



Gemeente Geldrop-Mierlo, uitvoeren van klimaatstresstesten

Definitief

2 september 2021

Kenmerk R001-1279448FLN-V01

Verantwoording

Titel	Gemeente Geldrop-Mierlo, uitvoeren van klimaatstresstest
Opdrachtgever	Gemeente Geldrop-Mierlo
Projectleider	Leon Droppert
Auteur(s)	Floris Harten, Ruben Keizer, Maartje van der Hofstad
Tweede lezer	Floris Harten
Uitvoering meet- en inspectiewerk	
Projectnummer	1279448
Aantal pagina's	38
Datum	2 september 2021
Handtekening	

Colofon

TAUW bv
Australiëlaan 5
Postbus 3015
3502 GA Utrecht
T +31 30 28 24 82 4
E info.utrecht@tauw.com

Inhoud

1.	Inleiding	5
1.1	Leeswijzer	6
2	Methode.....	6
2.1	KNMI Klimaatscenario's	6
2.2	Wateroverlast	6
2.2.1	Tygron	6
2.2.2	Gebruikte data en informatie.....	7
2.2.3	Model parameters en instellingen Tygron	8
2.2.4	Rekenvolgorde.....	13
2.2.5	Schadebepalingsmethodiek	15
2.2.6	Impact wateroverlast op infrastructuur	18
2.3	Hitte en loopafstand tot koelte.....	18
2.4	Droogte	21
2.5	Overstroming.....	22
3	Resultaten stresstesten	23
3.1	Wateroverlast	23
3.2	Hitte	23
3.3	Droogte	24
3.3.1	Beschrijving toekomstige situatie	26
3.3.2	Droogte in het landelijk gebied.....	27
3.3.3	Droogte in het stedelijk gebied.....	28
3.4	Overstromingen.....	28
4	Conclusies	29
5	Aanbevelingen.....	30
5.1	Van 'weten' naar 'willen'	30
5.2	Gerelateerde thema's.....	31
Bijlage 1	Waterdieptekaarten	
Bijlage 2	Beheerderstoets wateroverlast (Mural)	
Bijlage 3	Hittestresskaarten	

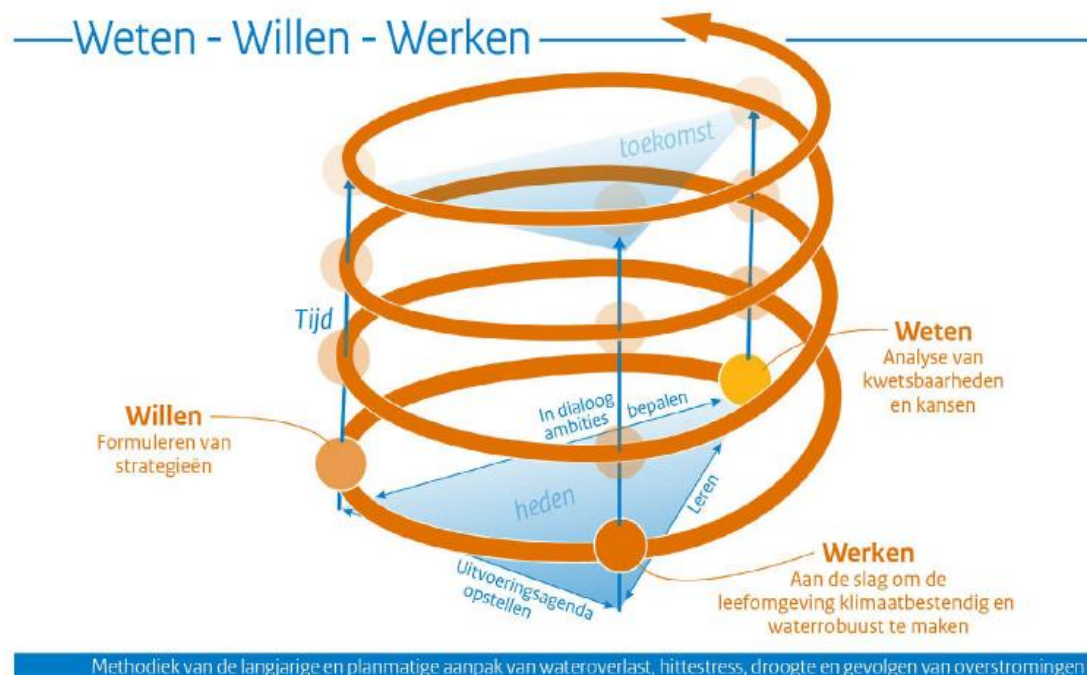
Kenmerk R001-1279448FLN-V01

Bijlage 4 Knelpuntenanalyse
Bijlage 5 Droogte (Mural)
Bijlage 6 GLG-analyse
Bijlage 7 Overstromingsscenario's klimaateffectatlas

1. Inleiding

Klimaatadaptatie is een belangrijke gemeentebrede opgave die vraagt om ontwikkeling van beleid en een eerste uitvoeringsprogramma. In het Deltaplan Ruimtelijke Adaptatie (DPRA) hebben Rijk en gemeenten immers met elkaar afgesproken om eind 2020 beleid en een uitvoeringsprogramma te hebben opgesteld en om in 2050 (zo goed mogelijk) klimaatadaptief ingericht te kunnen zijn. Hiervoor dienen gemeenten conform de **weten-willen-werken** systematiek stresstesten voor het gehele grondgebied uit te voeren en hierover de dialoog aan te gaan met relevante stakeholders zoals; waterschap, woningbouwcoöperaties, ondernemersraad, wijkraden e.d.

Om dit gericht te kunnen doen is het van belang de gevolgen van klimaatverandering helder in het vizier te hebben. De gemeente Geldrop-Mierlo voert daarom **stresstesten voor wateroverlast, overstroming, hitte en droogte** uit.



Deze stresstesten hebben als doel om inzicht te krijgen in welke problemen in de gemeente Geldrop-Mierlo ontstaan bij extreme neerslag, hittegolven, overstromingen en periodes van droogte. Acute knelpunten kunnen vervolgens worden aangepakt. Op basis van risicodialoog kan een strategie en beleid worden opgesteld om langzamerhand meer klimaatbestendig te worden. De klimaatverandering betekent vooral een meer frequente blootstelling van het stedelijk gebied aan extreme weersituaties. Door in alle nieuwe ontwerpen en herinrichtingsprojecten hier rekening mee te houden kan in de loop der jaren het stedelijk gebied robuuster worden ingericht. Daarmee vraagt de klimaatadaptatie om een aanpassing van de huidige ontwerpprojecten en een (her)overweging van hoe ons bebouwd gebied moet functioneren bij extreem weer.

Klimaatadaptatie is niet alleen een opgave, maar tegelijkertijd ook een kans. Het is een kans voor leefbaarheid van de stad en het platteland, waar het prettig leven en werken is. Het is een kans voor het creatief, vernieuwend ontwerpen van de openbare- en private ruimte en het is een uitgelezen kans om bij het oplossen van knelpunten, baten voor meerdere beleidsdomeinen, (regionale) overheden en private partijen te bereiken. Het is een kans om zowel in- als extern stakeholders te betrekken bij de inrichting van de openbare ruimte.

1.1 Leeswijzer

In onderliggend document beschrijven wij de gevolgen van klimaatverandering in de gemeente Geldrop-Mierlo. Dit rapport biedt ondersteuning aan de klimaatstresstestkaarten en heeft als doel onze methodiek en werkwijze nader toe te lichten, alsmede de gehanteerde uitgangspunten. De inhoud van het rapport heeft in eerste instantie een algemeen beschrijvend karakter. In het laatste hoofdstukken beschrijven wij wat deze resultaten voor de gemeente Geldrop-Mierlo betekenen en geven daarmee een korte doorkijk naar het vervolgproces.

2 Methode

2.1 KNMI Klimaatscenario's

Het KNMI heeft vier toekomstige klimaatscenario's¹ uitgewerkt voor Nederland, waarvan het WH-scenario de meest extreme is. De 'W' staat voor Warm en slaat op de verandering van de temperatuur. Bij het WH-scenario wordt uitgegaan van een temperatuurstijging van twee graden in 2050. De 'H' staat voor hoog: er wordt in dit scenario rekening gehouden met een grote verandering van het luchtstromingspatroon. In het 'H'-scenario komt in de winterperiode de wind voornamelijk vanuit het westen wat een natter weertype betekent met meer en intensere neerslag. In de zomerperiode zorgen de hogere drukgebieden dat er meer wind vanaf het oosten (landwaarts) komt wat drogere en hetere periodes met zich meebrengt.

Voor de prognose voor de kwetsbaarheden op het gebied van hitte, droogte, wateroverlast en overstroming tot 2050 gaan wij uit van het WH-scenario beschreven door het KNMI (KNMI, 2015). Dit is ook het scenario waarmee klimaateffectatlas.nl² werkt. Het voordeel van het baseren van de stresstesten op dit scenario is dat dit een beeld geeft van een worst-case scenario. Voor het opstellen van een (klimaat)strategie voor de buitenruimte gaan wij uit van het meest negatieve scenario het WH-scenario, omdat een gemeente zich op deze manier het best kan voorbereiden op gevolgen door klimaatverandering.

2.2 Wateroverlast

2.2.1 Tygron

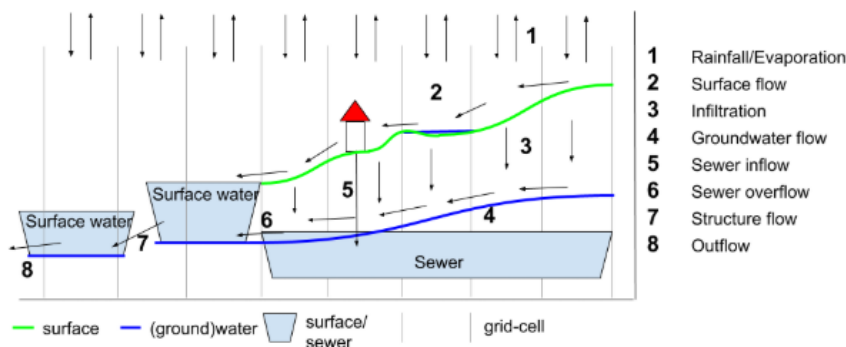
Voor de wateroverlast- en inundatiemodellen maken wij gebruik van het programma Tygron. De stresstesten zijn volgens de richtlijnen vanuit het DPRA (Delta Programma Ruimtelijke Adaptatie)

¹ Klimaatscenario's voor Nederland, KNMI, De Bilt, 2015

² In de klimaateffectatlas wordt voor heel Nederland op een grovere schaal de klimaatimpact weergegeven onderverdeeld in de thema's wateroverlast, waterveiligheid, droogte en hitte.

