

Hitte en droogte in de kleine kernen en het landelijk gebied van Overijssel

Hoofdrapport

Opdrachtgever



Hitte en droogte in de kleine kernen en het landelijk gebied van Overijssel

Hoofdrapport



Auteurs

Teun Terpstra (HKV)
Jan Huizinga (HKV)
Ruud Hurkmans (HKV)
Cor Jacobs (WENR)

PR3936.10

April 2019

Inhoudsopgave

Onderzoek in het kort		1
Samenvatting		3
1	Inleiding	11
1.1	Aanleiding	11
1.2	Onderzoeksvragen en afbakening	11
1.3	Aanpak	12
1.4	Leeswijzer	12
2	Hitte en droogte	15
2.1	Wat verstaan we onder hitte?	15
2.2	Wat verstaan we onder droogte?	24
2.3	Andere vormen van extreem weer	28
3	Effecten van hitte en droogte	31
3.1	Effecten op mensen	31
3.2	Effecten in het landelijk gebied	35
3.3	Effecten in het stedelijk gebied	37
4	Hitte en droogte in Overijssel	41
4.1	Neerslagtekort in de zomer van 2018	41
4.2	Oppervlaktetemperatuur en groenindex zomer 2018	49
4.3	Resultaten interviews met actoren in Overijssel	54
5	Maatregelen tegen hitte en droogte	65
5.1	Overzicht van maatregelen tegen hitte en droogte	65
5.2	Beoordeling op effectiviteit en toepasbaarheid	65
6	Conclusies en aanbevelingen	67
6.1	Conclusies per onderzoeksvraag	67
6.2	Aanbevelingen	75
7	Geraadpleegde literatuur	79

Bijlagen		89
Bijlage 1:	Factsheets	91
Bijlage 2:	Noten	115

Onderzoek in het kort

Hitte en hittestress zijn niet alleen een issue in grote steden. Ook kleine kernen staan hieraan blootgesteld en zelfs de mate waarin dat het geval is, hoeft niet te verschillen tussen grote en kleine kernen. Uit satellietbeelden van 3 juli 2018 bleek dat het verschil in oppervlaktetemperatuur tussen kernen en het landelijk gebied overdag kan oplopen tot 12 °C. Maar ook binnen kernen, en zelfs in het landelijk gebied, kunnen overdag grote variaties voorkomen afhankelijk van grondgebruik en inrichting. Of iemand last heeft van hitte (hittestress) hangt af van de gevoelstemperatuur en persoonskenmerken. Onder meer ouderen, zuigelingen, chronisch zieken en mensen met zware beroepen zijn extra kwetsbaar. Omdat gezondheidseffecten van hitte niet worden gemonitord, is er geen inzicht in de omvang van de problemen van hitte. Hitte speelt ook op het platteland. Hoewel het platteland 's nachts meer afkoelt, kunnen stallen overdag wel flink opwarmen. Vee heeft hier last van, maar de mate waarin verschilt per soort. Kraamzeugen en biggen verlaten de stal niet en zijn daardoor relatief kwetsbaar. Hittestress bij vee zorgt ook voor inkomstenderving van boeren, bijvoorbeeld doordat de groei vertraagt en melkproductie afneemt.

Ook droogte speelt in kleine kernen. Neerslagtekorten werken door in grondwaterstanden en in bodemvochtgehaltenes, maar in de praktijk is hierin weinig inzicht. Dit maakt het lastig om vooraf risico's op schade in te schatten. Ook wanneer wel schades optreden, kan het moeilijk zijn de rol van droogte hierin te duiden. In gemeente Hof van Twente is in 2018 voor 500.000 euro schade opgetreden door afsterving van openbaar groen. Of er in andere kernen ook schade is opgetreden, is niet bekend.

Naast hitte en droogte zijn er andere weersextremen die aandacht vereisen. Voor stedelijk gebied zijn extreme piekbuien het belangrijkste. Recent is aangetoond dat de kans op extreme piekbuien door klimaatverandering substantieel is toegenomen. In de ruimtelijke verdeling van deze extreme buien in Nederland is geen duidelijk patroon herkenbaar. De kleine kernen van Overijssel zijn daarom ten opzichte van grote kernen en de rest van Nederland niet meer of minder blootgesteld aan extreme piekbuien.

Tot slot is in het kader van dit onderzoek een inventarisatie gemaakt van mogelijke maatregelen en is de effectiviteit van maatregelen kwalitatief en kwantitatief beschreven op basis van de wetenschappelijke literatuur. Van de geïnventariseerde 52 maatregelen zijn er 47 op hitte van toepassing, 23 op droogte en 18 op zowel hitte als droogte. Het grote aantal maatregelen voor hitte heeft vooral te maken met de vele verschillende mogelijkheden in ruimtelijke inrichting op verschillende schaalniveaus. Bij droogte gaat het vooral om infiltratiemaatregelen en opslag van water. Op kleinere schaalniveaus (gebouw, straat, wijk) zijn meer verschillende maatregelen mogelijk dan op grotere schaalniveaus (stad, regio).

Eenzijds is dat positief, omdat actoren daarmee binnen hun eigen invloedssfeer meer mogelijkheden hebben. Anderzijds geeft dit ook aan dat adaptatie afhankelijk is van veel kleine maatregelen, waardoor adaptatie van een kern of regio als geheel mogelijk minder snel gaat.

In dit onderzoek zijn verschillende aanbevelingen gedaan. We noemen hier de drie belangrijkste. Ten eerste is het belangrijk meer inzicht te krijgen in de gezondheidseffecten van hitte onder risicogroepen en het algemeen publiek. Naarmate kleine kernen meer vergrijzen, neemt ook de omvang van kwetsbare groepen toe (ouderen, chronisch zieken). Ten tweede, er ligt een kans om de kwetsbaarheid van openbaar groen en funderingen te evalueren. Hoewel de groenvoorziening over het algemeen goed bestand is tegen droogte en de kans op paalrot en verschilzetting in Overijssel beperkt lijken, biedt de droogte van 2018 en de huidige lage grondwaterstand een kans om eventuele kwetsbaarheden te constateren. Ten derde, er is weinig bekend over de mate en omvang van hittestress bij vee. Zowel vanuit dierenwelzijn als mogelijke impact op de veehouderij in Overijssel kan meer inzicht van belang zijn.

Samenvatting

In het kader van het Regionale Adaptatieplan Overijssel inventariseert Provincie Overijssel de kennis die reeds ontwikkeld en beschikbaar is, en op welke onderwerpen meer kennis noodzakelijk is. Dit rapport adresseert een aantal van deze kennisvragen. De volgende vijf onderzoeksvragen staan centraal:

1. In welke mate spelen hitte en hittestress een rol in de kleine kernen en in het landelijk gebied van Overijssel?
2. In welke mate speelt droogte een rol in de kleine kernen van Overijssel?
3. Welke andere 'extremen' als gevolg van klimaatverandering verdienen ook onze aandacht?
4. Welke maatregelen zijn er mogelijk in relatie tot hitte én droogte?
5. Wat is de effectiviteit van de beschreven maatregelen voor hittestress én droogte?

Er is expliciet niet gefocust op de effecten van droogte in het landelijk gebied, omdat naar aanleiding van de droogte in 2018 reeds evaluaties zijn uitgevoerd. Hitte in het landelijk gebied is wel meegenomen en focust vooral op de veehouderij. Het onderzoek betreft een brede inventarisatie. Dit betekent dat de belangrijkste effecten van hitte en droogte en mogelijke maatregelen via literatuuronderzoek, interviews met experts en enkele analyses in kaart zijn gebracht, en anekdotisch materiaal is verzameld op specifieke thema's via interviews met veehouders, een gemeente (openbaar groen), een zorginstelling, de GGD IJsselland en een woningcorporatie. Hieronder beschrijven we de belangrijkste conclusies en aanbevelingen.

Conclusies

Onderzoeksvraag 1: *In welke mate spelen hitte en hittestress een rol in de kleine kernen en in het landelijk gebied van Overijssel?*

Conclusie 1: Net als in grote Nederlandse kernen zijn stedelijke hitte eiland effecten ook in kleine Nederlandse kernen aanwezig. Dit geldt in principe voor alle kernen in Nederland, en dus ook voor de kleine kernen in Overijssel. Naar verwachting zijn er wel verschillen in hitte eiland effecten tussen kleine kernen, die met name verklaard kunnen worden uit de inrichting op wijk en straatniveau. Hierbij is het van belang onderscheid te maken tussen oppervlakte- en luchttemperatuur.

