manier ontlast en water op straat verminderd. Binnen deze oplossingsrichting zijn tal van mogelijk maatregelen toe te passen en valt dit vaak te combineren met infiltratievoorzieningen. Op het terrein van MIFA is plek om tijdelijke bergingsmogelijkheden te plaatsen. Dit is dus een oplossingsrichting die geschikt is op het terrein van MIFA.

5.3 Afvoeren

Overtollig hemelwater afvoeren, oppervlakkig of ondergronds, naar een primair watersysteem, in dit geval bijvoorbeeld de Maas, is geen geschikte oplossingsrichting. Om hemelwater direct op een primair watersysteem te lozen dient hier een vergunning door Rijkswaterstaat verleend te worden. Het is onzeker of deze vergunning ook toegezegd wordt doordat op deze locatie tal van mogelijkheden op het gebied van vasthouden en bergen mogelijk zijn (L. Savelkoul, persoonlijke communicatie, 30 maart 2018). Dit komt ook door het uitblijven van levensbedreigende situaties als gevolg van hemelwateroverlast.

5.4 Tegenhouden

MIFA beschermen door middel van tactisch geplaatste mini waterkeringen op het terrein van MIFA behoort ook tot een van de oplossingsrichtingen. Binnen deze oplossingsrichting vallen permanente drempels die de afstroming van water sturen en tegen houden op het terrein van MIFA. Voordat deze oplossingsrichting realiteit kan worden moet er in details de afstroming van het oppervlak van MIFA onderzocht worden.

Met het huidige vloerpeil van de panden van MIFA dreigt de loods binnen aanzienlijke tijd vol te lopen met hemelwater bij een extreme bui. Door het vloerpeil van MIFA te verhogen kan wateroverlast in de toekomst uitgesloten worden. Deze oplossingsrichting heeft veel voeten in de aarde, dat komt door de enorme omvang van de loods en de tijd dat de werkzaamheden stilgelegd dienen te worden in combinatie met de voorbereidingen. Buiten dit om is van duurzaamheid geen sprake Dit is geen geschikte oplossingsrichting.

5.5 Geschikte oplossingsrichting

De meest efficiënte en doelmatige oplossingsrichting om hemelwater op het terrein van MIFA te verwerken is een combinatie van vasthouden en bergen waarbij de focus ligt op het vasthouden van het hemelwater. Het vasthouden van hemelwater in de grond houdt het grondwater op peil en voorkomt dat het rioolstelsel/watersysteem overbelast wordt.

In het VBA-voorkeurstrategie wordt het afvoeren van hemelwater naar het riool of rivier gezien als uiterste noodoplossing. Bij MIFA is de ruimte schaars maar is voldoende oppervlakte om een deel van het gevallen hemelwater op het eigen terrein vast te houden of te bergen.

Daaraan toegevoegd is het tegenhouden van water door middel van een waterkering een oplossingsrichting. Deze oplossingsrichting valt niet onder de voorkeurstrategie, is verre van duurzaam en stelt het probleem alleen maar uit waardoor de dreiging voor wateroverlast bij de burens alleen maar groter wordt.

In het hoofdstuk maatregelen worden de meest efficiënte maatregelen onderzocht die bij deze oplossingsrichting passen.

6. Maatregelen

Aan de meest geschikte oplossingsrichting die in het voorgaande hoofdstuk is benoemd kunnen verschillende specifieke maatregelen worden gekoppeld. In dit hoofdstuk wordt de haalbaarheid van de verschillende maatregelen tegen het licht gehouden. Eerst worden de toepasbare maatregelen behandeld, waarna er inefficiënte en niet gewenste maatregelen worden uitgesloten. De overige maatregelen zijn met behulp van eigenschappen onderbouwd in efficiëntie en doelmatigheid. In dit hoofdstuk wordt de deelvraag: *“Welke maatregelen passen het best bij de oplossingsrichting?”* beantwoord.

6.1 Toepasbare maatregelen

Aan de hand van de oplossingsrichtingen zijn de maatregelen bepaald die toepasbaar zijn op het terrein van MIFA:

wadi;	waterdoorlatende	geveltuintjes;
infiltratiestrook;	verharding;	bomen;
greppels;	verticale infiltratiebuis;	groene daken;
infiltratiekratten;	tijdelijke waterkering;	groene gevels.
	regenton;	

MIFA ambieert een autonoom systeem, waarbij geen menselijk handelen benodigd is. Echter vallen hierdoor een aantal maatregelen die hierboven genoemd zijn af. Dit is onder andere een tijdelijke waterkering, regenton, groene daken en –gevels.

Een tijdelijke waterkering dient voordat extreme neerslag ontstaat meteen geplaatst te worden. Extreme neerslag is onvoorspelbaar en plaatselijk, waardoor er snel ingegrepen moet worden. Tevens dient iemand de verantwoordelijkheid te dragen het weer gedurende de dag nauwlettend in de gaten te houden. MIFA is een bedrijf dat 24 uur per dag in productie is, er is dus 24 uur per dag personeel aanwezig. Om de tijdelijke watering te plaatsen is kennis nodig hoe een tijdelijke waterkering geplaatst dient te worden. De werkwijze van het plaatsen hiervan dient bij alle personeelsleden duidelijk te zijn. Het risico is alsnog aanwezig dat het personeel op het moment van extreme neerslag te laat is of de kennis over het plaatsen van de tijdelijke waterkering onvoldoende is. Wanneer dit scenario zich voordoet, is de kans op hemelwateroverlast bij extreme neerslag alsnog aanwezig.

De maatregel regenton moet door middel van menselijk handelen gelegegd worden en behoort dus ook niet tot een autonoom systeem. Wanneer een regenton niet gelegegd is na een bui functioneert deze niet naar behoren tijdens de eerstvolgende bui.

De effectiviteit op het gebied van hemelwater vasthouden en bergen van geveltuintjes en bomen is nihil. Wel dragen deze maatregelen bij aan het verminderen van hittestress, dit valt buiten het doel van het onderzoek.

Het aanbrengen van groenstructuren op en rondom een gebouw zorgt niet alleen voor een vermindering van hittestress en een verbetering van de leefomgeving maar het heeft ook een waterbergende functie. Bij het aanbrengen van groene daken of gevels dienen gegevens zoals de constructiesterkte voor handen te zijn zodat de maximaal toelaatbare belasting berekend kan worden. Tijdens dit onderzoek zijn deze gegevens niet beschikbaar. De constructiesterkte van industriële panden is over het algemeen niet berekend om de extra belasting van groene daken te kunnen dragen bovenop de standaard sneeuwbelasting. De technische dienst van MIFA gaat ervanuit dat de constructiesterkte van het dak niet voldoende is om het extra gewicht van de groene daken te kunnen dragen. Groene gevels en groene daken worden hierdoor uitgesloten.

De maatregelen die wel verder worden onderzocht zijn:

- | | |
|----------------------|--------------------------------|
| ▪ wadi; | ▪ infiltratiekratten; |
| ▪ infiltratiestrook; | ▪ waterdoorlatende verharding; |
| ▪ greppel; | ▪ verticale infiltratiebuis. |

Van de maatregelen die toepasbaar zijn op het terrein van MIFA zijn de eigenschappen bepaald. De eigenschappen bestaan uit:

- | | |
|---|--------------------------------------|
| ▪ eenmalige kosten per m2; | ▪ bovengrondse berging per m2 in m3; |
| ▪ jaarlijkse kosten voor beheer en onderhoud; | ▪ ondergrondse berging per m2 in m3; |
| ▪ eenmalige kosten per m3 berging; | ▪ materiaal; |
| | ▪ levensduur. |

6.2 Onderbouwing

De maatregelen met bijbehorende onderbouwing staan in de volgende sub-paragrafen beschreven. De uitkomsten van de eigenschappen zijn weergegeven in Tabel 3. In Bijlage E staat onderbouwd waar de gegevens vandaan komen en hoe dit berekend is. De prijzen zijn indicatieve prijzen en zijn afkomstig van Stichting RIONED en GWWkosten. De prijzen kunnen afwijken van de daadwerkelijke prijzen bij de aanleg. Het zijn aanneembare richtlijnen om inzicht te krijgen in de kosten en berging per m³.

Tabel 3 De maatregelen met bijbehorende kosten per m² en berging per m³.

	Eenmalige aanlegkosten per m ²	Jaarlijkse kosten beheer en onderhoud per m ²	Bovengrondse berging in m ³ per m ²	Ondergrondse berging in m ³ per m ²	Eenmalige kosten per m ³ berging
Wadi	€ 36,00	€ 9,00	0,28 m ³	0,25 m ³	€ 70,00
Infiltratiestrook	€ 100,00	€ 9,00	-	0,28 m ³	€ 350,00
Greppel talud 1:2	€ 22,00	€ 9,00	0,5 m ³	0,14 m ³	€ 35,00
Greppel talud 1:3	€ 19,00	€ 9,00	0,33m ³	0,17 m ³	€ 38,00
Infiltratiekratten	€ 512,00	N.B.	-	0,75 m ³	€ 680,00
Waterdoorlatende verharding	€ 100,00	€ 6,00	-	0,39 m ³	€ 260,00
Verticale infiltratiebuis	Machine: €2500 Per buis €300 - €700	€1000 per 5 buizen €500 eenmalige kosten	-	Per infiltratiebuis 5m ³ per uur	-

De levensduur van een infiltratievoorziening is ongeveer 60 jaar, dit geldt voor alle bovengenoemde maatregelen. Na 60 jaar moet de voorziening vervangen worden. De vervanging houdt het verslechteren van de bodem en grondwaterkwaliteit tegen (Boogaard, Bruins, & Wentink, 2006).