2019 uitgevoerd. Waarbij de notitie “Standaarden voor de stresstest wateroverlast”³ leidend zijn voor het uitvoeren van de stresstesten. In het verloop van het project zijn verschillende uitgangspunten en instellingen afgestemd met de gemeente. Deze uitgangspunten en instellingen worden in dit hoofdstuk verder toegelicht.

Tygron maakt gebruik van erkende rekenmodellen, waarbij de componenten worden meegenomen die van invloed zijn op de resultaten. Hierbij worden de componenten in het model aangehouden via het volgende schema weergegeven in figuur 2.1. In figuur 2.1 wordt vereenvoudigd de watercyclus aangegeven die wordt aangehouden in het model. Waarbij het water wordt aangevoerd door middel van neerslag en/of oppervlaktewater. Het water wordt afgevoerd middels oppervlakkige afstroming, infiltratie, verdamping, riolering en/of oppervlaktewater. Deze watercyclus wordt in elke rekenstap van het model bepaald.



Figuur 2.1 Schematische weergave Tygron wateroverlastmodel

Het Tygron-model verrasterd alle input tot een grid van cellen. Het model voor Geldrop-Mierlo wordt verrasterd in een resolutie van 0,5 meter bij 0,5 meter (0,5x0,5), wat inhoudt dat elke cel in het model deze afmetingen heeft. Elke cel heeft een specifieke waarde voor de waterkwantiteit alsmede een set aan hydrologische waarden gebaseerd op de data die in het project is ingeladen. De ingeladen data zijn openbare data bronnen aangevuld door project specifieke data. In paragraaf 2.2.2 zijn de belangrijkste databronnen weergegeven, deze databronnen zijn aangevuld met de leggergegevens van het waterschap en de riol informatie uit het BRP en Kikker vanuit de gemeente.

2.2.2 Gebruikte data en informatie

In Tygron wordt de meeste recente openbare data ingeladen. Hierbij maakt het gebruik van meer dan 20 openbare databronnen. Naast de openbare data wordt in Tygron de gegevens ingeladen die door de gemeente en het waterschap zijn verstrekt, deze gegevens staan hieronder beschreven.

De belangrijkste openbare en verkregen data(bronnen) die in Tygron zijn gebruikt:

³ Standaarden voor de stresstest wateroverlast, Stowa en Stichting RIONED, Delta Programma Ruimtelijke Adaptatie, 31 januari 2019

Kenmerk R001-1279448FLN-V01

- Algemene Hoogtekaart Nederland 3 (AHN3⁴) - hoogtekaart
 - Resolutie van 0,5m x 0,5m
- Basis Geografische Topografie (BGT) informatie over de componenten in de openbare ruimte, waaronder wegen, watergangen en bomen
- Basis Adressen en Gebouwen (BAG) - Informatie over de panden
- Basisregistratie Topografie (TOP10 en TOP25) - topografische kaarten over o.a. landgebruik
- Basisregistratie Ondergrond (BRO) - bodemgegevens en bodemtypen
 - Hier worden onder anderen de k-waarden (infiltratiewaarde), de porositeit en de ruwheidswaarde per bodemtype uitgehaald
- Nationaal Hydrologisch Instituut (NHI) - geohydrologische gegevens en grondwaterstanden
- Kadaster en CBS voor informatie over buurten en specifieke componenten in de openbare ruimte

Gebruikte aangeleverde data van de gemeente en het Waterschap (naast data Tygron):

- Legger gegevens Waterschap Dommel en Waterschap Aa en Maas
 - Duikers
 - Stuwen
 - Gemalen
- Duikers uit het beheer van de gemeente
- Rioleringsgegevens van de gemeente uit het BRP
 - Overstortgegevens
 - Gemaalgegevens (POC)
 - Bemalingsgebieden
 - Berging
- Praktijk bui verloop uit meetgegevens

2.2.3 Model parameters en instellingen Tygron

Voor de modellering van de klimaateffecten moeten modelparameters worden ingevoerd om de huidige situatie te duiden of in te schatten. Daarnaast zijn er modelparameters nodig om het detail en diepgang van het model aan te geven. Hierbij wordt gekeken naar het detail van de informatie die beschikbaar is en het detail dat nodig is om de impact van een klimaatthema aan te geven. Eén van de meeste bepalende parameters is de resolutie van het model; deze geeft aan op welk detailniveau het resultaat wordt berekend en weergegeven. Hoe kleiner de resolutie des te groter de nauwkeurigheid. Binnen het model van Geldrop-Mierlo wordt een resolutie van 0,5x0,5 meter aangehouden, omdat dit de maximale resolutie is van de AHN3 (het maaiveldmodel). Voor de regionale buien wordt een resolutie aangehouden van 1x1 meter vanwege de duur van de bui (48 uur). Hierdoor wordt de berekening te zwaar om als 0,5x0,5 meter door te rekenen.

In deze paragraaf wordt per onderdeel/aspect de parameters toegelicht en de herkomst er van. Als er aannames worden gedaan, omdat er geen informatie beschikbaar is wordt dit toegelicht.

⁴ De AHN3 was volledig dekkend voor de gemeente Geldrop-Mierlo in maart 2017. Dit houdt in dat maaiveld aanpassingen na deze maand niet zijn meegenomen in de modelleringen

De modelparameters en instellingen in Tygron zijn hieronder opgenomen:

- Resolutie van het model is 0,25 m² (celgrootte: 0,5 x 0,5 meter) voor de lokale buien, voor de regionale buien is een resolutie van 1 m² (celgrootte: 1 x 1 meter) aangehouden
- Bij de lokale- en regionale buien is 1 uur doorgerekend na het einde van de bui, dit houdt in dat de totale simulatie tijd de bui duur + 1 uur bedraagt.
- Er is een zone van 500 meter buiten de gemeentegrens meegenomen in het model voor externe beïnvloeding
- De invloed van het oppervlaktewatersysteem is vereenvoudigd meegenomen in het model
- De riolering wordt in het model meegenomen als een 0D-model (bakjesmodel), wat inhoudt dat alleen het bemalingsgebied, de pompovercapaciteit en de riooloverstorten worden meegenomen. De parameters die in het Tygron-model zijn opgenomen komen uit het BRP van de gemeente Geldrop-Mierlo
- Het stedelijke en landelijk gebied is in één model geanalyseerd, de gemeente is als geheel meegenomen + een grens van 500 meter rondom de gemeente grens
- In Tygron wordt volledig in 2D gerekend, waarbij ook het watersysteem in 2D wordt meegenomen. In deze paragraaf worden alle parameters en uitgangspunten rondom het watersysteem beschreven.

Berekende buien

In Tygron zijn de buien uit de leidraad van het DPRA doorgerekend, afgezonderd van praktijk bui. De praktijkbui die daadwerkelijk is gevallen binnen de gemeente heeft de standaard DPRA bui van 70mm/1uur vervangen.

In de tabel 2.2 zijn de buien die doorgerekend zijn dikgedrukt en onderstreept weergegeven.

Daarnaast zijn enkele andere buien uit de DPRA weergegeven. Drie lokale buien zijn doorgerekend: 90 mm in één uur, 160 mm in twee uur en de praktijk bui die op 17 en 18 juni 2020 is gevallen in Mierlo. Bij de praktijk bui is er 87 mm gevallen in 5 uur, waarbij de piekintensiteit op 89,4 mm/uur lag. Er is één regionale bui is doorgerekend: 130 mm in 48 uur. De lokale buien zijn doorgerekend om knelpunten bij piekbuien te constateren. De regionale bui is gebruikt om het watersysteem beter te begrijpen bij langdurige regen. Doordat uit de resultaten is gebleken dat er nauwelijks verschil in de resultaten van de regionale buien is gekozen om alleen de 130 mm in 48 uur weer te geven in de resultaten.

Naast de buihoeveelheden en -intensiteiten worden ook de initiële condities omtrent het grondwater meegenomen. Deze geven aan wat de grondwaterstand is bij start van de modellering. Voor de Gemiddelde Hoogste Grondwaterstand (GHG)⁵ en Gemiddelde VoorjaarsGrondwaterstand (GVG)⁶ wordt de data van het Nationaal Hydrologisch Instituut (NHI) aangehouden⁷.

⁵ GHG: voor de gemiddeld hoogste grondwaterstand worden jaarlijks de 3 hoogste grondwaterstanden gemiddeld over de periode van 1 april tot en met 31 maart (hydrologisch jaar), het gemiddelde van deze jaarlijkse waarden over een periode van tenminste 8 jaar, waarin geen ingrepen hebben plaatsgevonden, wordt gebruikt als GHG.

⁶ GVG: Voor de gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand worden jaarlijks de grondwaterstanden van 14 maart, 28 maart en 14 april gemiddeld, het gemiddelde van deze jaarlijkse waarden over een periode van tenminste 8 jaar, waarin geen ingrepen hebben plaatsgevonden, wordt gebruikt als GVG.

⁷ Nationaal Hydrologisch Instituut, <https://data.nhi.nl/>, gebruikt in maart, april en mei 2021

Tabel 2.1. Overzicht van de buien uit het DPRA en toegepast in dit project (dik gedrukt) met de herhalingstijden en de initiële grondwaterstand

Schaal	Duur	Hoeveelheid (mm)	T ⁸				Initiële condities
			Huidig	2030	2050	2085	
Lokaal / stedelijk	1 uur	90	500	400	250	150	GHG
	2 uur	160	2000	1500	1000	600	GHG
	5 uur	87	nvt	nvt	nvt	nvt	GHG
Regionaal / landelijk	48 uur*	120	250	200	100	50	GVG ⁹
		120	250	200	100	50	GHG
		130	750	500	250	100	GHG
		160	3500	2000	1000	350	GHG

Watergangen en waterpeilen

Voor de watergangen is een aanname gedaan voor het talud van de watergang afhankelijk van het bodemtype. Deze aanname is nodig om de vorm van de watergang te bepalen. Het talud is afhankelijk van het bodemtype dat lokaal voorkomt. De bodembreedte van de watergang wordt bepaald afhankelijk van de waterlijn dat volgt uit de BGT en het talud dat is bepaald afhankelijk van het bodemtype.