Conclusie 2: Hitte eilanden op basis van oppervlaktetemperatuur zijn vooral afhankelijk van de omvang van aangesloten verharding, zoals parkeerterreinen en bedrijventerreinen. Uit een provincie dekkend satellietbeeld van Overijssel 3 juli 2018 bleek dat de oppervlaktetemperatuur van hitte eilanden in kleine kernen en grote kernen overdag tot 12 °C hoger lag dan in het omringende agrarisch gebied. Deze oppervlakken geven de warmte overdag en met name 's nachts af aan de omringende lucht.

Conclusie 3: Hitte eiland effecten op basis van luchttemperatuur zijn daarom in kleine kernen niet per se minder aanwezig dan in grote kernen. Uit een wetenschappelijke studie bleek het luchttemperatuurverschil tussen de kern Losser en agrarisch gebied op te kunnen lopen tot bijna 7 °C. Het gevonden hitte eiland effect in Losser was vergelijkbaar of zelfs groter dan in andere kleine en grote kernen elders in Nederland. Lopend onderzoek in Zeeland lijkt dit hitte eiland effect voor kleine kernen te bevestigen.

Conclusie 4: Gevoelstemperatuur kan van plek tot plek verschillen en is niet direct afhankelijk van de omvang van een kern. De gevoelstemperatuur is bepalend voor de hittelast die mensen ervaren en neemt toe met een hogere luchttemperatuur, een hogere luchtvochtigheid, een hogere blootstelling aan zonnestraling, en een lagere windsnelheid.

Conclusie 5: De mate waarin mensen hittestress ervaren verschilt tussen personen en wordt naast de gevoelstemperatuur bepaald door de duur van blootstelling daaraan en door gedrag en persoonskenmerken. Risicofactoren voor hittestress zijn onder meer leeftijd (65+ en zeer jong kinderen), chronische ziekten (bv., astma, COPD), het verrichten van lichamelijke inspanning (i.r.t. tot werk en vrijetijdsbesteding) en gebruik van medicatie, alcohol en drugs. Hitte heeft onder meer effect op de gezondheid van mensen en op arbeidsomstandigheden.

Conclusie 6: De impact van hittegolven op het functioneren van mensen en hun gezondheid is niet inzichtelijk omdat er geen evaluaties worden uitgevoerd of monitoring plaatsvindt. Gezondheidseffecten worden door de GGD IJsselland en andere instanties niet gemonitord, zodat er weinig inzicht is in de impact van hittegolven op risicogroepen en het algemeen publiek in Overijssel. Het is niet bekend of GGD's elders in Nederland hierop wel monitoren.

Conclusie 7: Uit interviews met een zorgcentrum bleek dat extra rekening gehouden is met de hittelast voor personeel en bewoners en werden inspannende activiteiten voor personeel en bewoners in overleg met familie en GGD zoveel mogelijk beperkt.

Conclusie 8: Ook op akkers en in weilanden kan de oppervlaktetemperatuur sterk oplopen, met name wanneer de vegetatie verdroogd is of kort na de oogst. Dit blijkt uit satellietbeelden op 3 juli 2018, waarop dit is te zien met name ten zuiden van stedenband Twente.

Conclusie 9: Dieren kunnen hittestress ervaren, maar de omstandigheden waarbij stress optreedt en de effecten daarvan op dierenwelzijn verschilt per soort. Bij vee verlaagt hittestress de metabole snelheden waardoor ongeacht de (verminderde) voerinnname negatieve effecten kunnen ontstaan op de gezondheid van de dieren en hun groei, productie en reproductie.

Conclusie 10: Als gevolg van hittestress bij vee kunnen de inkomsten van boeren dalen. Twee geïnterviewde varkensboeren gaven aan dat de vruchtbaarheid van zeugen afnam en dat ze minder melk produceerden, en de groeicyclus van biggen vertraagde. Een varkenshouder schatte de opbrengstderving door drie weken groeivertraging op 70.000 euro. De inkomstderving en hogere kosten werden gezien als een normaal bedrijfsrisico.

Onderzoeksvraag 2: *In welke mate speelt droogte een rol in de kleine kernen van Overijssel?*

Conclusie 1: Uit de analyses van het neerslagtekort bleek dat de zomer van 2018 extreem droog was, en dat er duidelijke regionale verschillen waren. In Dalfsen liep het neerslagtekort bijvoorbeeld op tot 250 à 300 mm, terwijl het neerslagtekort in Goor tot bijna 400 mm steeg.¹ Neerslagtekorten werken door in grondwaterstanden en bodemvochtgehalten. Maar in de praktijk is hierin weinig inzicht. Dit maakt het lastig om vooraf risico's op schade in te schatten, omdat ieder stedelijk watersysteem specifieke kenmerken, behoeften en knelpunten heeft. Ook wanneer wel schades optreden, kan het moeilijk zijn de rol van droogte hierin te duiden zonder inzicht in grondwaterstanden en het omringende watersysteem.

Conclusie 2: Uit de klimaateffectatlas blijkt dat er verhoogde risico's zijn op paalrot in gemeente Twenterand (met name in de kern Vriezenveen), in de kernen Hasselt en Zwartsluis en in mindere mate in gemeente Hof van Twente (kernen Goor en Diepenheim). In de beekdalen waar lokaal klei en veenpakketten aanwezig zijn kan vershilzetting optreden. Uit een interview in Oldenzaal met een woningcorporatie blijkt één geval van funderingsschade aan een woning tijdens de zomer van 2018. Dit hing met name samen met een verandering in de drainage. Het is niet duidelijk of de droogte hierin ook een rol heeft gespeeld. Of er meer schadegevallen waren in andere kleine kernen van Overijssel is niet onderzocht.

Conclusie 3: Stedelijk groen is over het algemeen goed bestand tegen droogte. In uitzonderlijke gevallen kan groen afsterven, zoals in gemeente Hof van Twente waar door afsterving van met name lage heesters in de zomer van 2018 ongeveer 500.000 euro schade optrad. Of er ook schade aan groen is opgetreden in andere kleine kernen is niet onderzocht.

Conclusie 4: Droogte en hitte kunnen elkaar versterken, en van invloed zijn op de leefbaarheid in kernen. Effecten op de leefbaarheid zijn niet specifiek onderzocht en niet uit de interviews naar voren gekomen.

Onderzoeksvraag 3: *Welke andere 'extremen' als gevolg van klimaatverandering verdienen ook onze aandacht?*

Conclusie 1: In de KNMI 2014 scenario's wordt verwacht dat verschillende vormen van extreem weer – zoals hagel, onweer, valwinden en windhozen – in frequentie en intensiteit zullen toenemen. Tegelijkertijd is daarover nog veel onduidelijk waardoor de mate van toename momenteel niet (goed) te kwantificeren is. In Nederland wordt hiernaar door het KNMI geen onderzoek verricht.

Conclusie 2: Ten aanzien van storm wordt verwacht dat windsnelheden en het aantal stormen boven land afneemt met een toenemende urbanisatiegraad. Deze trend, die al zichtbaar is sinds de jaren zestig van de vorige eeuw, zet naar verwachting door.

Conclusie 3: Extreme piekbuien kunnen in stedelijk gebied wateroverlast veroorzaken. Recentelijk is aangetoond dat de kans op korte, extreme

¹ Ter vergelijking, het gemiddeld neerslagtekort in Nederland bedraagt ongeveer 100 mm.

piekbuien substantieel is toegenomen als gevolg van klimaatverandering. Ook zijn er aanwijzingen dat de omvang van deze convectieve buien toeneemt. In de ruimtelijke verdeling van deze extreme buien in Nederland is geen duidelijk patroon herkenbaar. De kleine kernen van Overijssel zijn daarom ten opzichte van grote kernen in Overijssel en ten opzichte van de rest van Nederland niet meer of minder blootgesteld aan extreme piekbuien.