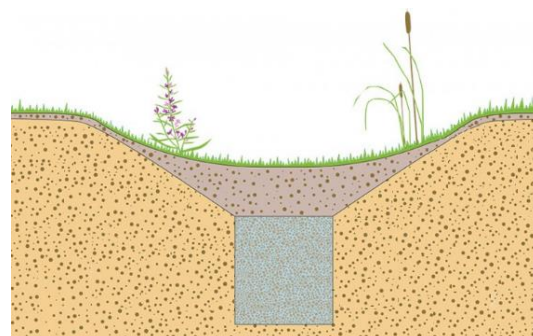
Bij alle groenstructuren is de jaarlijkse kosten van het beheer en onderhoud per m² gelijk. Waterdoorlatende verharding is de goedkoopste optie en verticale infiltratiebuizen zijn het duurst. De beheer en onderhoudskosten van infiltratiekratten zijn onbekend. Naar verluid is het haast onmogelijk om infiltratiekratten schoon te maken doordat deze ondergronds liggen (L. Savelkoul, persoonlijke communicatie, 30 maart 2018).

6.2.1 Wadi

Een wadi is een beplante greppel met een waterdoorlatende bodem. De wadi bestaat uit aan de bovenkant verbeterde grond en beplanting. Daaronder bevindt zich een met geotextiel ingepakte koffer zoals weergegeven in Figuur 19. Het materiaal wat in de grindkoffer zit is over het algemeen grind.

Bij aanleg van een wadi wordt gebruikt gemaakt van natuurlijke materialen. Een wadi van 4 meter breed met een talud van 1:3 heeft relatief veel bovengrondse berging (0,28 m³ per m² wadi). Naast de bovengrondse berging is grondverbetering toegepast, waardoor hemelwater gemakkelijk infiltreert. Tussen de poriën van de ondergrond van de wadi kan alsnog 0,25 m³ per m² geborgen worden als uitgegaan wordt van een toegepaste grondverbetering tot 1 meter onder het maaiveld.

De prijs per m³ berging (€70,00) en de aanlegkosten (€36,00 per m²) vallen vergeleken met andere maatregelen mee. Over het algemeen worden groenstructuren in de leefomgeving gewaardeerd. Een wadi is door de berging en de kosten een goed toepasbare maatregel op plekken waar groenstructuur gewenst is.



Figuur 19 Dwarsprofiel wadi
(Groenblauwenetwerken, z.d.)

6.2.2 Stedelijke infiltratiestrook

Een stedelijke infiltratie strook bestaat uit een voorziening van keerwanden met een open onderkant gevuld met grind en tuinaarde (Figuur 20). Een infiltratiestrook kan gemakkelijk geplaatst worden op plekken waar weinig ruimte is voor natuur. De infiltratiestrook bevindt zich op het maaiveld.

Bij aanleg van een infiltratiestrook wordt gebruikt gemaakt van natuurlijke materialen en betonnen keerwanden. Een infiltratiestrook heeft geen bovengrondse berging. De berging die de infiltratiestrook bezit is tussen de poriën van het grind en de tuinaarde ($0,28 \text{ m}^3$ per m^2) een infiltratiestrook is een goede maatregel als neerslag valt met een lage intensiteit. De ondergrond heeft dan tijd om hemelwater te infiltreren. Bij intensieve hoosbuien kan een infiltratiestrook niet al het hemelwater in een keer verwerken.

De prijs per m^3 berging (€350,00) en de aanlegkosten (€100,00 per m^2) vallen vergeleken met andere maatregelen tegen. Door de hoge kosten per m^3 berging is een infiltratiestrook een minder aantrekkelijke maatregel dan de greppel en de wadi op plekken waar groenstructuur gewenst is.

6.2.3 Greppel

Een greppel is een groenstrook waar tijdelijk water in geborgen en geïnfilteerd kan worden, zie Figuur 21. Het verschil van een greppel en een wadi is dat er geen grondverbetering heeft plaats gevonden onder de tuinaarde van de greppel. Greppels kunnen op allerlei plekken geplaatst worden. Greppels komen vaak voor naast fietspaden en autowegen.

Een greppel bestaat volledig uit natuurlijk materiaal. Een greppel van 4 meter breed met een talud van 1:2 heeft de grootste bovengrondse berging van de maatregelen ($0,5 \text{ m}^3$ per m^2). Echter vindt bij de greppel geen grondverbetering plaatst onder de beplanting. Om ervoor te zorgen dat het water infiltreert kan gekozen worden om verticale infiltratie te combineren met een greppel.

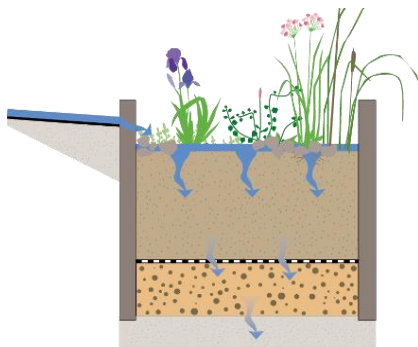
De kosten per m^3 berging (€35,00) en de aanlegkosten (€22,00 per m^2) zijn het goedkoopste van alle maatregelen. Door de lage kosten per m^3 berging is een greppel een aantrekkelijke maatregel. De greppel is op plekken waar groenstructuur gewaardeerd wordt de duurzaamste maatregel in combinatie met verticale infiltratiebuizen.

6.2.4 Infiltratiekragen

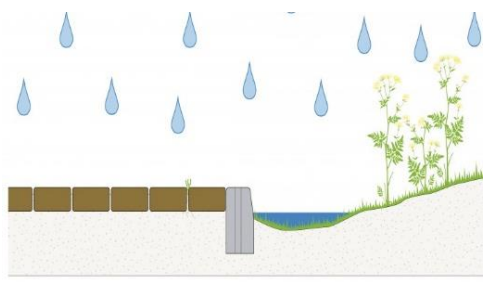
Infiltratiekragen kunnen water ondergronds tijdelijk bergen en infiltreren. Door infiltratiekragen kan het water dat normaal naar het riool stroomt tijdelijk gebufferd worden en vertraagd afgestaan worden aan het grondwater. De infiltratie kragen worden ondergronds geplaatst (zie Figuur 22), hierdoor blijft de ruimte bovengronds beschikbaar voor bijvoorbeeld parkeerplaatsen.

Bij aanleg van infiltratiekragen wordt gebruikt gemaakt van kunststof kragen. Infiltratiekragen hebben de grootste ondergrondse berging van alle maatregelen ($0,75 \text{ m}^3$ per m^2). Naast ondergrondse berging heeft deze maatregel geen bovengrondse berging. Via buizen kan het water wat op het verharde oppervlak valt geborgen worden tussen het geraamte van de kragen. Infiltratiekragen zijn een geschikte maatregel wanneer er neerslag van een lage intensiteit valt. Bij neerslag met een hoge intensiteit zal het hemelwater tijdelijk geborgen kunnen worden door middel van kolken die aangesloten zijn op de infiltratiekragen.

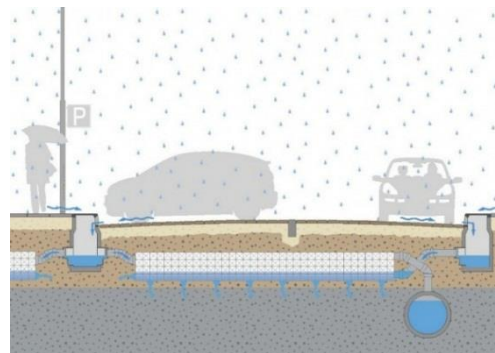
De prijs per m^3 berging (€680,00) en de aanlegkosten (€512,00 per m^2) zijn veruit het duurste vergeleken met de andere maatregelen. Door de hoge kosten per m^3 berging en dat er geen informatie beschikbaar is voor het beheer en onderhoud zijn infiltratiekragen een minder aantrekkelijke maatregel dan de andere onderzochte maatregelen.



Figuur 20 Dwarsdoorsnede infiltratiestrook (Groenblauwenetwerken, z.d.)



Figuur 21 Dwarsdoorsnede greppel (Groenblauwenetwerken, z.d.)



Figuur 22 Dwarsdoorsnede infiltratiekragen (Groenblauwenetwerken, z.d.)