Door middel van het talud, de bodembreedte, het lokale bodemtype en het verhang van de watergang wordt de doorstroming bepaald.

In de gemeente Geldrop-Mierlo zijn geen vastgestelde peilgebieden. Het model heeft wél een initiële waterstand nodig om te starten, waardoor handmatig een aanname is gedaan voor de waterstand in de watergangen. Voor de bepaling is per 100 meter waterlichaam segment de laagste aangrenzende maaiveld hoogte (in meters t.o.v. NAP) bepaald, van deze minimale hoogte is 1 meter¹⁰ afgetrokken en als initiële waterstand om aan te houden. De waterlichamen waarvan de segmenten zijn genomen zijn afkomstig vanuit de BGT. Indien een oppervlak in de BGT is aangemerkt als 'water' wordt deze meegenomen in het model als waterlichaam. Bij eventuele greppels of wadi's die in de BGT ook staan aangemerkt als waterlichaam wordt geen initiële waterstand aangehouden. Dit omdat er in deze objecten niet altijd water aanwezig is, maar deze ook droog kunnen staan.

⁸ T staat voor de herhalingstijd in jaren. Een T=100 is een bui die één keer in de 100 jaar voorkomt (statistisch)

⁹ GVG: De gemiddelde voorjaarsgrondwaterstand. Hiervoor worden jaarlijks de grondwaterstanden van 14 maart, 28 maart en 14 april gemiddeld, het gemiddelde van deze jaarlijkse waarden over een periode van tenminste 8 jaar, waarin geen ingrepen hebben plaatsgevonden, wordt gebruikt als GVG.

¹⁰ Dit is een aanname die is gedaan op basis van ervaring van voorgaande modelleringen. Doordat wordt gekeken naar de laagste maaiveldhoogte aangrenzend van de watergang kan door een meetfout of object een afwijkende waarde terugkeren als waterstand. Als veilige optie is gekozen om 1 meter hier vanaf te halen, zodat het water altijd binnen de watergang blijft en niet direct bij de start van de modellering inundeert.

Duikers

De basis van de duikers komen uit de legger van het waterschap. De duikers uit de legger betreft alleen de duikers van de A-watergangen. Doordat de legger niet alle informatie bevat van de duikers is deze aangevuld op basis van aannamen.

Ontbrekende waarden zijn aangevuld middels de volgende aannamen:

- Bij duikers met ontbrekende bodemhoogte is aangenomen dat de duiker ligt op de hoogte van de aangelegen waterbodem (bovenstrooms)
- De gemeente heeft aangegeven dat in de data veel duikers nog niet zijn opgenomen¹¹, dit kan voor de modellering inhouden dat een waterlichaam of waterlichamen niet zijn verbonden met elkaar.
- Geografische afwijkingen worden gecorrigeerd tot een grens van vijf meter. Dit betekent dat de geografie van de duiker in het model wordt aangepast naar de meest waarschijnlijke situatie. Deze correctiewijze is effectief voor een relatief korte afstand. Afwijkingen buiten deze grens kunnen onterechte verbindingen maken en daarmee juist foutieve eindresultaten creëren. Buiten deze grens wordt geen correctie gemaakt, wat in kan houden dat een duiker niet functioneert binnen het model.
- Bij een ontbrekende diameter wordt er een diameter van (rond) 500 mm aangehouden voor gemeentelijke duikers en (rond) 1000 mm voor waterschap duikers
- Indien er een duiker dubbel in het bestand voorkomt (twee of meerdere duikers op dezelfde locatie) worden duplicaten verwijderd

Voor de duikers in de B-watergangen zijn de duikers die bekend zijn bij de gemeente meegenomen en enkele duikers die zijn opgenomen in de BGT. De parameters ontbreekt in de meeste gevallen bij deze duikers. Om ook de duikers in de B-watergangen en tertiaire watergangen mee te nemen in het model hebben we in overleg met de gemeente de volgende uitgangspunten aangehouden:

- Bij een ontbrekende diameter wordt er een diameter van (rond) 500 mm aangehouden
- Een minimale lengte van 4 meter en een maximale lengte van 30 meter
- Een maximaal peilverschil tussen de B.O.B boven- en benedenstrooms 0,25 meter
- Het materiaal van alle duikers is beton
- Alle duikers liggen op de bodem van de watergang

Stuwen

Het bestand van de stuwen was compleet. Alle stuwen en bijbehorende waarden vanuit de legger zijn overgenomen in het model.

Bodemgegevens en infiltratiecapaciteit

Voor de bodemgegevens en -informatie wordt gebruik gemaakt van de BRO (basis registratie ondergrond), waaruit ook de informatie per bodemtype wordt gehaald voor de infiltratiewaarde (k-waarde) en het poriëngehalte (percentage holle ruimte).

¹¹ De gemeente heeft aangegeven dat er momenteel een inventarisatie van alle duikers binnen de gemeente Geldrop-Mierlo plaatsvindt.

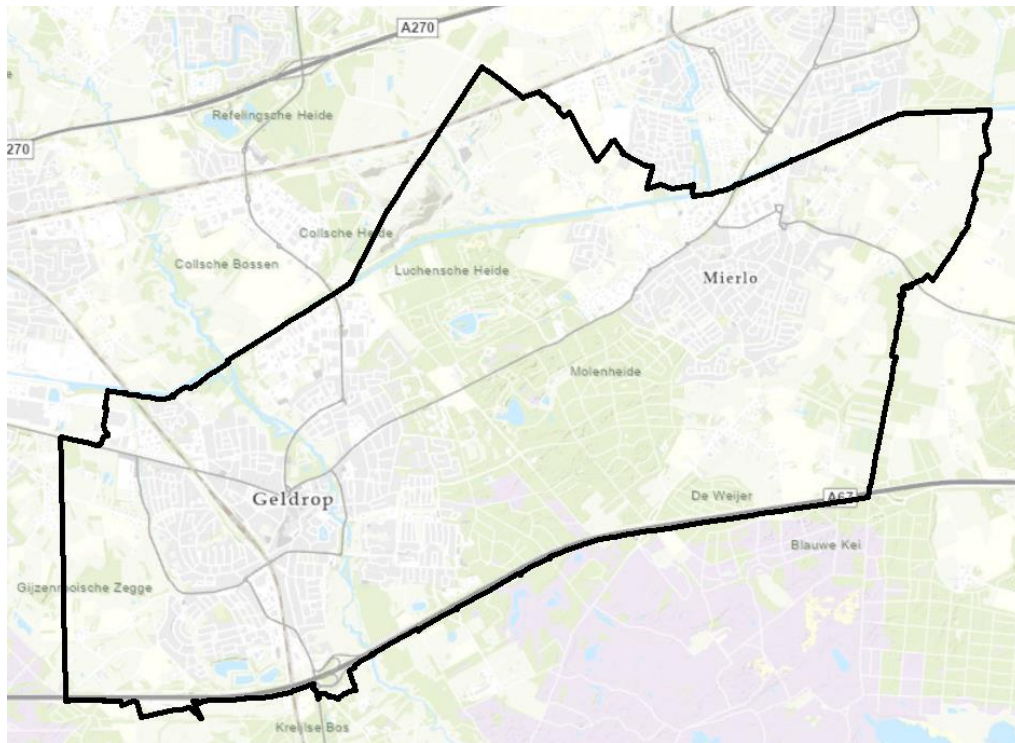
Voor het landgebruik wordt de TOP25 gebruikt. De componenten voor de belangrijkste landgebruikstypen in dit project zijn:

- Grasland
 - K-waarde: 0,3 m/dag
 - Manning-waarde¹²: 0,03
- Openland:
 - K-waarde: 0,3 m/dag
 - Manning-waarde: 0,02 (deze Manning-waarde wordt ook aangehouden voor de watergangen)

Voor de eigenschappen voor de bodemsoorten wordt het grondwaterzakboekje¹³ aangehouden.

Systemegrens

In figuur 2.4 is gemeentegrens weergegeven. Om de gemeentegrens is een buffer van 500 meter aangehouden als systeemgrens voor het model. Hieruit volgt de rechthoekige afbeelding uit figuur 2.4.



Figuur 2.2. Gemeentegrens in het zwart aangegeven. De rechthoekige afbeelding is de systeemgrens van het model.

¹² Manning waarde geeft de ruwheid weer van een oppervlak ook wel wrijvingsconstante genoemd. De waarden zijn empirisch vastgesteld.

¹³ Grondwaterzakboekje, A.P. Bot, grondwaterzakboekje.nl, 2011

Riolering

De riolering in het model is als een bakjesmodel meegenomen (0D). Hierbij wordt bemalingsgebieden aangehouden, waarbij de berging, pompoevercapaciteit (p.o.c.) en de rioloverstorten worden meegenomen. Voor deze gegevens is het bestand is het BRP aangehouden dat is verstrekt door de gemeente.

De rioloverstorten hebben interactie met het bemalingsgebied en het oppervlaktewater. Indien het oppervlaktewater boven de ingestelde overstorthoogte komt, kan er geen water overstorten vanuit de riolering naar het oppervlaktewater in het model. Het debiet over de overstort is bepaald op basis van een aannamen. Elk bemalingsgebied met een externe overstort heeft een fictieve uitstroom van 23 mm/uur. In bijlage 1 zijn de instellingen van de overstorten opgenomen.

2.2.4 Rekenvolgorde

Per tijdstap wordt de onderstaande opsomming (in volgorde) aangehouden om de waterkwantiteit per cel te bepalen. De tijdstap in het model geeft de interval aan waar tussen de berekening plaats vindt. De tijdstap in het model wordt bepaald door middel van de hoogst voorkomende stroomsnelheid en de resolutie van het model¹⁴.