Onderzoeksvraag 4: *Welke maatregelen zijn er mogelijk in relatie tot hitte én droogte?*

Conclusie 1: Op basis van literatuuronderzoek is een lijst van 52 mogelijke maatregelen samengesteld, die genomen kunnen worden om blootstelling aan en kwetsbaarheid voor hitte en droogte te beperken. De maatregelen omvatten vier hoofdthema's, namelijk maatregelen A) in de openbare ruimte, B) in en aan gebouwen, C) in tuinen, en D) sociale en bestuurlijke maatregelen. Binnen deze thema's zijn deelonderwerpen en individuele maatregelen onderscheiden.

Conclusie 2: Van de 52 maatregelen zijn er 47 op hitte van toepassing, 23 op droogte en 18 op zowel hitte als droogte. Het grote aantal maatregelen voor hitte heeft vooral te maken met de vele verschillende mogelijkheden in ruimtelijke inrichting op verschillende schaalniveaus. Bij droogte gaat het vooral om infiltratiemaatregelen en opslag van water.

Conclusie 3: Op kleinere schaalniveaus (gebouw, straat, wijk) zijn meer verschillende maatregelen mogelijk dan op grotere schaalniveaus (stad, regio). Enerzijds is dat positief, omdat actoren daarmee binnen hun eigen invloedssfeer meer mogelijkheden hebben. Anderzijds geeft dit ook aan dat adaptatie afhankelijk is van veel kleine maatregelen, waardoor adaptatie van een kern of regio als geheel mogelijk minder snel gaat.

Onderzoeksvraag 5: *Wat is de effectiviteit van de beschreven maatregelen voor hittestress én droogte?*

Op basis van literatuuronderzoek is zo goed mogelijk een kwalitatieve en kwantitatieve inschatting gemaakt van de effectiviteit van maatregelen. In het kwalitatieve oordelen is gebruik gemaakt van de volgende schaal: +/- als het effect niet duidelijk aangetoond of inconsistent is; + als het effect blijkt uit onderzoek, maar beperkt is; ++ als het effect blijkt uit onderzoek, en substantieel is.

Conclusie 1: Met de kwalitatieve oordelen kan de effectiviteit van maatregelen onderling *binnen hetzelfde thema* vergeleken worden, maar meestal niet tussen thema's. Zo kunnen maatregelen die in de openbare ruimte worden genomen (meestal) niet worden vergeleken met maatregelen die in de tuin worden genomen, vanwege het verschil in schaal. Daarnaast is het goed te beseffen dat iedere maatregel een eigen doel dient. Bijvoorbeeld, in de openbare ruimte kan het hitte eiland effect in een wijk worden beperkt door substantieel te vergroenen, of op een schoolplein de gevoelstemperatuur worden verlaagd door een aantal grote bomen te planten.

Conclusie 2: De inschatting van de effectiviteit van maatregelen kan beschouwd worden als 'het beste wat we momenteel voorhanden hebben.' De beschreven effectiviteit moet met voorzichtigheid geïnterpreteerd worden, omdat ze afkomstig zijn van metingen onder specifieke omstandigheden of modelberekeningen en derhalve betrekking hebben op een specifieke situatie.

Conclusie 3: In de openbare ruimte hebben 3 van de 23 maatregelen een ++ gekregen. Maatregelen met dit oordeel hebben betrekking op hitte en zijn groenmaatregelen op het schaalniveau van een straat of wijk (bomenrij, park, laanbeplanting). Er zijn geen droogte maatregelen in de openbare ruimte die een ++ heeft gekregen. Infiltratie maatregelen worden minder effectief geacht omdat infiltratie van regenwater tijdens extreme droogte beperkt bijdraagt aan de grondwateraanvulling, terwijl peilopzet van oppervlaktewater ook risico's op wateroverlast met zich meebrengt.

Conclusie 4: Van de 16 gebouwmaatregelen scoren er 5 een ++ op effectiviteit. Eenvoudige maatregelen zoals zonwering en openen van ramen gedurende de nacht en een deel van de ochtend zijn zeer effectief. De effectiviteit is echter sterk afhankelijk van het gedrag (openen en sluiten op het juiste moment). Groene daken hebben geen of een beperkt op de luchttemperatuur en het hitte eiland effect. Dit hangt mede af van het type groendak (intensief of extensief). Een goede gebouwisolatie kan ongunstig uitwerken om woningen in de zomer koel te houden. Dit hangt samen met het 'serre-effect'. Het aantal 'te warme' uren kan hierdoor substantieel oplopen. Een airco is zeer effectief maar zorgt ook voor een hoger energieverbruik en opwarming in de stad. Balansventilatie en muurverwarming (koeling) kunnen ook ingezet worden om de woning te koelen.

Conclusie 5: 3 van de 12 tuinmaatregelen hebben een ++ gekregen, maar de schaal van het effect is beperkt tot de tuin. Tuinmaatregel zijn voornamelijk groene en blauwe maatregelen. Deze maatregelen zijn voornamelijk gericht op het creëren van schaduw en het infiltreren en op opvangen van water voor hergebruik. Groene tuinen zijn daarnaast goed voor de biodiversiteit. Veel groene tuinen kunnen samen op het niveau van een wijk bijdragen aan het beperken van het hitte eiland effect.

Conclusie 6: De effectiviteit van sociale en bestuurlijke maatregelen hangt mede af van het gestelde doel. Het doel kan zijn om bewustzijn te verhogen of participatie te bevorderen, om daarmee indirect de effecten van hitte en droogte (maar vaak ook: neerslag) te beperken. Er zijn nauwelijks onderzoeken gevonden die de effectiviteit van deze meer zachte maatregelen hebben geëvalueerd. Dit is een kennislacune. Ondanks een gebrek aan evaluaties mag verondersteld worden dat deze typen maatregelen bijdragen aan de implementatie van maatregelen door burgers om hitte, droogte of andere klimaat gerelateerde effecten te beperken. Zo is bijvoorbeeld het aantal groene daken de afgelopen jaren substantieel toegenomen.

Aanbevelingen

Hitte en hittestress in de kleine kernen en in het landelijk gebied van Overijssel

Hoewel er in de literatuur veel fundamentele kennis beschikbaar is over de werking en impact van hitte in stedelijk en landelijk gebied, ontbreekt het vooral aan toepassing van deze kennis om de rol van hitte en hittestress in de kleine kernen van Overijssel specifiek te kunnen duiden. Op de volgende punten is meer kennis en inzicht gewenst:

- Inzicht in hitte eiland effecten op wijk- en straatniveau en in gevoelstemperatuur in straten en op openbare plekken waar veel mensen samenkomen. Recentelijk is in opdracht van het Deltaprogramma een methode ontwikkeld waarmee gemeenten kaartbeelden van de gevoelstemperatuur in de openbare ruimte kunnen maken als onderdeel van stresstesten. Deze kaarten geven een globaal beeld van de plekken waar de gevoelstemperatuur op uitzonderlijk warme dagen 'te hoog' oploopt.
- Inzicht in de gevoelstemperatuur op locatieniveau waar zich risicogroepen bevinden en in de effecten op arbeidsomstandigheden en gezondheid. We adviseren hierin samen te werken met GGD IJsselland en de mogelijkheden te onderzoeken om effecten van hittegolven beter te kunnen monitoren en evalueren. Bijvoorbeeld door eenmalig een steekproef onder risicogroepen te trekken of door periodiek te monitoren op gezondheidseffecten. Specifieke inzichten in de gevoelstemperatuur kunnen worden verkregen door in en om gebouwen metingen te verrichten.
- Inzicht in de gevoelstemperatuur en luchtvochtigheid in stallen en de mate van hittestress die dat veroorzaakt bij specifieke diersoorten in de veehouderij. Het is onduidelijk in welke mate dieren die in stallen verblijven, zoals varkens, staan blootgesteld aan hittestress en welke gezondheidseffecten dat heeft. Gezondheidseffecten hebben invloed op het dierenwelzijn en kunnen tot inkomstenderving van bedrijven leiden.