6.2.5 Waterdoorlatende verharding

Waterdoorlatende verharding bestaat uit poreus materiaal waar water door heen kan stromen (zie Figuur 23). In dit advies worden grasbetontegels en waterdoorlatende klinkerverharding onderzocht. De voordelen van waterdoorlatende verharding zijn dat het regenwater in de bodem kan infiltreren, het grondwater aan kan vullen en hierdoor het riool ontlast wordt. Grasbetontegels worden meestal gebruikt op parkeerplaatsen en waterdoorlatende klinkerverharding onder wegen in woonwijken.

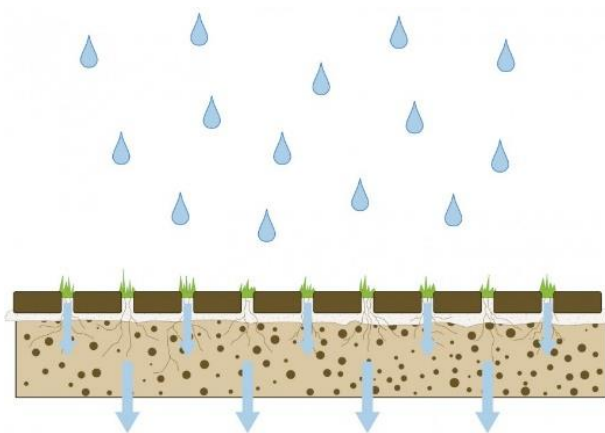
Bij aanleg van waterdoorlatende verharding wordt gebruikt gemaakt van waterdoorlatende klinkers en/of grasbetontegels. Waterdoorlatende verharding heeft geen bovengrondse berging. De berging die de infiltratiestrook bezit is tussen de poriën van het grind en lavasteen ($0,39 \text{ m}^3$ per m^2). Waterdoorlatende verharding is een geschikte maatregel wanneer er neerslag valt met een lage intensiteit. De ondergrond heeft dan de tijd om hemelwater te infiltreren. Intensieve hoosbuien kan een infiltratiestrook niet al het hemelwater in een keer verwerken waardoor tijdelijke plasvorming kan ontstaan.

Door de prijs per m^3 berging (€260,00) en de aanlegkosten (€100,00 per m^2) is waterdoorlatende verharding niet de duurste maatregel maar ook niet de goedkoopste. Op plekken waar de functie parkeren en/of verharding behouden dient te blijven is waterdoorlatende verharding een goedkopere maatregel dan infiltratiekratten. Voor waterdoorlatende verharding zijn twee voorwaarden, op plekken waar vrachtwagens rijden kan deze maatregel niet toegepast worden. Het doorlatend vermogen van de poriën gaat hiervan achteruit. Daarnaast kan hemelwater dat direct op de waterdoorlatende verharding valt direct infiltreren. Dit geldt niet voor het hemelwater wat elders in het gebied valt. Dit water dient oppervlakkig afgevoerd te worden naar de waterdoorlatende verharding.

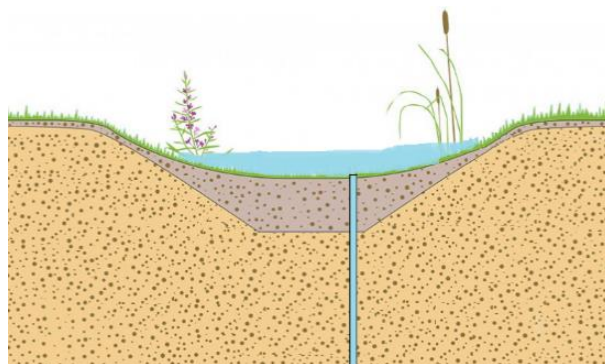
6.2.6 Verticale infiltratiebuis

De verticale infiltratiebuis vormt, wanneer deze eenmaal met water gevuld is, een verticale waterkolom. Onderaan de buis infiltreert het hemelwater eenvoudig door de achterliggende waterdruk, zie Figuur 24. Deze maatregel kan zowel boven als onder de grondwaterstand toegepast worden. Een infiltratiebuis neemt weinig ruimte in beslag en is daardoor makkelijk toepasbaar in stedelijke gebieden. De meest gebruikte diameter van de buis is 110 mm en kunnen tot een diepte van 10 meter toegepast worden zonder vergunning, wanneer de buis dieper geplaatst dient te worden is er een vergunning voor nodig (E. Lammers, persoonlijke communicatie, 7 mei 2018).

Verticale infiltratie kan $5 \text{ m}^3/\text{uur}$ infiltreren en heeft een geringe directe berging. Hierdoor is verticale infiltratie het best toepasbaar in een greppel of een wadi. Nadat de bui is afgelopen infiltreert het water alsnog door de verticale infiltratiebuizen. De greppel/wadi blijft dan door verzadiging van de grond of een slecht doorlatende laag niet volstaan met water. Het materiaal per buis kost tussen de €300 en €700, dit is afhankelijk van de benodigde diepte. Daarnaast kost de machine die de buizen plaatst €2500 per dag. Deze machine plaats ongeveer 10 tot 15 buizen per dag, het exacte aantal hangt af van bereikbaarheid van het gebied (E. Lammers, persoonlijke communicatie, 7 mei 2018).



Figuur 23 Dwarsdoorsneden waterdoorlatende verharding (Groenblauwenetwerken, 2009)

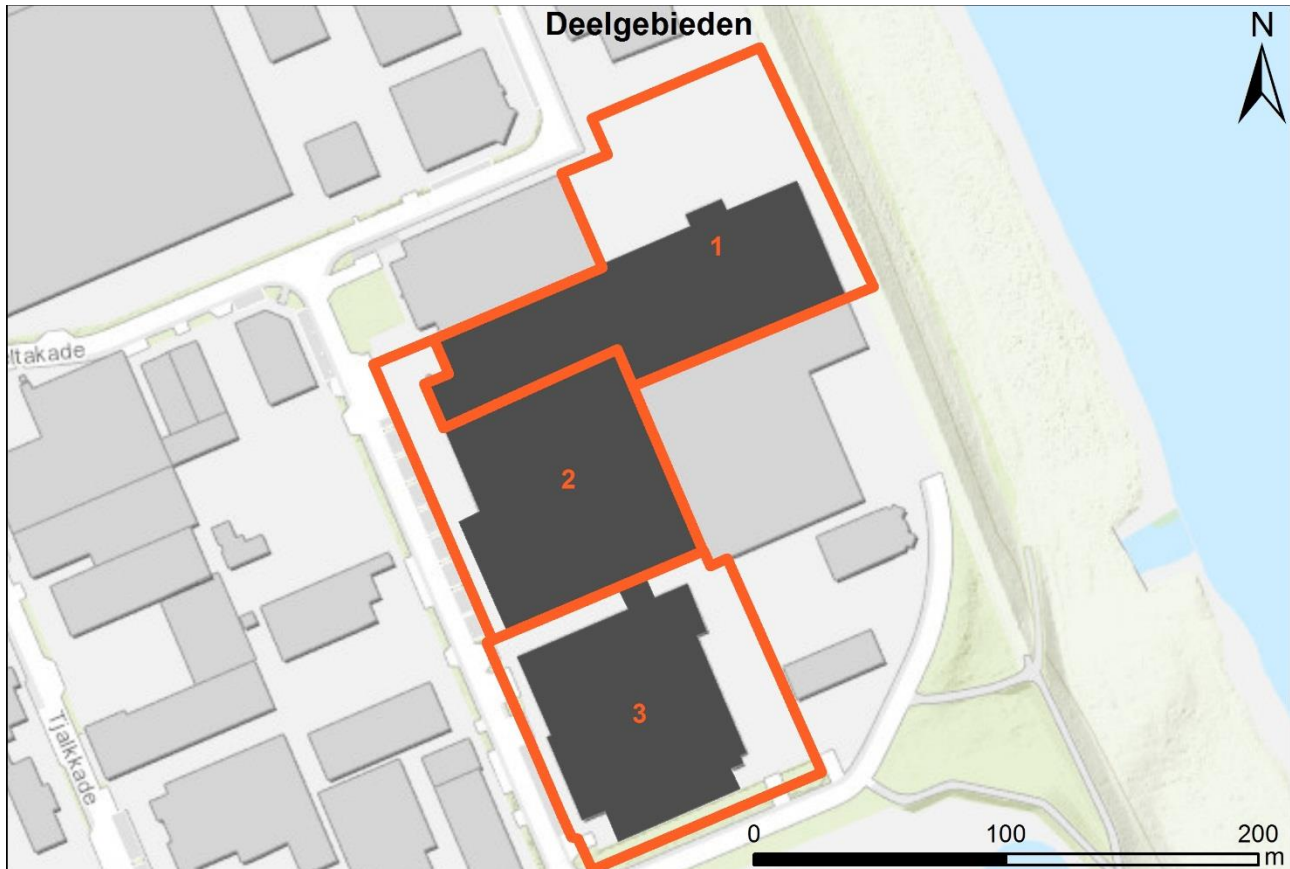


Figuur 24 Dwarsdoorsnede verticale infiltratiebuis (Groenblauwenetwerken, z.d.)