- Horizontale oppervlakkige afstroming en horizontale ondergrondse stroming
- Regenva
- Waterberging van ruimtelijke objecten (bijvoorbeeld groene daken of wadi's)
- Instroom van water naar de riolering
- Evaporatie oppervlak
- Evaporatie grondwater (verzadigde zone)
- Evaporatie grondwater (onverzadigde zone)
- Ondergrondse infiltratie (verzadigde zone naar onverzadigde zone)
- Infiltratie naar de ondergrond
- Kwel
- Hydrologische constructies (duikers, stuwen, in- en uitlaten)
- Riool overstorten

Voor al deze stappen worden erkende¹⁵ rekenmodules en formules gebruikt. Hieronder worden de rekenmethodes van de belangrijkste componenten besproken.

Oppervlakkige afstroming

Er ontstaat afstroming als er onevenwichtigheden ontstaan in het wateroppervlak totdat er een equilibrium wordt bereikt in de waterhoogte en flux (hoeveelheid water per tijdseenheid). Deze

¹⁴ De tijdstap (of het interval) wordt bepaald op het uitgangspunt dat water nooit voorbij een rekencel mag schieten zonder dat deze wordt geregistreerd. Bijvoorbeeld: als de resolutie 0,5x0,5 m is en de hoogste stroomsnelheid is 5m/s dan wordt er een tijdstap aangehouden van $0,5 / 5 < 0,1$ seconde.

¹⁵ Tygron benchmarks: https://support.tygron.com/wiki/Water_Module_benchmarks

afstroming wordt bepaald aan de hand van de 2D Saint-Venant formule¹⁶. Aan de hand van de watersnelheid (in x- en y-richting), de waterdiepte, bodemhoogte en de Manning-coëfficiënt (ook van de omliggende cellen) wordt de afstroming per cel bepaald.

¹⁶ A Two-Dimensional Numerical Scheme of Dry/Wet Fronts for the Saint-Venant System of Shallow Water Equations, Zsolt Horváth, Jürgen Waser, Rui A. P. Perdigão, Artem Konev, Günter Blöschl, november 2014, Wenen

Duikers

Voor de bepaling van het debiet door een duiker wordt gebruik gemaakt van de formules uit het handboek debietmeten in open waterlopen¹⁷. Per tijdstap wordt de hoogte bepaald in de duiker en de snelheid waarmee het debiet door de duiker wordt bepaald. Deze parameters worden berekend uit de: diameter, Manning-waarde, en de waterhoogte aan de beide kanten van de duikers. Bij de duikers voeren we in het model de diameter in, het materiaal (waaruit de Manning-waarde kan worden bepaald), de instroomhoogte van de duiker en de richting (als deze niet bekend is wordt deze berekend).

Stuwen

Voor de stuwen wordt gebruik gemaakt van de Stuw-formule². In het model wordt bepaald of het een volkomen of onvolkomen stuw betreft aan de hand van de instelhoogte en de waterhoogte. Afhankelijk hiervan wordt de formule gebruikt voor een volkomen-stuw of onvolkomen-stuw. Voor het berekenen van de Stuw-formule worden de volgende parameters ingevoerd in het Tygron-model: de stuwhoogte, de stuwbreedte, de stuwrichting (als deze niet bekend is wordt deze berekend) en de stuw-coëfficiënt (vorm van de stuw). Deze gegevens zijn uit de legger van het waterschap overgenomen.

Riolering en riooloverstorten

De riolering wordt als een zogenoemd 'bakjes-model' meegenomen (0D). Dit houdt in dat het bemalingsgebied wordt gemodelleerd met een berging (in mm) en een pompoevercapaciteit (p.o.c. in m³/s), maar dat strengen en putten niet afzonderlijk worden meegenomen als in Infoworks wel het geval is. Hierdoor wordt alleen naar de totale bergings- en afvoercapaciteit gekeken van het rioleringsstelsel per bemalingsgebied. Ook worden de riooloverstorten uit het BRP opgenomen. Bij elke riooloverstort wordt een overstorthoogte meegenomen, indien het oppervlaktewater boven deze overstorthoogte uitkomt kan de riooloverstort niet overstorten naar het oppervlaktewater. In dit geval kan het water niet de riolerings bereiken en blijft het liggen of komt het tot afstroming.

2.2.5 Schadebepalingsmethodiek

Voor de wateroverlastschadebepaling wordt gebruik gemaakt van het WolkBreukSchadeSchatter (WBSS)-model¹⁸. Dit model gaat uit van een probabilistische benadering van wateroverlast en schade in panden als gevolg van hevige regenval. Hierbij wordt alleen gekeken naar de waterschade die is opgetreden aan materiële en immateriële zaken, maar bijvoorbeeld geen verzakkingen. In de methode wordt de aanwezigheid van gebouweigenschappen, zoals deuringangen, drempelhoogtes, vloerhoogtes binnen het pand door middel van kansberekening bepaald. De achterliggende gedachte hierbij is dat gebouweigenschappen niet eenvoudig op grote schaal vast te stellen zijn, maar een benadering van de werkelijkheid wordt gemodelleerd. Het resultaat is een schadebeeld, dat geschikt is voor interpretaties op de schaal van een stad, wijk of buurt. De methodiek is niet gemaakt om schades op individuele panden met zekerheid te kunnen benaderen, ook al worden schades op individuele panden berekend. Hieronder worden de verschillende componenten en parameters toegelicht die in het model worden gebruikt.

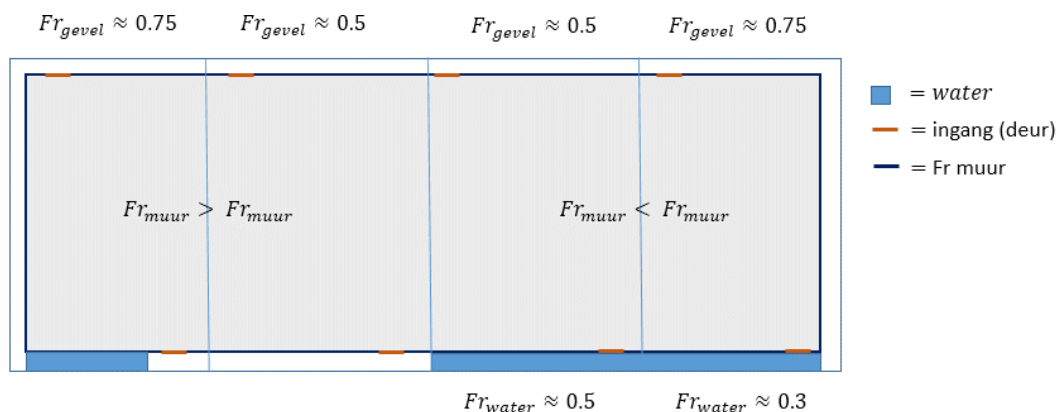
¹⁷ Handboek debietmeten open waterlopen, W. Boiten, A. Dommerholt en M. Soet, juni 1995, Wageningen

¹⁸ WBSS is een schademodel ontwikkeld door TAUW en Stichting CAS

Naast de directe schade aan de panden kan de kaart goed gebruikt worden om de knelpunten waar te nemen binnen Geldrop-Mierlo. De resultaten van de wateroverlastkaarten zijn het daadwerkelijke resultaat die de depressies en knelpunten inzichtelijk maakt, maar zijn soms lastig te interpreteren. Door middel van de WBSS wordt inzichtelijk gemaakt welke panden het meest hinder en schade ondervinden bij de betreffende bui. De WBSS is hierdoor een vertaling van de wateroverlastkaarten naar een concretere impact.

De gevel én het water tegen de gevel zijn de belangrijkste parameters binnen het model. In het model wordt het begrip gevel gebruikt voor het gedeelte van de muur dat daadwerkelijk een buitenmuur is, ook wel fractie genoemd. De fractie water (Fr_{water}) uit figuur 2.5 zegt iets over het percentage van de gevel waartegen water staat.

In figuur 2.5 is schematisch toegelicht hoe de verschillende fracties zich tot elkaar verhouden. In het voorbeeld wordt aangegeven dat elk pand 4 muren heeft. Bij een hoekhuis zijn er 3 muren die een buitenmuur zijn, waardoor de fractie gevel $\frac{3}{4}$ (of 0,75) is. Bij een tussenhuis zijn er maar 2 buitenmuren (voor en achter), waardoor de fractie gevel op $\frac{1}{2}$ (of 0,5) uitkomt.



Figuur 2.3. Beschrijving en voorbeeld van de 'fracties' die worden gebruikt in het WBSS-model. Fr = Fractie.

Pandeigenschappen

De kans op inundatie van een pand wordt bepaald op basis van een aantal gebouweigenschappen in combinatie met de fractie aan water rondom het pand en de waterdiepte in relatie tot de kans op een bepaalde drempelhoogte van de woning.

De aanname voor de hoogte van deze drempelhoogtes zijn gedaan op basis van een steekproef aan de hand van verschillende typen panden in Amsterdam¹⁹ van Cyclomedia Streetview afbeeldingen, waarmee exacte afstanden in de afbeelding kunnen worden bepaald. Hieruit is gekomen dat de drempelhoogtes per pand kunnen verschillen, maar dat het merendeel van de panden een drempelhoogte heeft van tussen de 5 en 15 centimeter ten opzichte van de aanliggende maaiveldhoogte (het omliggend maaiveld bij een pand).

¹⁹ De gemeente Amsterdam is aangehouden, omdat in deze gemeente veel verschillende type woningen en bouwstijlen zijn terug te vinden.

In het figuur staat ook ingang (deur) aangegeven, dat ook een belangrijke factor is in de berekeningen. Het water stroomt niet 'door' een muur heen, maar kan binnen stromen via openingen. Deze openingen zijn onder andere: deuren, scheurtjes in de muur, beluchtingsroosters, etc. In dit model wordt aangehouden dat 15% van de gevel een opening is. Dit is een aanname gemaakt op basis van steekproeven, maar kan per type pand variëren.

Onderdeel van de gebouwinundatie eigenschappen zijn het aantal buitenmuren, het aantal openingen, de aanwezigheid van het water en de kans op een bepaalde drempelhoogte gebaseerd op de leeftijd van een pand.