Droogte in de kleine kernen van Overijssel

Neerslagtekorten werken door in grondwaterstanden en bodemvochtgehaltes. Maar in de praktijk is hierin weinig inzicht. Dit maakt het lastig om vooraf risico's op schade in te schatten, omdat ieder stedelijk watersysteem specifieke kenmerken, behoeften en knelpunten heeft. Uit een beperkt aantal interviews is gebleken dat er in gemeente Hof van Twente groenschade is opgetreden als gevolg van de droogte. Op de volgende punten is meer kennis en inzicht gewenst:

- Inzicht in de mate waarin de droogte van 2018 schade aan funderingen en infrastructuur heeft veroorzaakt door paalrot en verschilzetting. Paalrot is een meer gradueel proces en droogte kan dit proces versnellen. In een beperkt aantal gemeenten zijn verhoogde risico's op paalrot en verschilzetting. We adviseren bij deze gemeentes te inventariseren of er schademeldingen zijn geweest en of er schade aan infrastructuur is opgetreden.

- Inzicht in de mate waarin de droogte van 2018 schade aan stedelijk gebied heeft veroorzaakt. Bijvoorbeeld, door te evalueren of er groenschade is geweest in andere gemeenten en samen met gemeenten te verklaren waarom wel of geen schade is opgetreden door het neerslagtekort, grondwaterstanden en bodemvocht te beschouwen (voor zover bekend) en het groenbeheer tijdens de droogte.

Maatregelen en hun effectiviteit

In dit onderzoek is de effectiviteit van maatregelen beoordeeld aan de hand van de wetenschappelijke literatuur. Uit de inventarisatie blijkt dat de kennisbasis voor de effectiviteit van maatregelen nog beperkt is. We bevelen het volgende aan:

- Benut inzichten in de effectiviteit van maatregelen in de praktijk. Bijvoorbeeld, door in subsidies op effectiviteit te sturen en door gemeenten te helpen de effectiviteit van groenplannen inzichtelijk te maken.
- Breid de lijst van hitte en droogte maatregelen uit met wateroverlast, en kwantificeer de effectiviteit. Dit doet meer recht aan het thema 'klimaatadaptatie' waarop de lijst met maatregelen van toepassing is.
- Meer inzicht is gewenst in de effectiviteit van maatregelen in het bestuurlijke en sociale domein, zoals de effectiviteit van subsidies, participatie en communicatie. Een dergelijke evaluatie zou bijvoorbeeld kunnen worden opgezet in samenwerking met Operatie Steenbreek, om daarmee binnen de provincie Overijssel meer zicht te krijgen de bijdrage aan en verbeterpunten voor klimaatadaptatie.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In het kader van het Regionale Adaptatieplan Overijssel¹ inventariseert Provincie Overijssel de kennis die reeds ontwikkeld en beschikbaar is, en op welke onderwerpen meer kennis noodzakelijk is. Dit rapport adresseert een aantal van deze kennishiaten. Provincie Overijssel is in het bijzonder geïnteresseerd in de kwetsbaarheid van kleine kernen en het landelijk gebied voor hitte. De provincie wil bovendien graag weten of droogte een rol speelt in de kleine kernen (in het landelijk gebied is dit al beter bekend). Daarnaast wil de provincie graag inzicht in mogelijke maatregelen en de effectiviteit daarvan.

1.2 Onderzoeksvragen en afbakening

Dit onderzoek heeft tot doel om voor Provincie Overijssel de beschikbare kennis te inventariseren ten aanzien van hitte en droogte en mogelijke maatregelen. Vijf onderzoeksvragen staan hierin centraal:

1. In welke mate spelen hitte en hittestress een rol in de kleine kernen en in het landelijk gebied van Overijssel?
2. In welke mate speelt droogte een rol in de kleine kernen van Overijssel?
3. Welke andere 'extremen' als gevolg van klimaatverandering verdienen ook onze aandacht?
4. Welke maatregelen zijn er mogelijk in relatie tot hitte én droogte?
5. Wat is de effectiviteit van de beschreven maatregelen voor hittestress én droogte?

Brede inventarisatie

Het onderzoek betreft een brede inventarisatie. Dit betekent dat we de belangrijkste effecten van hitte en droogte en mogelijke maatregelen via literatuur en enkele analyses in kaart hebben gebracht, en anekdotisch materiaal hebben verzameld op specifieke thema's via interviews met overheden en bedrijven in Overijssel.

Droogte in landelijk gebied geen onderdeel van dit onderzoek

Er is expliciet niet gefocust op de effecten van droogte in het landelijk gebied, omdat naar aanleiding van de droogte in 2018 reeds evaluaties² zijn uitgevoerd.

Kleine kernen

In Overijssel zien we Zwolle, Deventer, Enschede, Hengelo en Almelo als grote kernen. Het begrip 'kleine kernen' is niet nader afgebakend aan de hand van het aantal inwoners van een kern.ⁱⁱ

1.3

Aanpak

Voor beantwoording van de onderzoeksvragen zijn verschillende activiteiten uitgevoerd:

- Een inventarisatie van state of the art Nederlands onderzoek en de internationale wetenschappelijke literatuur;
- Interviews met domeindeskundigen om deelonderwerpen verder uit te diepen (zie Tabel 1);
- Analyses van de ruimtelijke verdeling van het neerslagtekort in Overijssel op basis van beschikbare meteorologische metingen en analyses van satellietbeelden van de oppervlaktetemperatuur in de zomer van 2018;
- Interviews met zeven instanties en bedrijven die in hun beroepspraktijk te maken kunnen krijgen met gevolgen van hitte en droogte in Overijssel.

Tabel 1:
Geïnterviewde
domeindeskundigen

Naam	Organisatie	Deskundigheid
dr. J. Kluck	Hogeschool van Amsterdam	Hittestress in stedelijke omgeving, governance
dr. F. Van der Hoeven	TU Delft, Bouwkunde	Bouwkundige aspecten. Auteurs hitte-onderzoeken Rotterdam en Den Haag
MSc. C. van der Weyde MSc, I. Klein	Van Hall Larenstein, Kennis-centrum Burgers en Biodiversiteit	Onderzoek Operatie Steenbreek, Leefbaarheid, Burgerparticipatie
dr. D. Schram dr. E Brand	RIVM	Epidemioloog, klimaatverandering
dr. G. Lenderink	KNMI	Extreem weer als gevolg van klimaatverandering

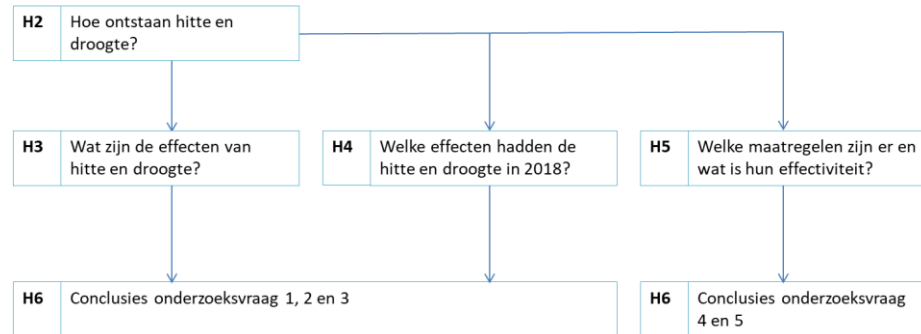
1.4

Leeswijzer

Onderstaand schema vat de opbouw van dit rapport samen en laat zien hoe de verschillende hoofdstukken onderling gerelateerd zijn en hoe ze bijdragen aan de beantwoording van de vijf onderzoeksvragen.