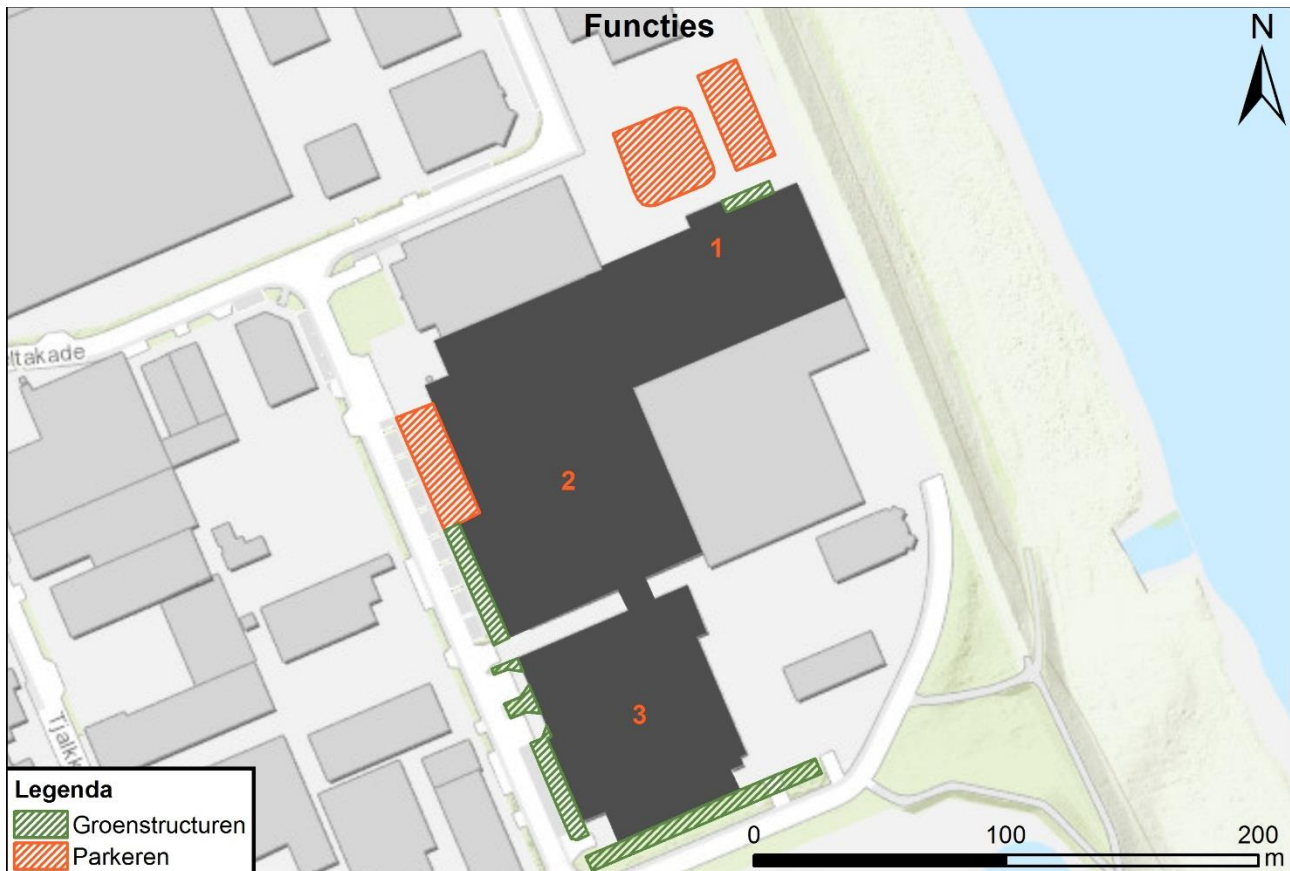
6.3 Meest geschikte maatregelen

De bovengenoemde maatregelen zijn alle zes toepasbare maatregelen. Uiteindelijk wil MIFA het meest doelmatige en efficiënte ontwerp in ontvangst nemen. De maatregelen kunnen daardoor het best met elkaar vergeleken worden door middel van de prijs per m³ berging. De greppel is het goedkoopste per m³ berging. De wadi is in verhouding goedkoper dan de greppel met verticale infiltratiebuizen. Het voordeel van de infiltratiebuizen is dat het geen extra ruimte voor nodig is. Infiltratiebuizen zorgen ervoor dat de greppel na een korte periode (5m³/uur) weer droog komt te staan, zodat de volgende bui weer optimaal geborgen kan worden. Een wadi in combinatie met verticale infiltratiebuizen is duurder dan een greppel met verticale infiltratiebuizen. De ondergrond op het terrein van MIFA kan in de onderliggende lagen klei bevatten, waardoor verticale infiltratiebuizen een betrouwbaardere maatregel is dan een wadi.

Naast groenstructuur is waterdoorlatende verharding en infiltratiekragen een optie op plekken waar verhardoppervlak behouden moet blijven. Waterdoorlatende verharding is een goedkopere optie dan infiltratiekragen per m³ berging. Dit verschilt €420 per m³ berging. De waterdoorlatende verharding is daardoor meer geschikt dan infiltratiekragen. Bij het toepassen van waterdoorlatende verharding is veel oppervlak nodig om de wenselijke berging te creëren. Wanneer het oppervlak te klein is kan er alsnog gebruikt gemaakt worden van een combinatie van waterdoorlatende verharding en infiltratiekragen.



Figuur 25 Deelgebieden



Figuur 26 Functiekaart terrein MIFA

7. Terreininrichting

In dit hoofdstuk wordt nader ingegaan op de wijze waarop de meest geschikte maatregelen, die in het voorgaande hoofdstuk zijn besproken, ingepast worden op het terrein van MIFA. Aan de hand van doelen voor de hoeveelheid te bergen neerslag en het afstromend oppervlak is de benodigde berging in m³ berekend. De benodigde berging wordt opgevangen door de meest efficiënte en doelmatige maatregelen per deelgebied. In dit hoofdstuk wordt de deelvraag: *“Wat is het meest efficiënte ontwerp om water op straat te verminderen rondom het terrein van MIFA?”* beantwoord.

7.1 Uitgangspunten

Voor het uitwerken van de ontwerpen zijn een aantal uitgangspunten gehanteerd. Deze uitgangspunten hebben invloed op de dimensionering en visualiseren van het ontwerp. De uitgangspunten komen veelal voort uit onzekerheden. Voor de uitwerking van het ontwerp is het terrein van MIFA opgedeeld in drie deelgebieden, zie Figuur 25 en Tabel 4. De deelgebieden zijn afgestemd op het afstromend oppervlak en de richting daarvan.

Het doel is om voor deelgebied 1 een berging te realiseren die een bui van 30 mm kan opvangen/infiltreren en voor deelgebied 2 en 3 een bui van 50 mm (Tabel 4). Dit verschil zit in het risico per deelgebied. Het risico tot hemelwateroverlast is bij deelgebieden 2 en 3 langs de deltakade het grootst. Bij deze deelgebieden wordt daardoor met een bui van 20 mm meer gerekend dan deelgebied 1.

In deelgebied 1 ontstaat in mindere mate water op straat. Het doel is om deelgebied 2 te ontlasten, door een deel van het dakoppervlak dat normaal afwatert op deelgebied 2 af te laten stromen op het verhard oppervlak in deelgebied 1. Hierdoor komt er in deelgebied 1 een aantal m³ hemelwater bij die geborgen dient te worden dan in de huidige situatie. Een berging van een bui van 30 mm is een aannemelijke berging voor deelgebied 1.

Tabel 4 Totale oppervlakte van de deelgebieden

Deelgebied	Verhard oppervlak	Doel berging neerslag	Benodigde berging
1	11.750 m ²	30 mm	353 m ³
2	8.740 m ²	50 mm	437 m ³
3	9.870 m ²	50 mm	494 m ³
Totaal	30.360 m ²	-	1.284 m ³

De uitgangspunten zijn:

1. Het hemelwater dat valt in een deelgebied dient in hetzelfde gebied verwerkt te worden.
2. MIFA lost in alle gevallen direct op het HWA-stelsel. Als het volledige capaciteit van het HWA-stelsel benut is dan wordt het hemelwater van MIFA middels overstorten geloosd op de bergings-/infiltratievoorzieningen.
3. Evaporatie (verdamping) van hemelwater is nihil en wordt daardoor niet meegenomen in de berekeningen.
4. In de tekeningen van de deelgebieden is het huidige HWA-stelsel van MIFA tot op zekere hoogte meegenomen door het ontbreken van informatie (hoogte, ligging, dimensionering en staat). Ook kan de ligging hiervan afwijken van de realiteit.
5. Samen met de directie van MIFA zijn enkele plekken in kaart gebracht waar aanpassingen aan het terrein gedaan kunnen worden. De gebieden staan weergegeven in Figuur 26. Gebieden van met de functie parkeren dienen deze functie te behouden.

7.2 De inpassing van de maatregelen

De kosten en bijbehorende efficiëntste en doelmatige maatregelen zijn om de 5 mm bepaald per deelgebied, zie Bijlage F.1, F.2 en F.3.