Schadeberekening

De schadeberekeningen worden in verschillende stappen uitgevoerd. Eerst wordt de algemene kans op instromen bepaald op basis van gebouweigenschappen en fractie van het oppervlak aan water rondom het pand. Vervolgens wordt op basis van de plaslocatie en waterdiepte tegen de gevel bepaald hoe ver het water zich in het pand verspreidt. De schade kan oplopen als de gemiddelde waterhoogte tegen de gevel hoger is dan 5 cm (minimale drempelhoogte) tot 15 cm (maximale drempelhoogte). Indien de gemiddelde waterhoogte boven de 15 cm uitkomt wordt automatisch het maximale schadebedrag per vierkante meter aangehouden (schade bedragen wordt in het kopje hieronder verder beschreven). Dit is gedaan omdat er vanaf 15 centimeter wordt uitgegaan dat het water bijvoorbeeld ook het elektriciteitsnetwerk binnenshuis beïnvloedt met hoge herstelkosten als gevolg.

De schade door wateroverlast wordt berekend op basis van de directe en indirecte²⁰ schade per m², de waterdiepte in het pand, het oppervlak van het water in het pand, een schadekansindicatie afhankelijk van het soort bouw (hoogbouw, laagbouw, aanwezigheid van souterrains) en het type gebruiksfunctie.

Schadebedragen

In de berekening van de schade maakt de WBSS gebruik van twee bronnen voor de schade per m², namelijk de STOWA 2013 rapportage²¹ over de Waterschadeschatter en schadebedragen uit een studie van claimgegevens van Achmea uit 2015²². Uit de claimgegevens van Achmea blijkt een schadebedrag van 70 euro per m². Voor hoogbouw wordt met 25% van deze schade per m² gerekend, vanwege de andere functies die vaak op de begane grond van hoogbouw aanwezig zijn.

²⁰ Directe schade: is de schade aan fysieke objecten zoals de vloer of het uitvallen van het elektriciteitsnetwerk in het huis. De indirecte schade: gaat over de immatriële schade zoals bijvoorbeeld het mislopen van inkomsten bij bedrijven/winkels of het gebruik maken van een hotel omdat de woning niet meer begaanbaar is.

²¹ <https://www.stowa.nl/publicaties/waterschadeschatter-gebruikershandleiding>

²² TAUW rapport 'Amsterdam schadeschatting wateroverlast'

2.2.6 Impact wateroverlast op infrastructuur

De impact van wateroverlast op de infrastructuur is een belangrijk aspect om de gevolgen van hevige neerslag te duiden. Hierbij is het vooral belangrijk dat calamiteitdiensten alle straten en wegen kunnen bereiken. Om de impact op de infrastructuur door hevige regenval te bepalen is per wegsegment (als aangegeven in de BGT) de waterhoogte bepaald en vertaald naar een waterhoogteklasse (beschreven in onderstaande opsomming).

Per segment is gekeken welke waterhoogteklasse het meest prominent aanwezig was. Dit komt omdat de segmenten soms meerder klassen kunnen bevatten. De meeste prominente klasse wordt vervolgens aangehouden in de klassering. De volgende klassen zijn aangehouden in de analyse:

- Begaanbaar voor al het verkeer: waterhoogte tussen de **0 en 15 centimeter**
- Alleen begaanbaar voor calamiteitdiensten: waterhoogte tussen de **15 en 25 centimeter**
- Niet begaanbaar voor al het verkeer: waterhoogte van **25 centimeter en meer**

De impact op de infrastructuur is eveneens voor de drie lokale buien berekend. Naast de impact op panden kan met de infrastructuur kaart goed de knelpunten binnen de gemeenten worden weergegeven. De resultaten voor de drie buien bij deze analyse zijn echter exact gelijk aan elkaar. Dit is te verklaren doordat de laag gelegen wegen (ten opzichte van het omliggend maaiveld) al bij de bui van 70mm onderstromen. Wegen die hoger liggen dan het omliggend maaiveld ondervinden niet meer impact bij de meer intensieve buien (90mm en 160mm). Dit houdt in dat in deze vergelijking de maximale impact op de wegen al is bereikt bij de bui van 70mm.

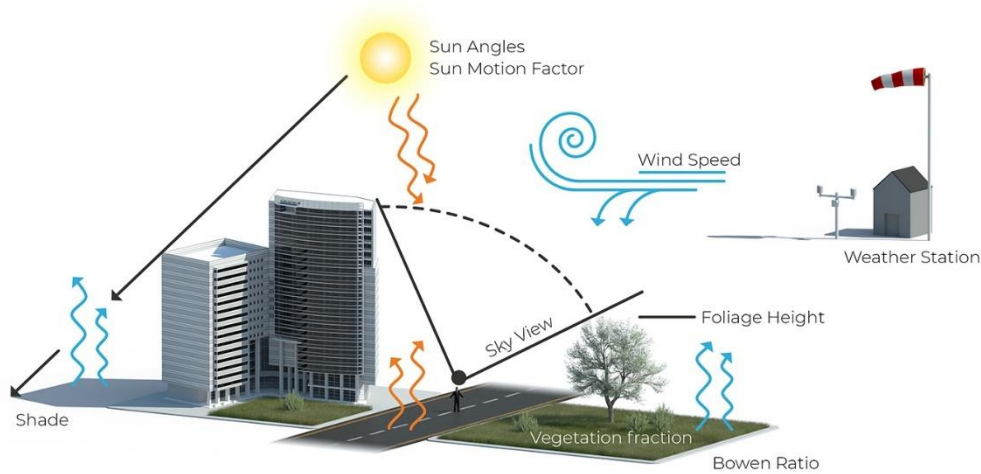
2.3 Hitte en loopafstand tot koelte

De hittestresstest voor de gemeente Geldrop-Mierlo is gemaakt met het DPRA hittestressmodel in Tygron. Dit model geeft inzicht in zowel de huidige als toekomstige (WH-scenario 2050) situatie en gaat uit van de gevoelstemperatuur volgens de *Physiological equivalent temperature*-methode (PET). De hittestressmodule is door TAUW ontwikkeld in het Tygron Geodesign Platform en is conform de gestandaardiseerde methode hittestress (RIVM, 2019). De module berekent voor elke cel (resolutie van 0,5 bij 0,5 meter) het volgende:

- Bladerdak- of loofdak-hoogte; de hoogte van de kronen van de bomen
- Sky view factor; fractie zichtbare lucht vanaf een locatie
- Gemiddelde vegetatie fractie én gemiddelde sky view factor
- Urban Heat Island (UHI) effect

Vervolgens wordt, voor elke tijdstap, per cel het volgende berekend:

- De luchttemperatuur en de luchtvochtigheid
- Fractie schaduw door gebouwen, bomen or andere elementen in het landschap
- De windsnelheid op 1,2 meter boven de grond
- Diffuse straling, gebaseerd op de zonnestraling en de zonhoogte
- De gevoelstemperatuur (PET)



Figuur 2.4 Visualisatie conceptueel hittestressmodel Tygron (Bron: Tygron)

De module berekent de gevoelstemperatuur aan de hand van de weergegevens van een 1-op-1000-hittedag, zoals de standaard vanuit het DPRA voorschrijft. Binnen het DPRA is bepaald dat de dag van 1 juli 2015 van weerstation Eindhoven voldoet als een 1-op-1000-hittedag voor de zomerperiode april tot en met september. Deze hittedag is ook als standaard meegenomen in het DPRA. Dit komt overeen met een kans van 1 op 5,5 jaar voor het huidige klimaat. Deze hittedag voor de zomerperiode april tot en met september is gebaseerd op het tijdvak 2004-2018.

In de toekomst zullen hoge gevoelstemperaturen vaker voorkomen. De mate van toename is afhankelijk van het gekozen klimaatscenario en de daarbij horende bandbreedte. Bij het klimaatscenario WH-scenario 2050 zal een huidige 1:1000 hittedag (eens per 5,5 jaar) een 1:450 (eens per 2,5 jaar) hittedag worden. Het WH-scenario 2050 is het meest extreme scenario, de mate van toename zal bij de andere klimaatscenario's minder extreem zijn.

De weergegevens van de 1:1000 hittedag (uur- en dag gemiddelden) van weerstation Eindhoven zijn gebruikt als input voor het model (tabel 2.2). Hierbij gaat het om de luchtvochtigheid, luchttemperatuur, zonnestraling, windsnelheid en windrichting. Voor de toekomstige situatie (WH-scenario 2050) wordt een temperatuurstijging van 2,1°C aangenomen en verrekend met de weergegevens van 1-7-2015.

Tabel 2.2 KNMI weergegevens weerstation Eindhoven

Uren [UTC+2]	Luchtvochtigheid [%]	Straling [J/cm ²]	Luchttemperatuur [°C]	Windsnelheid [m/s]	Windrichting [°]
12.00	36	733,33	30,0	4	90
13.00	31	850,0	31,7	4	110
14.00	33	880,56	32,4	5	130
15.00	32	850,0	33,7	5	120
16.00	30	802,78	34,3	4	140

Uren [UTC+2]	Luchtvochtigheid [%]	Straling [J/cm ²]	Luchttemperatuur [°C]	Windsnelheid [m/s]	Windrichting [°]
17.00	30	694,44	34,8	4	130
18.00	30	558,33	34,7	4	120

Bomenspotter

Naast de schaduw van gebouwen of andere elementen in het landschap is de schaduwwerking van bomen zeer relevant voor het onderzoek. Het 3D-model is daarom aangevuld met een door TAUW ontwikkelde bomenspottermodel. Dit model spot individuele bomen uit luchtfoto's en kent op basis van de AHN-hoogten toe. Hiermee worden zowel kleine als grote bomen en zowel publieke als private bomen in kaart gebracht. Van deze bomen wordt ook de boomhoogte in kaart gebracht door gebruik te maken van de ongefilterde AHN en het kroonoppervlak wordt bepaald door middel van de luchtfoto. Door de combinatie van boomhoogte en kroonoppervlak kan in de schaduwanalyse een betere benadering van de werkelijkheid gedaan worden.