ⁱⁱ Een kleine kern heeft over het algemeen een meer dorps karakter en kan daarmee onderscheiden worden van een stad (grote kern). Dit dorpse karakter kwam van oudsher tot uiting in de nadruk op agrarische activiteiten, het hebben van een eigen kerk en een minder planmatige opbouw in vergelijking met steden. Het onderscheid tussen dorpen en steden is tegenwoordig minder scherp door bijvoorbeeld ontkerkelijking, gemeentelijke fusies en de bouw van uitbreidingswijken en import van nieuwe bewoners in dorpen. Zie <https://nl.wikipedia.org/wiki/Dorp>

*Figuur 1
Structuur van dit
rapport*



In hoofdstuk 2 beschrijven we de fysische processen en de kenmerken van de ruimtelijke inrichting die voor hitte en droogte van belang zijn. Met een goed begrip van deze processen op hoofdlijnen wordt het eenvoudiger om te begrijpen waarom sommige effecten optreden en waarom sommige maatregelen effectief zijn en andere minder. In hoofdstuk 3 geven we een overzicht van de mogelijke effecten van hitte en droogte. Waar informatie beschikbaar was, is ingezoomd op Overijssel. In hoofdstuk 4 gaan we dieper in op de droogte en hitte die zich in 2018 voordeed in Overijssel aan de hand van analyses en interviews. Hoofdstuk 5 presenteert maatregelen tegen hitte en droogte op hoofdlijnen. Bijlage 1 bevat een uitgebreide beschrijving van mogelijke maatregelen tegen hitte en droogte, en beschrijft de effectiviteit in kwalitatieve en kwantitatieve zin. Hoofdstuk 6 presenteert de conclusies en aanbevelingen van het onderzoek. Hoofdstuk 7 bevat een overzicht van de geraadpleegde literatuur. Vanwege de vele verwijzingen is omwille van de leesbaarheid gebruik gemaakt van eindnoten. Deze eindnoten (auteurs en jaar) zijn opgenomen in bijlage 2. De volledige referentie kan vervolgens via de literatuurlijst in hoofdstuk 6 worden teruggezocht.

Naast dit hoofdrapport is er een aparte synthese beschikbaar, waarin de bevindingen zijn samengevat.

2 Hitte en droogte

Dit hoofdstuk beschrijft de processen die van belang zijn bij vorming van hitte en droogte, op basis van de literatuur. Met een goed begrip van deze materie op hoofdlijnen wordt het eenvoudiger om de effecten van hitte en droogte te begrijpen en de werking van maatregelen tegen hitte en droogte. Dit hoofdstuk geeft nog geen beschrijving van de specifieke situatie in Overijssel met betrekking tot hitte en droogte. Dat komt in hoofdstuk 3 en met name hoofdstuk 4 aan de orde. Hoofdstuk 5 beschrijft de maatregelen waarmee effecten van hitte en droogte beperkt kunnen worden.

Door klimaatverandering zullen langdurige warme en droge periodes in de toekomst vaker voorkomen.³ Stedelijk gebied is extra gevoelig voor hitte vanwege het stedelijk hitte-eiland effect⁴ in combinatie met de concentratie aan infrastructuur en sociaaleconomische en culturele activiteiten.⁵ Droogte en hitte zijn met elkaar verbonden via de verdamping. Verminderde verdamping betekent meer verwarming van de atmosfeer boven een oppervlak. Dit geldt óók voor steden en dorpen. Kennis over de waterbalans van de stad is daarom essentieel om stedelijk gebied zó in te richten dat koeling door verdamping gewaarborgd blijft met een zo klein mogelijk waterverbruik.

2.1 Wat verstaan we onder hitte?

2.1.1 Over welke temperatuur hebben we het?

Wanneer het gaat over hitte, gaat het feitelijk over temperatuur. Maar over welke temperatuur hebben we het dan? Voor een goed begrip is het van belang onderscheid te maken tussen de volgende temperaturen⁶:

- oppervlaktetemperatuur;
- luchttemperatuur;
- gevoelstemperatuur.

Oppervlakte temperatuur

De oppervlakte temperatuur representeert de temperatuur van het gras, de daken, wegen, gebouwen, vegetatie etc. Deze temperatuur kan worden afgeleid uit satellietbeelden of op basis van metingen met infrarood camera's. Het voordeel van satellietbeelden is, dat gebiedsdekkende gegevens worden verzameld. Zo ontstaat inzicht in ruimtelijke temperatuurvariaties aan het oppervlak. De oppervlaktetemperatuur en de luchttemperatuur zijn met elkaar verbonden, maar de relatie is complex en hangt af van veel andere factoren.⁷

Luchttemperatuur

De meest bekende temperatuur is de luchttemperatuur. Hiermee wordt doorgaans de temperatuur van de lucht op 'neushoogte' bedoeld. Hij wordt gemeten met een thermometer in de schaduw, afgeschermd voor neerslag en goed geventileerd. Op meteorologische stations vindt de meting plaats op een hoogte van 1,5 meter boven een open grasvlakte.

Gevoelstemperatuur

Hoe mensen warmte beleven hangt niet alleen af van de luchttemperatuur, maar ook van de luchtvochtigheid, de windsnelheid en de straling vanuit de omgeving (zonnestraling en warmtestraling). Deze factoren kunnen worden gecombineerd in een indicator die een objectieve vergelijking van de gevoelstemperatuur op verschillende plekken mogelijk maakt. Een index die ook rekening houdt met de energiebalans van het menselijk lichaam is de Physiological Equivalent Temperature (PET), waarin luchttemperatuur, wind, straling, en luchtvochtigheid verwerkt zijn.⁸ Voor de daadwerkelijke hittebeleving of thermisch comfort speelt daarnaast nog een aantal psychologische (bijvoorbeeld waardering van de omgeving, verwachtingspatroon), sociaaleconomische (bijvoorbeeld openingstijden van winkels) en fysiologische factoren (bijvoorbeeld gezondheid, leeftijd, activiteit) een rol.

2.1.2

Het stedelijk hitte-eiland

Een warmte- of hitte-eiland is een gebied met een temperatuur die hoger is dan de omgeving (zie Figuur 2). Wanneer een stad zo'n hitte-eiland veroorzaakt, spreken we van een stedelijk hitte-eiland.⁹ Vaak wordt onderscheid gemaakt tussen het hitte-eiland op basis van oppervlaktetemperatuur en het hitte eiland op basis van luchttemperatuur¹⁰ (zie Figuur 3).

Hitte eiland op basis van luchttemperatuur

Het hitte-eiland op basis van luchttemperatuur is het 'klassieke' hitte-eiland en manifesteert zich voornamelijk na zonsondergang. Overdag warmen de bodem, het oppervlaktewater en de bebouwing geleidelijk op en gedurende de nacht wordt die warmte maar langzaam weer afgegeven. Een open landelijke of natuurlijke omgeving houdt minder warmte vast en kan daarnaast de warmte sneller kwijtraken dan een verharde, stedelijke omgeving. Daardoor blijft het vooral 's avonds en 's nachts warmer in de stad. Dit klassieke stedelijke hitte-eiland wordt internationaal vaak afkort met UHI (Urban Heat Island).

Hitte eiland op basis van oppervlaktetemperatuur

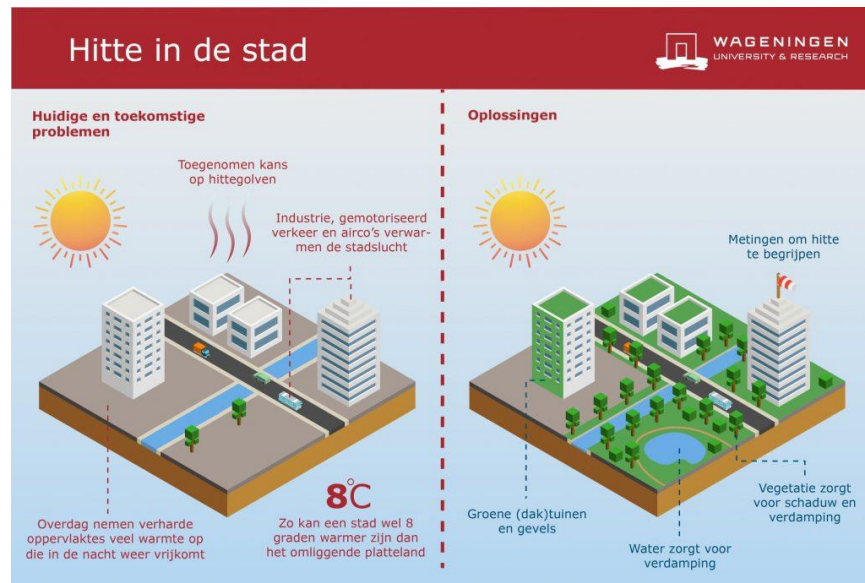
Het stedelijk hitte eiland op basis van oppervlaktetemperatuur is juist overdag vaak groter, met name als het buitengebied vochtig is en – in tegenstelling tot het gebouwde gebied – goed verdampt. Door het ontbreken van verdamping in de stad koelt het oppervlak overdag niet af en loopt de oppervlaktetemperatuur sterk op, vooral als er ook veel zonnestraling wordt opgenomen zoals bij een donker wegdek. Wanneer ook de omgeving van een

stad of dorp droog is zal het oppervlakte hitte eiland veel minder uitgesproken zijn.