In Figuur 26 zijn de functies van het beschikbare terrein voor het inpassen van de maatregelen van MIFA weergegeven. De functies bestaan uit: groenstructuren en parkeren. Op de plekken waar groenstructuur gewenst is, wordt onderzocht wat voor bovengrondse groenstructuren aangelegd kunnen worden om de gewenste berging mee te dekken. Op het oppervlak dat bestemd is voor parkeren worden maatregelen toegepast waar de functie parkeren behouden blijft.

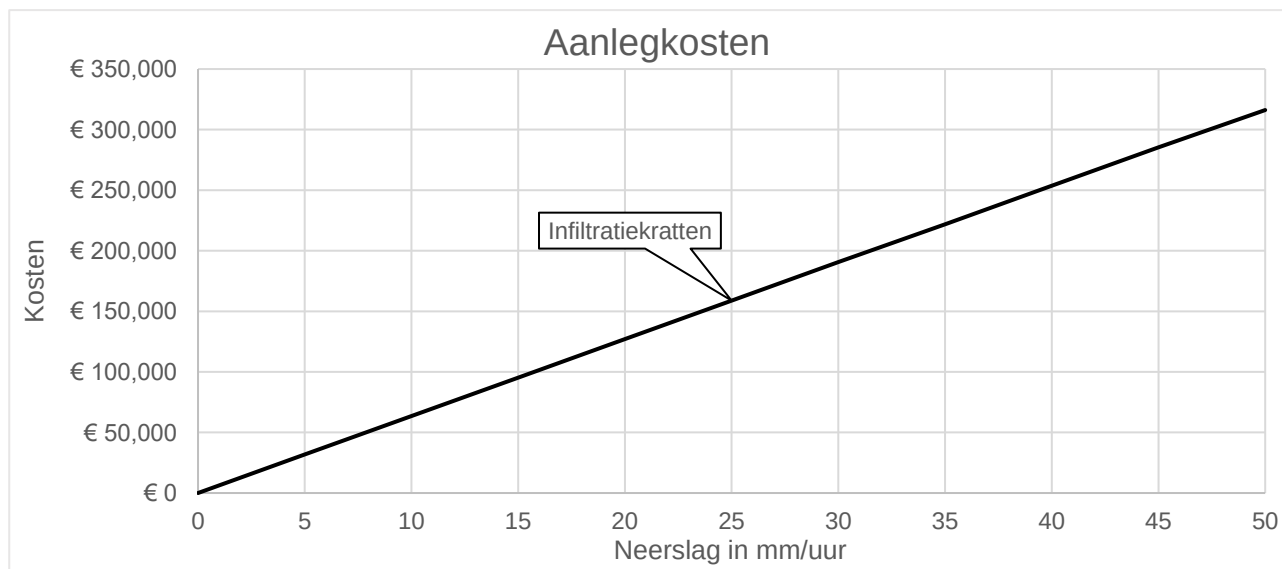


Figuur 27 Sfeerbeeld infiltratiekratten onder parkeerplaatsen deelgebied 1 (La Faille, 2017)

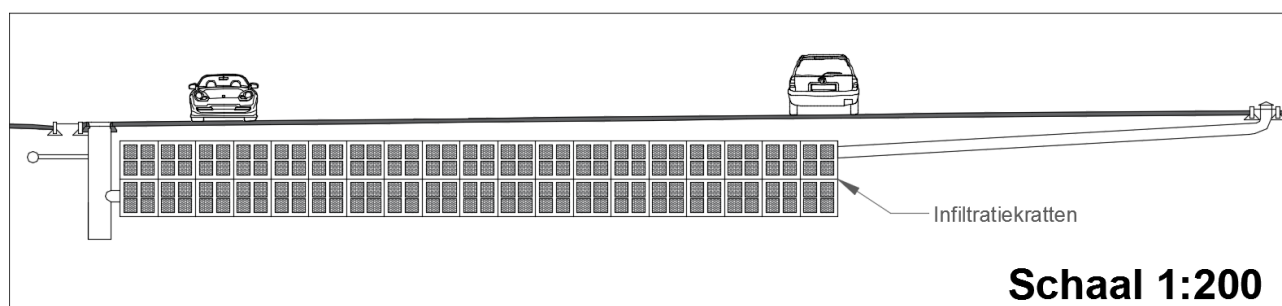
7.2.1 Deelgebied 1

Deelgebied 1 bestaat uit een afvoerend oppervlak van in totaal 11.750 m². De functie van het verharde oppervlak dient behouden te blijven. Bij dit deelgebied zijn waterdoorlatende verharding en infiltratiekratten geschiktte maatregelen. In verhouding is waterdoorlatende verharding goedkoper wanneer het water op het verharde oppervlak richting de waterdoorlatende verharding afstroomt. In deelgebied 1 is dit niet het geval. In deelgebied 1 stroomt het water richting een goot ten zuiden van de parkeerplaatsen waar vrachtwagen rijden. Bij hevige neerslag hoopt het water voornamelijk op rond deze goot. Waterdoorlatende verharding is hier dus alleen plaatselijk effectief, alleen het water dat daadwerkelijk op de waterdoorlatende verharding valt wordt geïnfiltreerd. Dan blijft nog een groot gedeelte van het afvoerend oppervlak over. Infiltratiekratten is een efficiëntere optie, omdat het veel hemelwater kan bergen en aangesloten kan worden op bijvoorbeeld een goot waar het water wel naar toe stroomt tijdens neerslag.

Er wordt uitgegaan bij deelgebied 1 van een bui van 30 mm omdat het risico tot hemelwateroverlast hier kleiner is dan langs de Deltakade. 30 mm is een aannemelijke bui voor deelgebied 1. Voor een berging van een bui van 30 mm zijn er 373 infiltratiekratten nodig. In het ontwerp is uitgegaan van 380. De kratten komen onder het parkeerterrein te liggen op een oppervlakte van 10 bij 19 meter. De infiltratiekratten worden in 2 lagen op elkaar geplaatst, zie Figuur 27. De onderhoudskosten bij infiltratiekratten zijn onbekend. De aanlegkosten zijn op Figuur 28 weergegeven per neerslag in mm/uur. De technische tekening van het ontwerp die behoort bij deelgebied 1 is deels weergegeven in Figuur 29 en volledig in Bijlage F.4.



Figuur 28 Aanlegkosten deelgebied 1



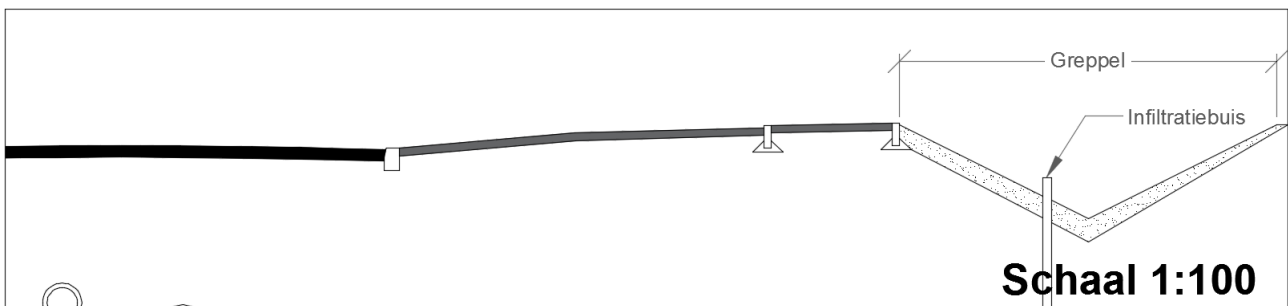
Figuur 29 Lengteprofiel infiltratiekratten onder het parkeerterrein



Figuur 30 Sfeerbeeld greppel deelgebied 2 (Achter de breede sloot, z.d.)



Figuur 31 Sfeerbeeld waterdoorlatende verharding deelgebied 2 (Van de Bosch Beton b.v., z.d.)



Figuur 32 Dwarsprofiel greppel deelgebied 2

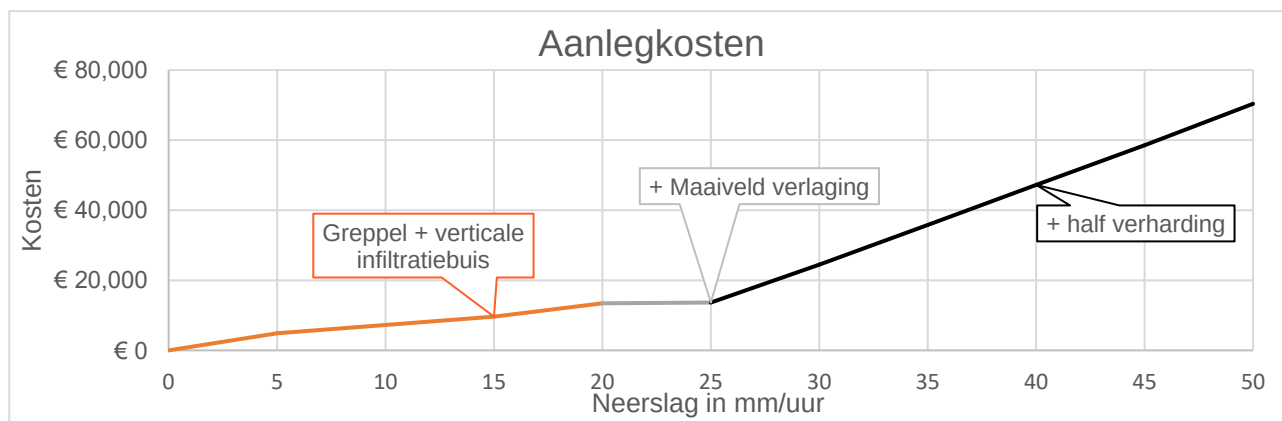
7.2.2 Deelgebied 2

Bij deelgebied 2 zijn twee verschillende oppervlaktes beschikbaar om maatregelen toe te passen met elk een andere functie, zie Figuur 26. Ten noorden van de Deltakade bestaat het oppervlak voornamelijk uit parkeerplaatsen, MIFA wilt de mogelijkheid tot parkeren behouden. Het is dan ook van belang dat op deze plek alleen doorlatende verharding of ondergrondse berging/infiltratie toegepast wordt.