Resultaat

Het hierboven beschreven hittestressmodel levert uiteindelijk de gevoelstemperatuur kaarten op en die tonen waar de gemiddelde PET tussen 12 uur en 18 uur boven bepaalde grenstemperaturen komt (mate van hittestress). Deze resulterende kaarten geven een goede indicatie van het effect van hitte. De kaarten geven op straat- en wijkniveau weer waar mogelijke knelpunten op kunnen treden met betrekking tot hittestress. In welke mate deze knelpunten (on)acceptabel zijn kan bepaald worden tijdens risicodialogen welke onderdeel zijn van de 'willen' fase, wat volgt na het afronden van de stresstesten.

De kaart helpt bij het nadenken over het koel inrichten van de openbare ruimte. De gevoelstemperatuur, en daarmee het comfort in het stedelijk gebied, is van belang voor mensen die zich door de kernen begeven; mensen op weg van of naar werk, toeristen, winkelend publiek en 'buitenwerkers'. Het comfort in het stedelijk gebied heeft indirect een link met de arbeidsproductiviteit buiten en met de gezondheid. In welke mate de knelpunten (on)acceptabel zijn hangt ook van de nabijheid van koelte af. Daar wordt het loopafstand tot koelte model van TAUW voor gebruikt.

(Loop)afstand tot koelte analyse

Het TAUW loopafstand tot koelte model geeft inzicht in de loopafstand tot een koele aangename verblijfsplek op een hete dag. De loopafstand tot koelte module is door TAUW ontwikkeld in GIS.

Koele plek

Het loopafstand tot koelte (LATAK) model neemt de gevoelstemperatuur (PET) kaart als input. Daaruit worden koelteplekken geselecteerd in de buiten ruimte. Alle plekken die door schaduwwerking van bomen en gebouwen aanzienlijk koeler zijn dan de omgeving en waar geen sterke of extreme hittestress optreedt (<35°C PET) in de gevoelstemperatuurkaart, worden als eerste koelteplekken bestempeld. De koelteplekken worden daarna gefilterd op grootte. In de analyse is dit vanaf 200m². De grootte van minimaal 200m² is gekozen omdat deze grootte voor

een significant koeffect kan zorgen (Bacci et al., 2003)²³ en minimaal nodig is om bijvoorbeeld een evenwichtig ecosysteem te vormen (Verploegh, 2016)²⁴. Ook is ervoor gezorgd dat zoveel mogelijk kleine, lange stroken langs wegen en stroken in het water niet als koelteplek worden meegenomen, immers water en plekken langs wegen zijn geen toegankelijke plekken om verkoeling te zoeken.

Op deze wijze wordt een koelteplek gedefinieerd als zijnde een mogelijke verblijfsplek tijdens een hete dag in de openbare ruimte. Deze verblijfsplek kan door inwoners gebruikt worden om te recreëren en/of de koelte op te zoeken (anders als binnenshuis). Met name bij aanhoudende hitte is de kans groter dat mensen buitenshuis verkoeling op willen zoeken en daardoor de druk op de buitenruimte toe zal nemen.

Loopafstand tot koelte

Vervolgens wordt een routenetwerk gemaakt op een lijnenbestand van wegen. Hiervoor is gebruik gemaakt van het Nationaal Wegen Bestand (NWB)²⁵. In het routenetwerk worden looproutes berekend naar de dichtstbijzijnde koelteplek vanaf het middelpunt van een adres op basis van twee verschillende snelheden; 2 km/u (kwetsbare groepen) en 4 km/u. Tot slot wordt op basis van deze routes en snelheden een tijdsindicatie per gebouw (in minuten dat een koelteplek bereikt kan worden) gegeven. Een kritieke loopafstand van maximaal 300 meter kan aangehouden worden omdat deze afstand voor gezonde ouderen in 5 minuten te lopen is (Nuijten, 2008)²⁶.

Resultaat

De resulterende loopafstand tot koelte-kaart geeft aan hoe ver panden in de kernen van koelte af liggen. De loopafstand tot koelte wordt uitgedrukt in het aantal loopminuten tot een koele plek op basis van de gegevens loopsnelheid. De loopafstand tot koelte-kaart brengt in één oogopslag in beeld in welke wijken behoefte is aan meer (beleefbaar) groen (of koelte). Dit kan tevens ook van toepassing zijn op de route náár een groene (koele) plek. De behoefte aan meer (beleefbaar) groen (of koelte) kan vervolgens mee worden genomen bij de inrichting van de openbare ruimte, nieuwe stedelijke ontwikkelingen en/of bij meekoppelkansen bij andere werkzaamheden.

2.4 Droogte

Droogte is voor elke gebied in Nederland verschillend. Dit is afhankelijk van de (geo)fysische eigenschappen van het gebied en het (land)gebruik. Hierdoor is er geen vaste definitie van droogte vastgesteld door het DPRA. De droogtescan is tweeledig uitgevoerd.

²³ Bacci, L., Morabito, M., Raschi, A., & Ugolini, F. (2003). Thermohygrometric conditions of some urban parks of Florence (Italy) and their effects on human well-being

²⁴ Verploegh, T. (2016) Kleine wildernis: oerbos in de stad

²⁵ In het NWB zijn alle wegen en paden opgenomen die een naam of nummering hebben in Nederland

²⁶ Nuijten, D. (2008) Dwingend vergroenen? Onderzoek naar de toepassing van het richtgetal van 75m² groen per woning uit de Nota Ruimte en de relatie met de kwaliteit van het groen in de stad.

In het eerste deel heeft een specialist een GLG-analyse gemaakt voor het jaar 2018 (hete zomer met een lange periode van droogte) op basis van de grondwatermeetgegevens van de gemeente. De methode en toelichting hiervan is uitgewerkt in een notitie, opgenomen in bijlage 6.

In het tweede deel is in twee sessies met de beheerders van de gemeente en de waterschappen de droogte-impact bepaald. De bepaling is gedaan door droogte in te delen in verschillende thema's: potentieel neerslagtekort, bodemdaling, droogteresistentie natuur, tekort aan oppervlaktewater, ecologie en waterkwaliteit. Voor elk thema is de betreffende kaart van de KEA (KlimaatEffectAtlas)²⁷ gebruikt als discussie materiaal. Door middel van het programma Mural (een digitale *white board*) konden de adviseurs en beheerder opmerkingen op de kaart bijvoegen. Op deze manier is er een overzicht verkregen van de droogte-impact binnen Geldrop-Mierlo.

2.5 Overstroming

Kwetsbaarheden voor overstromingen in de gemeente Geldrop-Mierlo zijn in beeld gebracht met behulp van de stresstest light op basis van informatie van de KEA.

²⁷ Bron: klimaat-effectatlas.nl, gebruikt in februari en maart 2021

3 Resultaten stresstesten

3.1 Wateroverlast

Om wateroverlast inzichtelijk te maken zijn verschillende kaarten gemaakt:

- Waterdieptekaart van de maximale optredende waarde en de laatste waarde (na 1 uur droog)
 - Praktijkbui 87mm (werkelijk opgetreden bui d.d. 27 juni 2020 in Mierlo)
 - 90mm (in één uur; herhalingsstijd van 1 keer in de 250 jaar (T-250))
 - 160mm (in twee uur; herhalingsstijd van 1 keer in de 1000 jaar (T-1000))
 - Landelijke bui 130mm (in 48 uur; herhalingsstijd van 1 keer in de 250 jaar (T-250))
- Stroombanenkaart
 - 90mm in één uur (na één uur droog weergegeven)
- Pandschadekaart
 - 90mm in één uur (na één uur droog weergegeven)
- Begaanbaarheid infrastructuur kaart
 - 90mm in één uur (na één uur droog weergegeven)

De kaarten zijn per kern (Geldrop en Mierlo) weergegeven in Bijlage 1. Op basis van de uitkomsten van de stresstesten is geconstateerd dat elke kern en/of elke buurt zijn eigen knelpunten kent. De knelpunten variëren van ondergelopen straten, met gevolgen voor de bereikbaarheid, tot risicovolle panden met betrekking tot mogelijke inpanning wateroverlast.

Beheerderstoets

In de beheerderstoets zijn de uitkomsten van deze klimaatstresstesten met specialisten gevalideerd op basis van gebied specifieke kennis en ervaringen. De modelresultaten komen veelal overeen met de te verwachten of werkelijk opgetreden situatie. Echter, op diverse locaties werd door het ontbreken van duikers inundatie vanuit het oppervlaktewatersysteem gemodelleerd waar dit normaliter niet mogelijk is door de aanwezigheid van duikers. Naar aanleiding van de beheerderstoets zijn daarom op diverse locaties handmatig duikers aan het model toegevoegd om deze situaties te voorkomen. Een overzicht van de resultaten van de beheerderstoets werksessie is bijgevoegd in Bijlage 2.

3.2 Hitte

Om hitte inzichtelijk te maken zijn verschillende kaarten gemaakt:

- Gemiddelde gevoelstemperatuurkaart huidig klimaat (1 juli 2015)
- Gemiddelde gevoelstemperatuurkaart toekomstig klimaat (WH-scenario 2050)
- Loopafstand tot koelte kaarten
 - Loopsnelheid 2 km/u
 - Loopsnelheid 4 km/u
 - Koele plekken

De kaarten zijn weergegeven in Bijlage 3. Zowel de resultaten met betrekking tot de gevoelstemperatuur als de loopafstand tot koelte geven een eerste indicatie van de mogelijke hitteopgave van de gemeente Geldrop-Mierlo. Op basis van de uitkomsten van de hittestresstest

en de loopafstand tot koelte analyse is gebleken dat op diverse plekken er mogelijk meer behoefte is aan (beleefbaar) groen of koelte. Zo loopt de gemiddelde gevoelstemperatuur in beide kernen hoog op, waardoor men spreekt van extreme hittestress en liggen meerdere gebieden op grotere loopafstand van een koele aangename verblijfsplek. Van extreme hittestress wordt gesproken als de gevoelstemperatuur hoger komt dan 41 graden Celsius. In figuur 3.1 wordt de hitte classificering (PET-klassen) geduid als aangehouden in deze rapportage.