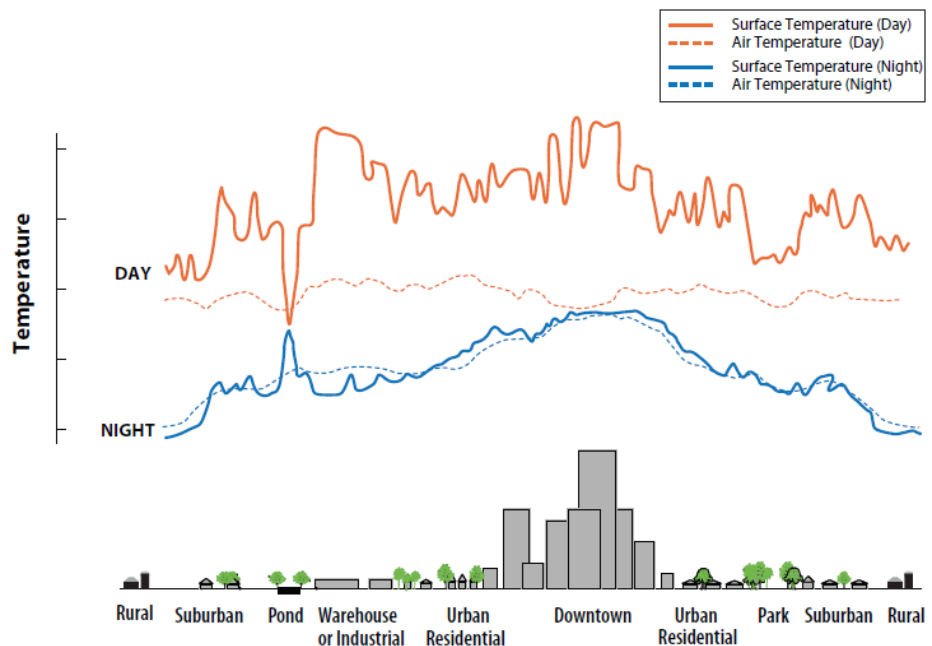
Hitte eiland en gevoelstemperatuur

Bij hitte eilanden op basis van gevoelstemperatuur of oppervlaktetemperatuur gaat het om een verschil tussen het hitte eiland en de omgeving. Dit zegt echter niet per se iets over het niveau van de hitte. De relatie met gevoelstemperatuur is indirect. In de zomer zijn overdag vooral zon en schaduw van belang voor gevoelstemperatuur. Ook wind kan lokaal belangrijk zijn voor het gevoel. Daarnaast is de gemiddelde windsnelheid van een stad vaak lager dan daarbuiten, waardoor de gevoelstemperatuur gemiddeld toeneemt.

Figuur 2:
Hitte in de stad.
Bron:
<https://weblog.wur.nl/metropolitan-solutions/hoehouden-we-hoofd-koel-hitte/>



Figuur 3:
Vergelijking van het hitte-eiland op basis van luchttemperatuur (doorgetrokken lijnen) met het hitte-eiland op basis van oppervlaktetemperatuur (stippellijnen) voor een typische situatie overdag (oranje) en in de nacht (blauw).
Bron:
<http://www.epa.gov/heatisland/about/in dex.htm>



2.1.3

Hitte en invloed van weersomstandigheden

De heersende weersomstandigheden bepalen een groot deel van de hittelast in de steden. Hittegolven in Nederland treden vooral op bij oostelijke tot zuidelijke windrichtingen, waarbij warme lucht over land wordt aangevoerd. Tegelijkertijd zijn de windsnelheden dan vaak laag.¹¹ Dit laatste is een belangrijk aspect bij op ventilatie gebaseerde maatregelen.

Nachtelijke hitte-eilanden komen in het zomerseizoen het beste tot ontwikkeling na dagen met helder en windstil weer.¹² Dit betekent een verhoging van de minimumtemperatuur in de stad ten opzichte van het open gebied buiten de stad die in de weersverwachting besproken worden. Bij helder en windstil weer kan overdag het oppervlakte-hitte-eiland intens kan zijn¹³ en kan de gevoelstemperatuur in de zon flink oplopen.¹⁴ Dit is van belang in verband met mogelijke gezondheidseffecten door hitte (zie hoofdstuk 3).

2.1.4

Hitte op regionale, lokale en microschaal

Binnen steden, dorpen, wijken, buurten en zelfs straten kan de temperatuur een grote ruimtelijke variatie vertonen. Deze variatie is onder andere afhankelijk van de beschouwde temperatuur. Mede met het oog op te nemen maatregelen is het daarom zinvol om verschillende schaalniveaus te onderscheiden.¹⁵ Als illustratie dient het voorbeeld van de aanplant van bomen. Zeer lokaal kan die tot een sterke reductie van de gevoelstemperatuur leiden, maar de luchttemperatuur hoeft op die plek daardoor nauwelijks te veranderen. Effecten op luchttemperatuur worden pas merkbaar als op wat uitgebreidere schaal bomen worden toegepast, zoals in een park.

Een veel gebruikte indeling¹⁶ die ook hier toegepast zal worden is:

- Regionale schaal: stad en regio;
- Lokale schaal: buurt en wijk;
- Micro schaal: gebouw en straat.

2.1.5

Hitte op regionale schaal

Grootschalig beïnvloedt de geografische ligging de hittelast van steden wegens de relatie met het achtergrondweer. Denk daarbij bijvoorbeeld aan ligging en termen van breedtegraden (van de tropen via gematigde breedte naar poolgebieden). Ook op de schaal van Nederland speelt geografische ligging via regionale weerseffecten een rol. Dit zijn effecten zoals land-zeewindeffecten of het effect van de Veluwe op neerslag en bewolking.¹⁷

Steenefeld et al.¹⁸ hebben grote verschillen gevonden in intensiteit van het stedelijk hitte eiland en thermisch comfort tussen verschillende Nederlandse steden. Zo vertoonde een relatief kleine kern als Losser in Overijssel een relatief sterk stedelijke hitte eiland in vergelijking met grotere steden in kustgebieden.

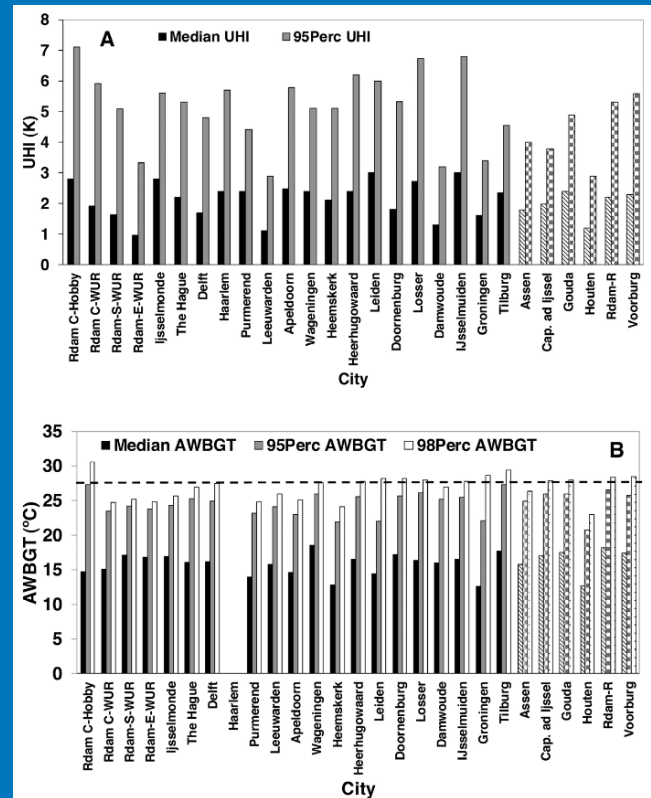
Losser werd geassocieerd met een landklimaat waar de windsnelheid over het algemeen lager was dan bijvoorbeeld aan de kust van Holland, Friesland en Groningen. Verschillen tussen steden zijn deels te verklaren uit de geografische ligging en worden niet perse bepaald door de grootte van de stad. Maar de eigenschappen van een stad of wijk zelf lijken meer bepalend voor het stedelijk hitte eiland dan de geografische ligging.¹⁹

Verschillen tussen steden in Nederland

De resultaten van Steeneveld et al. (2011)²⁰ zijn gereproduceerd in Figuur 3. In het bovenste deel zijn de verschillen in sterkte van het stedelijk hitte eiland duidelijk te zien, voor de middelste waarde (Median UHI) en de waarde die maar gedurende 5% van de nachten overschreden wordt (95Perc UHI). Duidelijk is te zien, dat niet alleen grote steden gevoelig zijn voor het stedelijk hitte eiland.