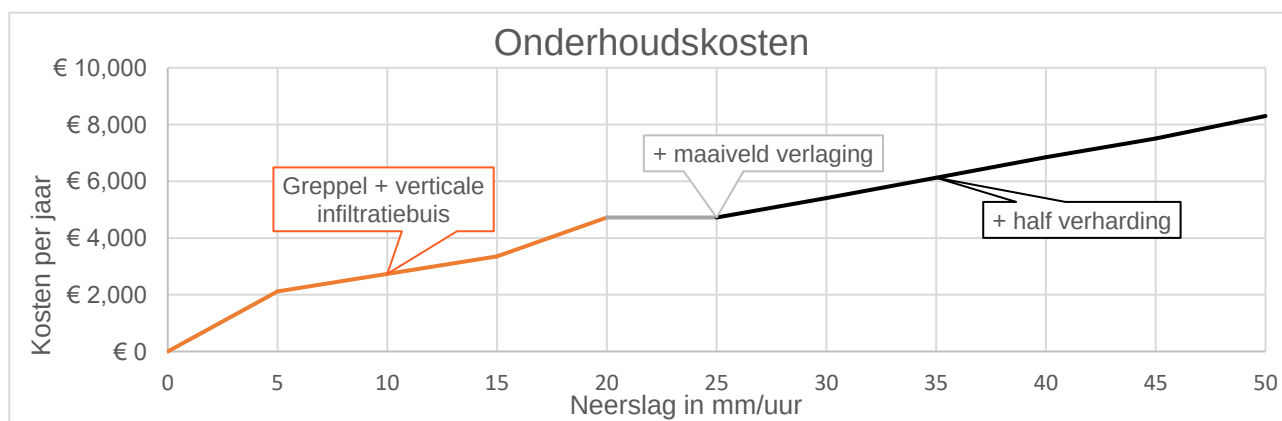
In het zuidelijke deel van deelgebied 2 met de functie groenstructuur kan wel bovengrondse berging gecreëerd worden. De efficiëntste versie van bovengronds bergen is een greppel in combinatie met verticale infiltratiebuizen. In deelgebied 2 is dan ook eerst onderzoek gedaan naar een greppel met verticale infiltratiebuizen. De verticale infiltratie versnelt het infiltratie proces.

In Figuur 33 en Figuur 34 zijn de aanlegkosten en onderhoudskosten weergegeven van de maatregelen. In Figuur 33 is af te lezen dat de combinatie van een greppel met verticale infiltratiebuizen maar maximaal 20 mm kan bergen op het oppervlak dat beschikbaar is. Op het oppervlak ten noorden van de deltakade kan doorlatende half verharding geplaatst worden en onder de greppel is een mogelijkheid om infiltratiekratten te plaatsen, verlaging van het maaiveld is ook een optie. Figuur 33 laat ook zien dat met verlaging van 10 cm in het midden van de weg ten opzichte van het maaiveld 5 mm extra neerslag geborgen kan worden.

Deelgebied 2 is een risicovol gebied. Op de Deltakade ontstaat bij hevige neerslag het eerste water op straat. Hierdoor wordt geadviseerd om een berging die een bui van 50 mm kan bergen te realiseren. Om deze berging te kunnen creëren is een extra maatregel nodig waarbij de parkeerplaatsen behouden blijven. In Hoofdstuk 6 is vastgesteld dat infiltratiekratten in verhouding duurder zijn dan half verharding. De extra 25 mm berging kan gecreëerd worden door waterdoorlatende verharding toe te passen in de vorm van 194 m² doorlatende klinkerverharding en 365 m² grasbetontegels. Door de verlaging van 10 cm blijft het water staan en kan het infiltreren. De inpassing van waterdoorlatende verharding in combinatie met een grondverlaging en een greppel met verticale infiltratiebuizen is door middel van een technische tekening eenvoudig weergegeven in Figuur 32 en uitgebreid in Bijlage F.5. Figuur 30 en Figuur 31 geven sfeerbeelden weer van de greppel en waterdoorlatende verharding in deelgebied 2.



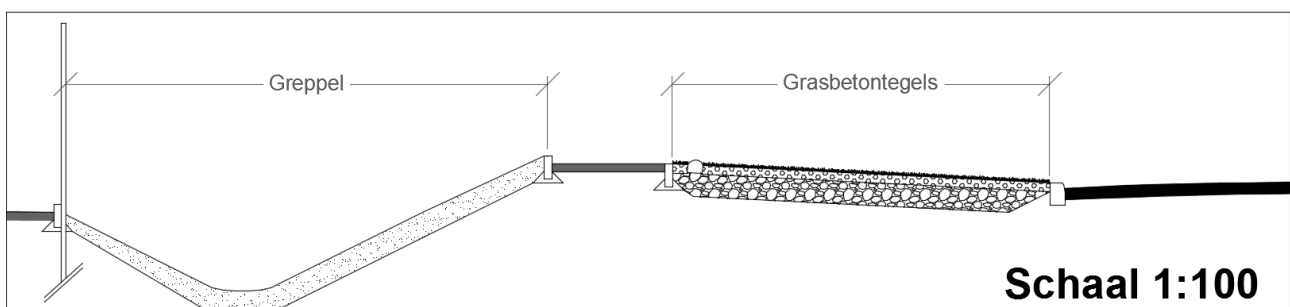
Figuur 33 Aanlegkosten deelgebied 2



Figuur 34 Onderhoudskosten per jaar deelgebied 2



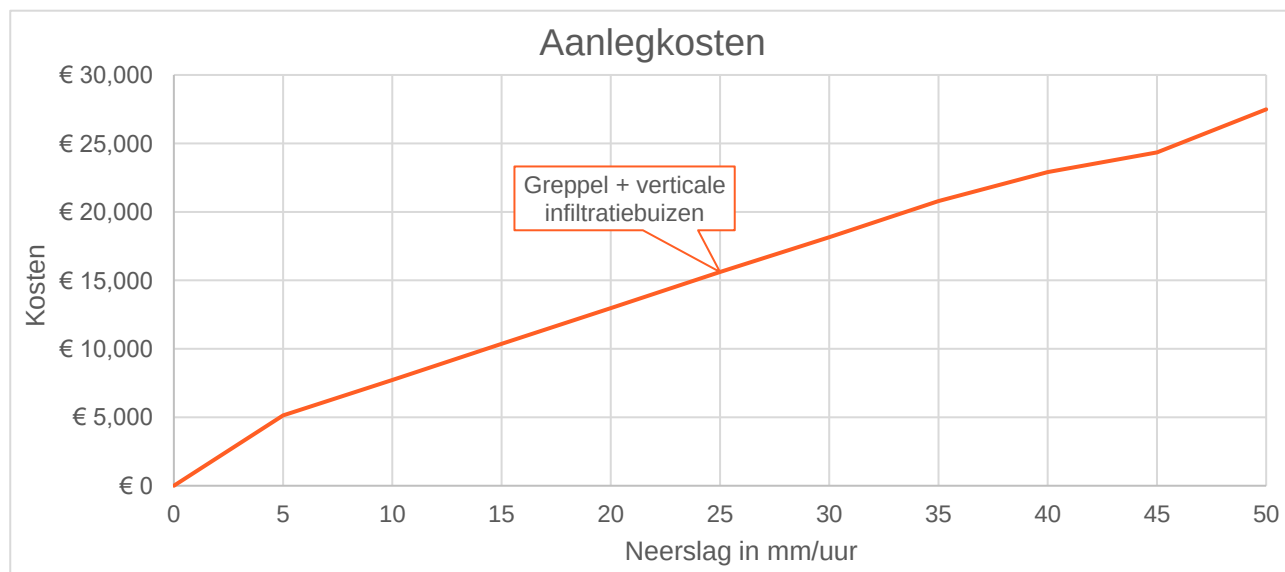
Figuur 35 Sferbeeld greppel deelgebied 3 (WaterWindow, z.d.)