PET (°C)	Thermische perceptie	Mate van fysiologische stress
< 4	Zeer koud	Extreme koudestress
4 – 8	Koud	Sterke koudestress
8 – 13	Koel	Gematigde koudestress
13 – 18	Beetje koel	Lichte koudestress
18 – 23	Aangenaam	Geen thermische stress
23 – 29	Beetje warm	Lichte hittestress
29 – 35	Warm	Gematigde hittestress
35 – 41	Heet	Sterke hittestress
> 41	Zeer heet	Extreme hittestress

Figuur 3.1. PET-klassen thermische perceptie en mate van fysiologische stress ²⁸

Aan de hand van de kaarten kunnen probleemlocaties binnen de gemeente worden geïdentificeerd. Waar bevinden zich kwetsbare locaties en/of groepen als bijvoorbeeld zorg- en onderwijsinstellingen of eenzame ouderen? In de risicodialogen en bij de uitvoeringsagenda worden deze kwetsbare locaties geduid en onderbouwd, waarbij ook gekeken wordt naar eventuele maatregelen die genomen moeten worden. Deze maatregelen kunnen liggen op het gebied van ruimtelijke adaptatie (bomen, groen en schaduw toevoegen), maar kunnen ook aanpassingen aan gebouwen of aanpassingen in het gedrag van mensen zijn. Veelal kunnen ruimtelijke adaptatie-oplossingen synergievoordelen bieden voor het tegengaan van wateroverlast en biedt het kansen voor de leefbaarheid van de stad.

3.3 Droogte

Om de droogte-impact in beeld te brengen is de GLG-analyse en de beheerderssessie uitgevoerd. De notitie omtrent de GLG-analyse is bijgevoegd in bijlage 6. In bijlage 2 zijn de pdf-bestanden van de digitale *whiteboards* bijgevoegd. Op de whiteboards is ook het gebruikte kaartmateriaal toegevoegd vanuit de KEA.

Hieronder worden de belangrijkste punten uit de beheerderssessies per thema besproken.

²⁸ Hittebestendig stad, Hogeschool van Amsterdam, Amsterdam, 2020

Algemeen – hebben burgers klachten/meldingen gemaakt naar aanleiding van droogte?

Er zijn zowel bij de gemeente als bij het waterschap weinig tot geen meldingen bekend klachten of incidenten met droogte als oorzaak. In de gesprekken kwam naar voren dat het begrip droogte ook lastiger te definiëren is voor burgers en dat de effecten meestal niet direct zichtbaar zijn.

De gemeente vindt het lastig om de gevolgen van droogte aan te wijzen. Om droogte beter te duiden is er een uitgebreid grondwatermeetnet uitgezet door de gemeente. Het doel van de monitoring is mede om de daling in grondwaterstanden beter in kaart te brengen over de jaren.

De visueel opvallendste droogtesituaties zijn de sloten/watergangen die droog komen te staan, zoals bij de Coevering en de kunstmatige vijver.

Het waterschap zal deze winter extra aandacht besteden aan de droogvallende sloten en lage grondwaterstanden in de zomerperiode door de stuwen hoger in te stellen. Door deze maatregel wordt de bergingscapaciteit vergroot en de afvoer verlaagd om het water zoveel mogelijk in het gebied te houden.

Bodemdaling

Op de bodemdalingkaarten van de KEA (weergegeven op de whiteboard in bijlage 7) is weergegeven dat in het noorden en zuiden van Geldrop enige daling kan optreden tot 2050 (0,25-1,00 meter), evenals het oosten van Mierlo. De gemeente geeft aan dat de bodemdaling niet of nauwelijks voorkomt binnen de gemeente, maar dat er enkel lokale daling optreedt. Door de lokale bodemdaling wordt deze niet als zodanig herkend, omdat dit ook door externe factoren kan worden veroorzaakt (zoals verkeerd of verkeerde wegopbouw).

De gemeente wijst wel twee kwetsbare locaties aan: de Koeveringswest dat last heeft van kwelwater en het historische pand in het centrum van Geldrop dat is gefundeerd op houten palen.

Droogteresistentie natuur

De kaarten van de KEA omtrent de droogteresistentie komen niet helemaal overeen met de observaties van de gemeente. Het natuurgebied tussen Geldrop-Mierlo wordt in de KEA aangeduid als droogte resistente natuur, terwijl juist hier de invloed van droogte te zien is.

Het waterschap geeft aan dat de 'natuurparel' Sang en Goorkens ten oosten van Mierlo speciale aandacht verdient. Echter is het lastig om voldoende water in het gebied vast te houden of aan te voeren in droge perioden.

Verder geeft het waterschap aan dat er geen grondwateronttrekking verbod is geweest de afgelopen drie droge zomers, maar dat er wel regelmatig een oppervlaktewateronttrekking verbod is toegepast.

Tekort aan oppervlaktewater

Situaties waarbij een tekort aan oppervlaktewater opspeelde waren bij zowel de gemeente als het waterschap bekend. Dit varieerde van droge vennen en drooggevallen slootjes tot aan vissterfte door zuurstofgebrek. Om dit tegen te gaan wordt oppervlaktewateronttrekking toegepast. Het tekort aan oppervlaktewater valt echter niet alleen aan klimaatverandering toe te schrijven. Door de hoogte verschillen in het gebied loopt het systeem letterlijk leeg indien hier niet kunstmatig gestuurd wordt met stuwen. Het systeem reageert daardoor ook snel op droogte, waardoor binnen de gemeente sneller lage waterstanden optreden.

Landbouwfuncties en ecologie

Het lijkt er op dat de droogte niet heeft geleid tot een wijziging in biodiversiteit binnen de gemeente. Wel komen de bekendere plagen voor als: eikenprocessierups en de denneboomaantasting.

Het waterschap en de gemeente zien geen impact door droogte op de landbouw. Het valt wel op dat er steeds meer beregend en gesproeid wordt. Voor het beregenen en sproeien wordt er grond- en oppervlaktewater onttrokken. Bij toename hiervan heeft dit een negatief effect op de grond- en oppervlaktewater stand.

3.3.1 Beschrijving toekomstige situatie

Het is lastig te voorspellen of in de toekomst in Nederland meer en langere periodes van droogte op zullen treden. Dit komt omdat het optreden van droogte afhangt van veel factoren. De hoeveelheid verdamping hangt bijvoorbeeld af van hoeveel zonlicht door de wolken wordt tegen gehouden of hoe nat de grond is. Ook de luchtvochtigheid en de hoeveelheid wind beïnvloedt hoeveel verdampst.

De afgelopen 112 jaar is geen trend in Nederland gesignaleerd van afnemende neerslag in de zomer.

Op basis van twee van de vier KNMI scenario's wordt echter voor de toekomst wel meer droogte in Nederland verwacht. Met betrekking tot het thema droogte is de prognose van het WH-scenario dat het in de zomer minder gaat regenen: een afname van 13 %. De verdamping neemt toe met

11 %. Het gemiddelde neerslagtekort neemt in dit scenario toe met 30 %. Het gaat alleen niet om gemiddelden alleen, maar ook om de extremen. De verwachting is dat droge zomers zoals de zomer van 2018 vaker voor zullen komen. Deze extremen zullen veel gevolgen hebben, bijvoorbeeld voor houten fundering of het inklinken van de bodem.

Neerslagtekort

Het potentieel neerslagtekort is een maat voor de droogte, en volgt uit het verschil tussen verdamping en neerslag tijdens de periode april tot en met september.

Het potentieel maximaal neerslagtekort treedt doorgaans aan het eind van de zomer op. Toename van het neerslagtekort leidt meestal tot afname van de waterbeschikbaarheid in het grond- en oppervlaktewater en toename van de watervraag voor peilbeheer en beregening (KNMI). Het potentieel maximale neerslagtekort in 2050 voor de gemeente Geldrop-Mierlo ligt tussen de 210 en 240 millimeter, waar dat in het huidige klimaat 150 tot 180 millimeter is (Klimaat-effectatlas).

3.3.2 Droogte in het landelijk gebied

Natuur

Wanneer droogtestress optreedt in de natuur kan groen niet meer optimaal verdampen; planten gaan in de overlevingsstand. Bij langdurige droogte zullen planten uiteindelijk gedeeltelijk of helemaal afsterven. De mate waarin droogtestress optreedt heeft te maken met de bodemsoort, grondwaterstanden het oppervlaktewaterpeil ten opzichte van het maaiveld en het vermogen van de bodem om water vast te houden. In periode van langdurige droogte neemt ook het risico op natuurbranden toe. Dit is omdat de bodem en de strooisellaag op de bodem uitdrogen. Het uiteindelijke natuurbrandrisico is afhankelijk van het soort begroeiing, het aantal en type gebruikers (wandelaars, kampeeders) en de weersomstandigheden (droogte, wind). De meeste natuurbranden ontstaan door menselijke onvoorzichtigheid. Soms is sprake van natuurinvloeden zoals blikseminslag

Landbouw

Landbouw zal voornamelijk droogteproblematiek ondervinden door de tekorten aan neerslag en de verlaagde grondwaterstanden. Er zullen andere bronnen van water gebruikt moeten worden. Langdurige droogte kan leiden tot een verminderde gewasopbrengst. In de gemeente geldt vrijwel elk jaar tijdens de zomer een onttrekkingsverbod van oppervlaktewater. Tijdens de droge zomers van 2018 en 2019 hebben deze de gehele zomer gegolden en in 2019 is deze pas opgeheven in na langdurig wateroverlast wat plaatsvond in de eerste maanden van 2020.

Onder 'Landbouwfuncties' op de Mural white board (bijgevoegd in bijlage 5) zijn akkerbouwlanden en graslanden in de gemeente Geldrop-Mierlo weergegeven. Te zien is dat in de gemeente zowel akkerbouw als graslanden voorkomt, maar het zwaartepunt bij akkerbouw ligt. Vooral akkerbouw zal hinder dan wel mogelijke schade ondervinden ten tijde van droogte en aanspraak doen op grondwater- en oppervlaktewateronttrekkingen.

3.3.3 Droogte in het stedelijk gebied

Bodemdaling

Een effect van bodemdaling is dat verschillen in bodembewegingssnelheid schade kan toebrengen aan wegen, huizen, kunstwerken en ondergrondse infrastructuur (kabels, leidingen, riolering). De mate van schade hangt af van de snelheid en het snelheidsverschil van de beweging en de staat of aanwezigheid van funderingen.