In het onderste deel van Figuur 4 wordt de gevoelstemperatuur geanalyseerd. Deze is gegeven als de zogenoemde Wet Bulb Globe Temperature, bepaald volgens de methode van het Australische meteorologische instituut op basis van luchtvochtigheid en luchttemperatuur (AWBGT²¹). De grafiek laat duidelijk zien dat ook in kleinere kernen de gevoelstemperatuur regelmatig oploopt tot niveaus die ook in grotere steden frequent voorkomen. Onderzoek in Zeeland heeft dit onlangs bevestigd.²²

Figuur 4:
Boven: Verschillen in hitte eiland effecten tussen steden



Onder: verschillende in thermisch comfort tussen steden. De stippellijn toont waar de grens voor thermisch comfort ligt (27 °C)

2.1.6

Hitte op lokale schaal

Binnen steden en dorpen kunnen flinke verschillen optreden in warmte op lokale schaal. Onderstaande tabel zet een aantal wikeigenschappen op een rij en typeert hun invloed op het stedelijke hitte eiland onder Nederlandse omstandigheden.

Tabel 2: Samenvattend overzicht van de invloed van wijkeigenschappen op de maximale sterkte van het UHI. (stedelijke hitte eiland obv luchttemperatuur) (bron: Steeneveld et al., 2011; Rovers et al., 2014)

Factor	Effect of gemiddelde UHI _{max} zomermaanden
Antropogene warmte	+0.5 °C gemiddeld over Rotterdam (38 W/m ²) +2.0 °C industriegebied (200 W/m ²)
Populatie-dichtheid*	+0,1 °C tot +0.3 °C per 1000 inw toename/km ²
Bebouwd oppervlak	+0,4 °C tot +0.6 °C per 10% toename
Verhard oppervlak	+0,2 °C tot +0.4 °C per 10% toename
Stedelijk groen	-0,3 °C tot -0.6 °C per 10% toename
Open water	geen significantie correlatie
Sky View Factor	geen significantie correlatie
Albedo	geen significantie correlatie
Gebouwhoogte	+0.08-+0.19 °C per toename van 1 m

In Tabel 2 gaat het om 'gebiedsgemiddelde' eigenschappen op de schaal van wijken tot steden die eventueel op basis van stedelijke inrichting beïnvloed kunnen worden. De meeste van de in de tabel opgenomen bevindingen zijn afgeleid uit waarnemingen in Nederland van amateurmeteorologen,²³ van mobiele metingen met een speciale bakfiets²⁴ en van langjarige metingen van een netwerk van speciale weerstations voor de stad.²⁵ Het effect van antropogene warmte (productie van warmte door menselijke activiteiten zoals industriële productie, verkeer en gebruik van airco's) is afgeleid uit modelberekeningen.

Enigszins verassend is het ontbreken van een correlatie tussen de intensiteit van het stedelijk hitte eiland en de 'Sky View Factor'.²⁶ Deze factor zegt iets over de openheid van een wijk: een hogere Sky View Factor betekent meer vrij zicht op de hemelkoepel en daarmee een betere mogelijkheid om warmte 's nachts weer kwijt te raken. In de wetenschappelijke literatuur relateert men de intensiteit van het stedelijk hitte-eiland dan ook vaak aan Sky View Factor²⁷, of daarmee direct samenhangende kenmerken als hoogte-breedte verhouding van straten.²⁸

Een hoge albedo zorgt ervoor dat kortgolvlige zonnestraling wordt gereflecteerd. Hoe meer straling door een object (bv., een gebouw) wordt gereflecteerd, hoe minder het object zelf opwarmt. Albedo loopt van 0 (geen reflectie) tot 1 (maximale reflectie). Witte daken hebben een albedo van ongeveer 0,7. Op wijkniveau is er geen significante verband gevonden tussen een lager albedo en een groter hitte eiland effect. Populatie-dichtheid als verklarende factor is niet op natuurkundige principes gebaseerd. Deze factor vertoont echter wel een correlatie met de sterkte van het stedelijke hitte eiland omdat hij in de praktijk vaak oploopt met toenemende bebouwingsgraad, verstening en warmteproductie.²⁹

2.1.7

Hitte op microschaal

Binnen wijken kunnen de verschillen op de microschaal groot zijn. Aanwezigheid en dimensionering van bebouwing, straten, bomen of andere vegetatie, waterlichamen en hun oriëntatie op de zon en wind zijn van belang voor zon en schaduw, lokale uitwisseling van warmtestraling, ventilatie en verdampingsprocessen. Overdag kunnen verschillen in thermisch comfort en gevoelstemperatuur groot zijn door de afwisseling van zon en schaduw en verschillen in windsnelheid.³⁰ In de nacht is het stedelijk hitte-eiland goed tot ontwikkeling gekomen en vallen verschillen in luchttemperatuur en warmtestraling meer op.³¹

Ventilatie in straten en tussen gebouwen

Straten (zonder verdere obstructie van luchtstroming door bomen en andere obstakels) hebben een optimale verhouding voor schaduw en ventilatiewerking wanneer zij even breed zijn als de gebouwen aan weerszijden hoog ($H/B=1$, met H de gebouwhoogte en B de straatbreedte, ook wel canyonbreedte genoemd). Bredere straten ventileren beter maar bieden minder schaduw, en smallere straten bieden meer schaduw maar ventileren minder.³² Relatief smalle straten met hoge gebouwen blijven overdag koeler vanwege de schaduw, maar na zonsondergang blijft warmte die overdag (via multi-reflectie) in muren is opgeslagen langer tussen de gebouwen hangen. De afkoeling via uitzending van infrarood (warmte)straling is minder en de onderste luchtlaag heeft weinig uitwisseling met de laag erboven.³³ Ook oriëntatie van de straat ten opzichte van de windrichting is van belang voor ventilatie (en schaduwwerking).

De ventilatie ofwel windsnelheid is een belangrijke parameter voor het de thermische perceptie van mensen. Hoewel recente modelberekeningen suggereren dat de windsnelheid in gebouwd gebied onder specifieke omstandigheden wat groter kunnen zijn dan in het omliggende gebied³⁴ geven metingen vooralsnog aan dat windsnelheden er meestal lager zijn.³⁵ Ook binnen steden kunnen er grote lokale verschillen in windsnelheid optreden. Overdag is de doorgaans geringere windsnelheid in steden vaak de oorzaak van een hogere (bij hitte dus verslechterde) gevoelstemperatuur in de stad dan daarbuiten.³⁶ Dit geldt al voor relatief kleine kernen zoals Heinkenszand in Zeeland.³⁷

Water: afkoeling en opwarming

Mede door de grote warmtecapaciteit van water warmt het veel langzamer op en koelt het ook weer langzamer af dan lucht. Dit betekent, dat in de zomer het water overdag vaak koeler is dan de lucht en vooral in nazomernachten (en in de winter) omgekeerd. Dit houdt in dat water op een hete zomerse dag in principe de lucht kan koelen, maar 's nachts ook kan verwarmen. Verdamping speelt hierin slechts een beperkte en vooral indirecte rol. Door verdamping zal de temperatuur van het water iets lager blijven en zo de warmteoverdracht tussen water en lucht uiteindelijk beïnvloeden. Hoewel verdamping zowel overdag als 's nachts kan doorgaan³⁸ zal de gemiddeld lage windsnelheid in steden de verdamping beperken.