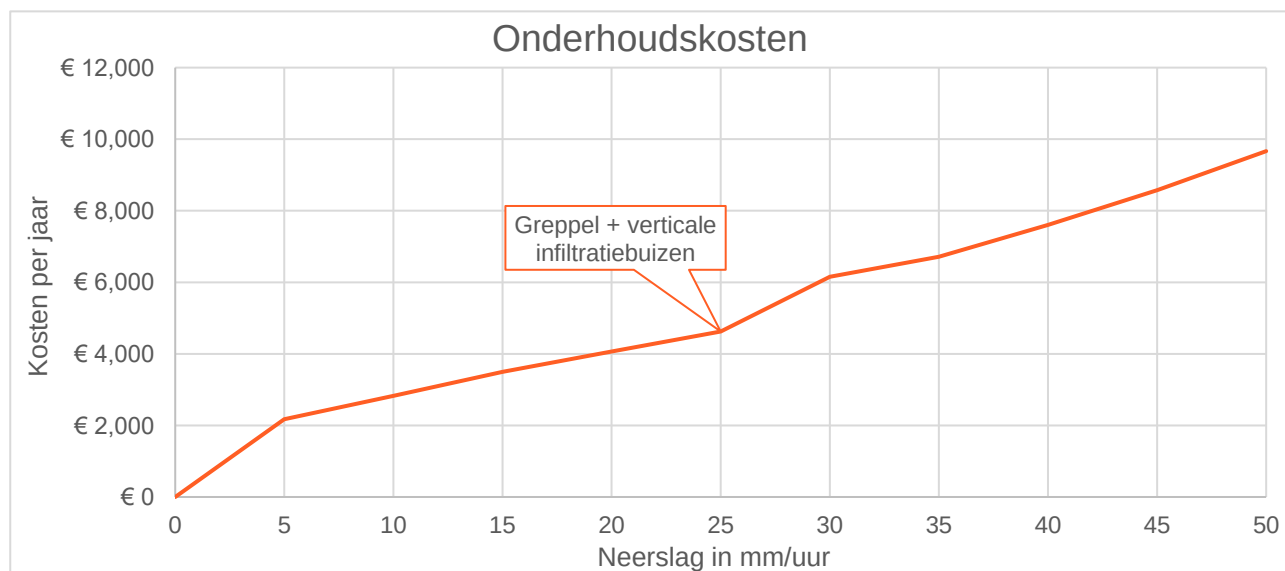
Figuur 36 Dwarsdoorsnede greppel deelgebied 3

7.2.3 Deelgebied 3

MIFA is bezig met het verbouwen van het gebouw in deelgebied 3. Rondom het gebouw zijn oppervlaktes beschikbaar die gebruikt kunnen worden voor maatregelen. Op de beschikbare oppervlaktes kunnen alle onderzochte maatregelen gebruikt worden. MIFA heeft hier de voorkeur voor groenstructuren (zie Figuur 26). Greppels zijn vergeleken met de andere maatregelen goedkoop. In Figuur 37 en Figuur 38 zijn de aanleg- en onderhoudskosten weergegeven per 5 mm neerslag. Op dit overzicht is te zien dat greppels met verticale infiltratiebuizen toepasbaar zijn bij een berging van een bui van 50 mm. Om de berging te realiseren dienen 6 greppels met 9 verticale infiltratiebuizen geplaatst te worden. Figuur 35 weergeeft een sfeerbeeld van een greppel in deelgebied 3. In Bijlage F.6 is de inpassing van de greppels in combinatie met de verticale infiltratiebuizen weergegeven middels technische tekeningen zoals Figuur 36.



Figuur 37 Aanlegkosten deelgebied 3



Figuur 38 Onderhoudskosten per jaar deelgebied 3

7.3 Het meest geschikte ontwerp

De maatregelen die toegepast dienen te worden op het terrein van MIFA om de uit paragraaf 7.1 genoemde buien op te vangen zijn per deelgebied weergegeven in Tabel 5.

Tabel 5 Maatregelen per deelgebied

Deelgebied	Maatregelen
1	380 infiltratiekratten van 1*1*1 m
2	1 greppel, 7 infiltratiebuizen, grondverlaging, 194 m ² doorlatende klinkerverharding en 365 m ² grasbetontegels
3	6 greppels met 9 verticale infiltratiebuizen

De berging en de kosten van maatregelen die toegepast dienen te worden van elk deelgebied zijn weergegeven in Tabel 6.

Tabel 6 Kosten per deelgebied

Deelgebied	Berging	Aanlegkosten	Onderhoudskosten
1	353 m ³	€ 190.608	€ N.B.
2	473 m ³	€ 70.366	€ 8.301
3	493 m ³	€ 27.488	€ 9.666
Totaal	1319 m³	€ 288.462	€ 17.967

Het meest efficiënte ontwerp op het terrein van MIFA heeft een berging van 1319 m³ en gaat ongeveer € 290.000 kosten met jaarlijkse lasten voor beheer en onderhoud van ongeveer €18.000 exclusief onderhoud infiltratiekratten. Het ontwerp bestaat uit:

- 7 greppels
- 6 bij 40 meter met een talud van 1:2
- 5 bij 45 meter met een talud van 1:2
- 5 bij 18 meter met een talud van 1:3
- 5 bij 14 meter met een talud van 1:3
- 5 bij 40 meter met een talud van 1:2
- Twee kleine greppels met een talud van 1:2
- 16 verticale infiltratiebuizen
- 194 m² doorlatende klinkerverharding
- 365 m² grasbetontegels
- 10 cm maaiveld verlaging onder de grasbetontegels en waterdoorlatend klinkerverharding.
- 380 infiltratiekratten

De uiteindelijke kosten kunnen afwijken, omdat alle bureaus en bedrijven eigen prijzen hanteren die kunnen afwijken met de prijzen die in dit rapport zijn gebruikt en er kunnen onverwachte kosten ontstaan. De kosten zijn gebaseerd op kerngetallen van Stichting RIONED, GWWkosten en andere bronnen voor onder andere prijzen voor het leveren van verschillende grondsoorten.

8. Conclusie

In de conclusie wordt de centrale vraag van dit onderzoek beantwoord: *“Wat is de meest doelmatige en efficiënte wijze om de kans op hemelwateroverlast op het terrein van MIFA te verminderen?”* Om deze vraag te beantwoorden worden de belangrijke punten uit de voorgaande hoofdstukken gebruikt.

Uit de resultaten van het onderzoek is gebleken dat de meest doelmatige en efficiënte wijze om de kans op hemelwateroverlast het terrein van MIFA te verminderen bestaat uit een combinatie van zo duurzaam mogelijke maatregelen die hemelwater vasthouden en bergen op het terrein van MIFA.

De oorzaak van water op straat is vastgesteld en bevat meerdere oorzaken. De straten rondom MIFA liggen vergeleken met de rest van het industrieterrein Venlo Trade Port laag. De Deltakade is daarvan een van de laagst gelegen straten. Door de druk in het hemelwaterriool bij extreme neerslag en oppervlakkige afstroming van de hoger gelegen straten, ontstaat er bij de Deltakade water op straat. Venlo Trade Port bestaat grotendeels uit verhard oppervlak. Al het water wat op het terrein van MIFA valt wordt direct op het hemelwaterstelsel afgevoerd. Door de verandering van het klimaat neemt de toenemende intensiteit van buien toe. De combinatie van deze factoren zorgen ervoor dat hemelwaterstelsel snel overbelast wordt bij extreme buien waardoor snel water op straat ontstaat.

Op het terrein van MIFA zijn een aantal locaties vastgesteld waar maatregelen om hemelwater te bergen/infiltreren toegepast kunnen worden. Hierin is onderscheid gemaakt in groenstructuur en het behouden van verhard oppervlak. Met maatregelen die toepasbaar zijn op de beschikbare plekken kunnen met behulp van vasthouden en/of bergen op het terrein van MIFA de kans op hemelwateroverlast verminderen.

MIFA ambieert een autonoom systeem, om het gewenste resultaat te behalen bestaat het advies uit de meest doelmatige en efficiënte combinatie van autonome maatregelen. De combinatie van maatregelen bestaat uit: 194 m² doorlatende klinkerverharding, 365 m² grasbetontegels, 7 greppels in combinatie met 16 verticale infiltratiebuizen, een verlaging van 10 cm van het maaiveld en 380 infiltratiekratten. De maatregelen in de deelgebieden 2 en 3 kunnen op het terrein van MIFA naast de Deltakade in totaal 50 mm neerslag bergen en bij de ingang van MIFA (deelgebied 1) waar de kans op hemelwateroverlast minder is kunnen de maatregelen 30 mm neerslag bergen.

9. Aanbevelingen

9.1 Straatkolken onderhouden

De kolken op het terrein van MIFA zijn niet op de gewenste manier onderhouden. De staat van de kolken zijn weergegeven in Bijlage C.6. Als kolken verzadigd raken, kunnen de kolken niet meer optimaal het hemelwater afvoeren. Bij buien die normaal geen hemelwateroverlast veroorzaken kunnen bij verzadigde kolken alsnog overlast veroorzaken. Een aanbeveling voor MIFA is om de kolken te onderhouden met een onderhoudsplan. Kolken dienen elk jaar, het liefst in de winter schoongemaakt worden. Het bladafval en restafval wat in dat jaar terecht is gekomen in de kolken kan dan afgevoerd worden, waardoor de kolken weer functioneren zoals het hoort.