Bodemdaling is onder meer het gevolg van het ontwateren van klei en veengronden. Ontwaterde klei- en veengrond krimpt (rijping) en de organische stof oxideert. Daarnaast zorgt de ontwaterde grond voor het samendrukken van de onderliggende grond. In paragraaf 3.3 komt naar voren dat bodemdaling niet of nauwelijks voorkomt binnen de gemeente grenzen.

Paalrot

Door droogte kan schade ontstaan aan houten paalfunderingen: paalrot. De kwetsbaarheid komt voort uit een aantal factoren. De bouwperiode en bodemkenmerken van een gebied geven een indicatie van de hoeveelheid houten paalfunderingen. Een daling van de grondwaterstand kan ervoor zorgen dat de houten paalfundering langdurig of permanent bloot komt te liggen, waardoor paalrot zich kan ontwikkelen. In de gemeente Geldrop-Mierlo is geen tot een zeer laag risico op paalrot.

Stedelijk Groen

Droogte kan de kwaliteit van het stedelijk groen negatief beïnvloeden. Groen dat (mede) afhankelijk is van grondwater/kwelwater kan impact ondervinden van verdroging, omdat door de droogte de grondwaterspiegel steeds lager wordt. Hierdoor is minder water beschikbaar in het groeiseizoen. De evapotranspiratie van het groen leidt daarnaast ook tot een afname van de watervoorraad in de bodem. Indien de watervoorraad niet wordt aangevuld door bijvoorbeeld neerslag zal op den duur droogtestress ontstaan. Om het koelend effect van groen te behouden, wat hittestress kan verminderen, moet voldoende water beschikbaar zijn om het groen gezond te houden. In het geval van stedelijk groen, en dan met name de jonge aanplant, zal er gespreid moeten worden.

3.4 Overstromingen

Hoe groot is de overstromingskans voor gemeente Geldrop-Mierlo?

Voor deze klimaatstresstest hebben we gebruik gemaakt van de kaartlagen "plaatsgebonden overstromingskans 2050" in de KEA. Hieruit blijkt dat er geen kans is op overstroming binnen de gemeente. De gemeente heeft aangegeven dat de afgelopen 20 jaar De Kleine Dommel regelmatig buiten haar oevers trad. Door de aanleg van de waterberging ten zuiden van de A67 is de kans op herhaling hiervan zeer klein geworden.

De kaarten uit de KEA zijn samengesteld uit overstromingsscenario's vanuit het primaire (zee en grote rivieren) en regionale (beken, boezemstelsels, et cetera) systeem. Voor de primaire waterkeringen is uitgegaan van de set overstromingsscenario's die in het Deltaprogramma is gebruikt voor het afleiden van de nieuwe waterveiligheidsnormen (2017).

4 Conclusies

Wateroverlast

- Vanuit de beheerderstoets is gebleken dat de meeste knelpunten die voorkomen op de wateroverlastkaarten herkenbaar zijn. Voornamelijk de praktijkbui uit juni 2020 kon goed worden getoetst door de beheerders.
- De meeste knelpunten zijn te verklaren door de hoogteverschillen in het gebied. Hierbij verzamelt het water zich op het laagste punt. Door deze hoogteverschillen is er tussen de verschillende lokale buien weinig verschil in het resultaat.
- De begaanbaarheid van de hoofdwegen is bepaald bij de bui van 90 mm in één uur, omdat de resultaten van de lokale buien dicht bij elkaar liggen. Uit de analyse blijkt dat de meeste wegen binnen de gemeente goed bereikbaar blijven tijdens de intense regenbuien.

In Geldrop zijn de wegen bij de Beekweide en het stationsgebied minder tot niet toegankelijk. In Mierlo zijn de wegen rondom de Kersentuin en de Molenhoek minder tot niet toegankelijk. Dit komt ook overeen met de bevindingen van de beheerders.

Hitte

- In Geldrop en Mierlo treedt voornamelijk extreme hittestress op bij de stedelijke kernen, waarbij de gevoelstemperatuur boven de 41 graden Celsius ligt. Dit is voornamelijk te verklaren door de hoge verhardingsgraad en het lage percentage aan groen.
- Het natuurgebied tussen Geldrop en Mierlo is een groot koeltegebied, waarbij de gevoelstemperatuur tot wel 16 graden Celsius kan dalen ten opzichte van de stedelijke kernen.
- De loopafstand tot koelte met name voor kwetsbare groepen (loopsnelheid 2 km/u) is voornamelijk in het zuiden en westen van Geldrop niet toereikend. Dit zijn de gebieden rondom de Bogardeind, Gendenhuis en Bronzenwel. In Mierlo is dit alleen in centrumgebied niet toereikend.
- Voor zowel de hoge gevoelstemperaturen als de loopafstand tot koelte dient gekeken te worden naar kwetsbare locaties/groepen als zorg- en onderwijsinstellingen of eenzame ouderen om de hitteopgave beter in kaart te brengen.
- Aanvullend onderzoek naar percentage groen en percentage schaduw op loopgebieden en in buurten kan gewenst zijn. Samen met de loopafstand tot koelte behoren zij tot de richtlijnen voor een hittebestendige stad²⁹.

²⁹ [De hittebestendige stad: een koele kijk op de inrichting van de buitenruimte \(hva.nl\)](#)

Droogte

- Er komen geen klachten/meldingen binnen van burgers omtrent incidenten/gevolgen veroorzaakt door droogte. Dit komt waarschijnlijk doordat de definitie van droogte of de impact van droogte minder bekend is bij de burgers.
- In het noorden en zuiden van Geldrop en het oosten van Mierlo treedt enige bodemdaling op (0,25 – 1,00 meter) tot 2050.
- In de natuur tussen Geldrop en Mierlo is aan de vegetatie te zien wanneer het langdurig droog is, doordat de vegetatie minder gezond oogt. Echter ondervindt de biodiversiteit geen impact van de droogte (geen afname van soorten).

Overstromingen

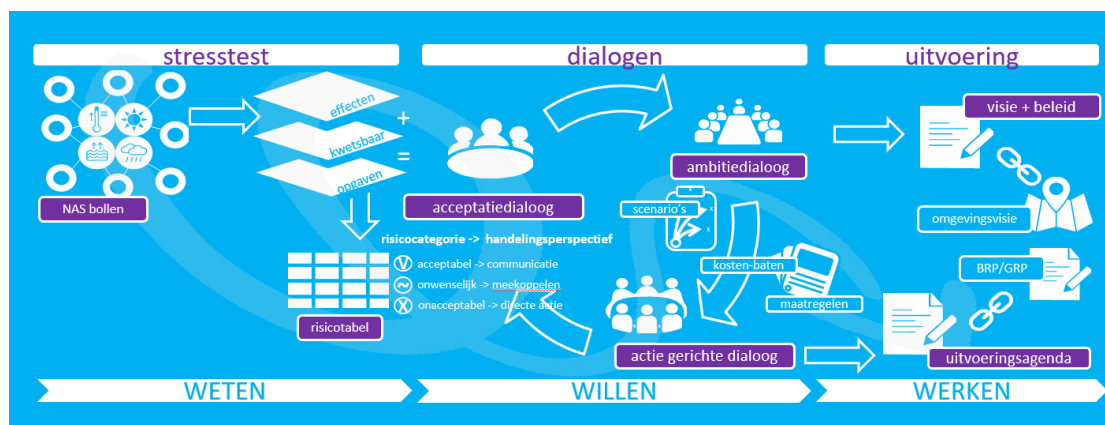
- Binnen de gemeente Geldrop-Mierlo is geen kans op overstromingen volgens de Klimaateffectatlas.

5 Aanbevelingen

5.1 Van ‘weten’ naar ‘willen’

De uitgevoerde stresstesten zijn een onderdeel van de ‘weten’-fase uit het ‘weten – willen – werken’-proces van klimaatadaptatie. De ‘willen’-fase, wat volgt na het uitvoeren van klimaatstresstesten, heeft onder andere als doel een gedragen beeld over het gewenste beschermingsniveau per situatie te creëren. Daarnaast ook het bepalen van ambities, middelen en strategieën (willen). Maar waar het uiteindelijk om gaat is de verankering in de uitvoering (werken). Zie onderstaande processchema.

 **Tauw** Van stresstest naar dialoog en uitvoering



Wij adviseren om met beleidsmakers en beheerders vanuit de verschillende afdelingen binnen de gemeente en mogelijk ook vertegenwoordigers vanuit het waterschap, de provincie, GGD, LTO, woningbouwcorporaties gezamenlijk te prioriteren, oplossingsrichtingen te bepalen en meekoppelkansen te benoemen.

Gezamenlijk dient nagedacht te worden over bijvoorbeeld:

- Vinden we de stresstestresultaten (in combinatie met de functies) acceptabel, onwenselijk of onacceptabel?
- Wat zijn mogelijke oplossingsrichtingen en handelingsperspectieven?
- Wat is de rol van de gemeente?
- Met welke stakeholders zou de gemeente hierover de dialoog moeten aangaan?

5.2 Gerelateerde thema's

Voor de gemeente Geldrop-Mierlo betreft dit vooral de thema's wateroverlast en hitte. Uit de beheerderstoets met de gemeente en waterschap is gebleken dat droogte geen risico is en ook niet tot nauwelijks fysieke impact heeft. Volgens de klimaateffectatlas is er geen kans op overstromingen binnen de gemeentegrenzen. Hierdoor zijn de thema's wateroverlast



Kenmerk R001-1279448FLN-V01

Bijlage 1 Waterdieptekaarten

Bijlage 2**Beheerderstoets wateroverlast en
droogte (Mural)**



Kenmerk

R001-1279448FLN-V01

Bijlage 3

Hittestresskaarten



Kenmerk R001-1279448FLN-V01

Bijlage 4 Knelpuntenanalyse



Kenmerk

R001-1279448FLN-V01

Bijlage 5

Droogte (Mural)



Kenmerk

R001-1279448FLN-V01

Bijlage 6

GLG-analyse



Kenmerk

R001-1279448FLN-V01

Bijlage 7

**Overstromingsscenario's
klimaat-effectatlas**