De kolken van de Gemeente Venlo zaten tijdens de inventarisatie op de Deltakade vol met bladafval. De gemeente dient deze putten schoon te houden. Echter kan het gebeuren dat een aantal kolken overgeslagen worden zonder dat de Gemeente dat opmerkt. MIFA kan tijdens het legen van de putten op het terrein van MIFA ook de putten van de Gemeente Venlo langs de Deltakade meenemen waar nodig. Het risico tot het vallen van een extreme bui zit in een klein hoekje, waardoor wachten op de Gemeente een risico vormt. Daarnaast wordt aanbevolen wanneer de kolken van de gemeente Venlo vol zitten dat door te geven aan de Gemeente. Als verstopte kolken gemeld worden bij de Gemeente, is er een grote kans dat de Gemeente de kolken komt bekijken en de kolken niet vergeten worden.

9.2 Collectief bergen

MIFA kan door dit advies aantonen dat door kleine aanpassingen duurzaam omgegaan kan worden met hemelwater. Dit kan voor andere bedrijven in de regio een voorbeeld zijn om hetzelfde te doen. Om het effect van dit advies te versterken is het verstandig om een vervolgonderzoek te doen met een grotere scope. In dit vervolgonderzoek kan het industriegebied waar MIFA deel van uitmaakt collectief afspraken maken om samen zo klimaatrobust mogelijk te worden. Als de hoger gelegen bedrijven het hemelwater zo veel mogelijk infiltreert of bergt op eigen terrein zou dat de Deltakade naast MIFA nog meer ontlasten.

Er wordt aanbevolen om samen met Ondernemend Venlo te onderzoeken of andere bedrijfspanden op het industrieterrein Venlo Trade Port interesse hebben in het collectief infiltreren en bergen op eigen terrein. Als er interesse is kan er een gezamenlijke strategie bepaald worden.

9.3 Rioolrevisie

Gemeente Venlo staat ervoor open om het riool van de gemeente te inspecteren wanneer MIFA het riool in kaart heeft gebracht door middel van een technische tekening. Op dit moment is er nog te veel onzekerheid over de ligging van het rioolstelsel van MIFA. Hierdoor wordt er aanbevolen om een rioolrevisie te laten maken door een gespecialiseerd bedrijf. Met een dergelijke tekening kan de gemeente het riool hydraulisch doorrekenen.

Literatuurlijst

- Achter de breede sloot. (z.d.). Opgeroepen op 6 juni, 2018, van <http://www.achterdebreedesloot.nl/>
- Bisschop, C., De Groot, B., Zethof, M., & Leenders, J. (2015). *Veiligheid Nederland in Kaart 2, Overstromingsrisico Maasdal Limburg*. Lelystad: Rijkswaterstaat WVL. Opgeroepen op 15 maart, 2018
- Boogaard, F., Bruins, G., & Wentink, R. (2006). *Wadi's: aanbevelingen voor ontwerp, aanleg en beheer*. Ede: Stichting RIONED. Opgeroepen op 17 april, 2018, van <http://edepot.wur.nl/377083>
- CBS, PBL, RIVM, WUR. (2018). *Temperatuur in Nederland en mondiaal, 1906-2017*, 13. Opgeroepen op 30 april, 2018, van <http://www.clo.nl/indicatoren/nl0226-temperatuur-mondiaal-en-in-nederland>
- Gemeente Venlo. (2014). *Gemeentelijk Rioleringsplan Venlo 2014-2023*. Venlo: Gemeente Venlo. Opgeroepen op 27 maart, 2018
- Gemeente Venlo. (2016). *Bouwen met Maaswater*. Venlo. Opgeroepen op 22 maart, 2018, van http://www.meermaasmeervenlo.nl/fileadmin/user_upload/MIRT_Onderzoek_-_Bouwen_met_Maaswater.pdf
- Groenblauwenetwerken. (2009). *Waterdoorlatende verhardingsmaterialen*. Opgeroepen op 3 mei, 2018, van Groenblauwenetwerken: <http://nl.urbangreenbluegrids.com/measures/porous-paving-materials/>
- Groenblauwenetwerken. (z.d.). *Greppels*. Opgeroepen op 3 mei, 2018, van Groenblauwenetwerken: <http://nl.urbangreenbluegrids.com/measures/ditches/>
- Groenblauwenetwerken. (z.d.). *Infiltratiekratten en infiltratieputten*. Opgeroepen op 3 mei, 2018, van Groenblauwenetwerken: <http://nl.urbangreenbluegrids.com/measures/infiltration-boxes-and-infiltration-drainswells/?theme=2>
- Groenblauwenetwerken. (z.d.). *Stedelijke infiltratiestroken*. Opgeroepen op 3 april, 2018, van Groenblauwenetwerken: <http://nl.urbangreenbluegrids.com/measures/urban-infiltration-strips/>
- Groenblauwenetwerken. (z.d.). *Wadi's*. Opgeroepen op 16 mei, 2018, van Groenblauwenetwerken: <http://nl.urbangreenbluegrids.com/measures/bioswales/?theme=2>
- Hiemstra, G. (2017). *Gevolgen van klimaatprobleem gaan ook Nederland Raken*. Opgeroepen op 30 april, 2018, van <https://zembra.bnnvara.nl/nieuws/gevolgen-van-klimaatprobleem-gaan-ook-nederland-raken>
- KNMI. (z.d.). *Grotere toename lokale neerslag extremen in warmer klimaat*. Opgeroepen op 4 april, 2018, van <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/achtergrond/grotere-toename-lokale-neerslag-extremen-in-warmer-klimaat>
- La Faille, L. (2017, 21 juni). *Stukje 'klimaatstraat' in Zwolse wijk Assendorp*. Opgeroepen op 6 juni, 2018, van Weblog Zwolle: <https://www.weblogzwolle.nl/nieuws/54288/stukje-klimaatstraat-in-zwolse-wijk-assendorp.html>
- Meer Maas, Meer Venlo. (2017). *Startdocument integrale verkenning MIRT/HWBP*. Venlo: Meer Maas Meer Venlo. Opgeroepen op 26 maart, 2018
- Milieu centraal. (z.d.). *Klimaatverandering*. Opgeroepen op 17 mei, 2018, van <https://www.milieucentraal.nl/klimaat-en-aarde/klimaatverandering/>
- Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat. (z.d.). *Waterwet*. Opgeroepen op 22 maart, 2018, van <http://wetten.overheid.nl/BWBR0025458/2018-02-17#Hoofdstuk6>
- Nederlandse organisatie van Toegepast-natuurwetenschappelijk Onderzoek TNO. (2017). *Ondergrondgegevens*. Opgeroepen op 13 maart, 2018, van Dinoloket: <https://www.dinoloket.nl/ondergrondgegevens>
- Provinciehuis Drenthe. (z.d.). *Belangrijk waterbesluit*. Opgeroepen op 5 juni, 2018, van Nationaalpark Dwingelderveld: <http://www.nationaalpark-dwingelderveld.nl/inrichting/thema/belangrijk/>

- Rijkswaterstaat. (2007). *Hoog- en laagwaterboekje*. Rijkswaterstaat. Opgeroepen op 13 maart, 2018
- Rijkswaterstaat. (z.d.). *Servicedesk data*. Opgeroepen op 4 april, 2018, van <https://www.rijkswaterstaat.nl/formulieren/aanvraagformulier-servicedesk-data.aspx>
- Stichting RIONED. (z.d.). *Overzicht regenwateroverlast in stedelijk gebied*. Opgeroepen op 28 mei, 2018, van Stichting RIONED: <https://www.riool.net/overzicht-regenwateroverlast-in-stedelijk-gebied>
- Thijssen, H. (2016). T-trex, Venlo. Opgeroepen op Maart 2018
- Tjebbes, F. (2018). *Programma's Hoogwaterbescherming samen verder*. (Hoogwaterbeschermingsprogramma) Opgeroepen op 26 maart, 2018, van Hoogwaterbeschermingsprogramma: <http://www.hoogwaterbeschermingsprogramma.nl/Actueel/Nieuws-actueel/983050.aspx>
- Van de Bosch Beton b.v. (z.d.). *Project: Alphen aan den Rijn, parkeerplaats Zegersloot*. Opgeroepen op 6 juni, 2018, van <http://www.vdboschbeton.nl/project/alphen-aan-den-rijn-parkeerplaats-zegersloot>
- Van den Beuken, J. (2016). MIFA Aluminium b.v., Venlo, Limburg, Nederland. Opgeroepen op 16 maart, 2018
- Van Lijstelaar, H., & Goedbloed, D. (2018, 22 mei). *Stresstest regenwateroverlast enkele aandachtspunten*. Opgeroepen op 28 mei, 2018, van Stichting RIONED: <https://www.riool.net/stresstest-regenwateroverlast-enkele-aandachtspunten>
- WaterWindow. (z.d.). *Hemelwateroverlast*. Opgeroepen op 6 juni, 2018, van <https://waterwindow.nl/casus/hemelwateroverlast-33>