Hoe groot het uiteindelijke effect van water op de omgeving is hangt sterk af van de grootte van het wateroppervlak. Zo is de invloed van de zee op het klimaat in met name de kustprovincies duidelijk merkbaar.³⁹ Een typisch stadswaterlichaam zoals een vijver of een gracht zal de omgeving (microschaal) nauwelijks merkbaar koelen of verwarmen.⁴⁰ Mogelijk hebben veel kleine waterpartijen wel weer een merkbare invloed op de achtergrondtemperatuur van wijken en steden.⁴¹ Verder speelt een rol of afkoeling beoordeeld wordt als een verlaging van de luchttemperatuur of van de gevoelstemperatuur, waarbij omgevingskarakteristieken rond het water de doorslag kunnen geven.⁴² Verkoelende effecten van fontein en sprays zijn merkbaar⁴³, maar de reikwijdte van hun verkoelend effect is meestal beperkt. Nog een andere op verkoeling door water gebaseerde techniek is vernatting van straten en huizen.⁴⁴

Verdamping en de rol van vegetatie

Hoe langer de warmteperiode duurt, hoe minder snel een dichtbebouwde wijk 's nachts afkoelt. De verdamping in een stad is veel geringer dan in het landelijke gebied. Ten gevolge daarvan wordt een groot deel van de inkomende zonne-energie omgezet in voelbare warmte.⁴⁵ In een groene wijk treedt dit accumulerend effect minder op.⁴⁶ Op zomerse dagen kan het in een klein park 3 °C koeler zijn dan in het aangrenzende bebouwde gebied. De luchttemperatuur in een park is soms nagenoeg gelijk aan de temperatuur buiten de stad. Echter, de invloed van het 'Park Cool Island' effect op de aangrenzende bebouwde omgeving is gering.⁴⁷

Over verdamping in stedelijk gebied is echter nog veel onbekend. Een vergroting van de verdamping zou kunnen bijdragen aan beperking van het stedelijk hitte eiland. Voor Nederland lijkt als vuistregel te gelden, dat elke 10% groenbedekking leidt tot een afname van het stedelijk hitte eiland met ongeveer 0.6°C.⁴⁸ Volgens de huidige inzichten is deze verlaging voor het grootste deel toe te schrijven aan het effect van de verdamping door vegetatie. De vochtvoorziening van stedelijk groen tijdens droge perioden kan worden verbeterd, waardoor de verdamping redelijk op peil blijft. Het effect van verdamping op gevoelstemperatuur via verhoging van de luchtvochtigheid is waarschijnlijk klein.

Verdamping in steden grotendeels onbekend

Over stedelijke verdamping is nog veel onbekend. Tot nu toe is in twee Nederlandse steden, Arnhem en Rotterdam, de verdamping op de wijk- tot stadsschaal gedurende minimaal één zomerhalfjaar bepaald (Jacobs et al., 2015). In Arnhem en Rotterdam suggereren de gegevens het volgende:

- In de periode april tot en met september verdampt 20-60% van de gemiddelde neerslag. Dit zorgt voor een seizoensgemiddelde koelsnelheid van 20-25 W/m² per dag, wat overeenkomt met 11-15% van de inkomende zonnestraling. Dit is niet zonder meer om te zetten in een verlaging van de luchttemperatuur (beter: vermeden verwarming van de lucht), omdat niet bekend is hoeveel lucht hiermee gekoeld wordt.
- Eerste ruwe schattingen voor Rotterdam laten zien dat de waterconsumptie van bomen slechts een gering effect heeft op de waterbalans van die stad; op lokale schaal kan dit echter anders zijn.

2.1.8

Gebouwen: binnentemperatuur en woningkenmerken

Mensen verblijven voor 80% van de tijd binnen, in een gebouw. Hoge binnentemperaturen kunnen 's nachts leiden tot slechter slapen en overdag tot een afname van de arbeidsproductiviteit. Ook kunnen er gezondheidseffecten optreden bij kwetsbare groepen zoals zuigelingen en ouderen.

Binnentemperatuur versus buitentemperatuur

Voor binnentemperatuur in woningen bestaan geen wettelijke normen, wel is er het Handboek Binnenmilieu dat uitgaat van de ISSO-richtlijn 'Kleintje binnenklimaat'.⁴⁹ Op basis van deze richtlijn zijn binnentemperaturen tot 27 °C in de woonkamer, keuken en slaapkamer toegestaan bij een maximum buitentemperatuur van 28 °C. Bij hogere buitentemperaturen zijn zelfs binnentemperaturen van boven de 30 °C toegestaan. Deze waarden zijn gebaseerd op onderzoek naar thermische behaaglijkheid. Effecten op gezondheid zijn daarin niet meegenomen. Door de GDD in Groningen is aangegeven op hun website dat een temperatuur hoger dan 26°C binnenshuis vermeden moet worden.⁵⁰

Uit hitteonderzoek door TU-Delft⁵¹ en Le Grand et al.⁵² blijkt dat de binnentemperatuur het verloop van de buitentemperatuur met enige vertraging volgt. De fluctuaties in binnentemperatuur zijn wel (veel) kleiner. In warme periodes kan de binnentemperatuur een groot deel van de dag boven de buitentemperatuur liggen, met name in de nacht en een deel van de ochtend. In die periode kan verversing met buitenlucht de woning koelen. In de (na)middag en avond is de buitentemperatuur in warme periodes hoger, en kan ventilatie bijdragen aan verwarming van de woning.⁵³ De binnentemperatuur wordt voor ongeveer 40% verklaard uit de buitentemperatuur.⁵⁴ Verschillende woningkenmerken spelen hierin een rol.⁵⁵ Maar in hoeverre de ene woning meer opwarmt dan de andere hangt af van woningkenmerken, gedrag van woninggebruikers en wijkenkenmerken die de buitentemperatuur beïnvloeden.⁵⁶

Woningkenmerken

De mate waarin de binnentemperatuur wordt bepaald door de buitentemperatuur kan tussen gebouwen (sterk) verschillen. Dit hangt af van het type woning, isolatie, oriëntatie op de zon, ventilatie en zonwering.⁵⁷ Hiernaar zijn verschillende onderzoeken verricht, maar uit metingen blijkt dat de bijdrage van sommige kenmerken nog niet eenduidig is vast te stellen.

Uit simulaties⁵⁸ blijkt dat appartementen, zelfs wanneer die niet onder het dak gesitueerd zijn, gevoeliger zijn voor hitte dan rijwoningen en vrijstaande woningen. Ongeacht woningtype was de oververhitting van woonkamers groter dan van slaapkamers. Maar er was met name een groot verschil op basis van de isolatiewaarde van jaren'70 woningen en nieuwbouw (bouwbesluit 2012). Het aantal uren waarbij de drempelwaarde voor thermisch comfort werd overschreden bleek bij nieuwbouwwoningen ongeveer drie keer hoger te zijn. Dit wordt verklaard doordat nieuwbouw beter geïsoleerd is, vaak standaard niet is uitgerust met buitenzonwering en

het zogenaamde 'serre-effect'. Het serre-effect betekent dat zonnestraling langs het glas makkelijk de woning binnenkomt. Bij beter geïsoleerde woningen kan die warmte moeilijker naar buiten dan bij minder goed geïsoleerde woningen. Ook de oriëntatie van de woning is van belang. Wanneer de zon lager staat kan het zonlicht verder de woning binnendringen. Woningen met ramen op het oosten (ochtendzon) en westen (avondzon) hebben daarom meer overschrijdingsuren voor thermisch comfort. Zonwering buiten en ventilatie zijn van groot belang, en het belang hiervan neemt toe naarmate een woning beter geïsoleerd is. Metingen geven aan dat zonwering binnen tot enige opwarming kan leiden, net als ventilatiegedrag dat systematisch warmere buitenlucht toelaat in de woning.⁵⁹ In de energietransitie ligt de focus bij gebouwen sterk op het verbeteren van isolatie zodat in de koudere seizoenen minder energie wordt verbruikt. Maar in het ontwerp van gebouwen en bij renovaties wordt nog nauwelijks rekening gehouden met (een toename door isolatie van) hitte-effecten.

2.2 Wat verstaan we onder droogte?

2.2.1 Meteorologische droogte en neerslagtekort

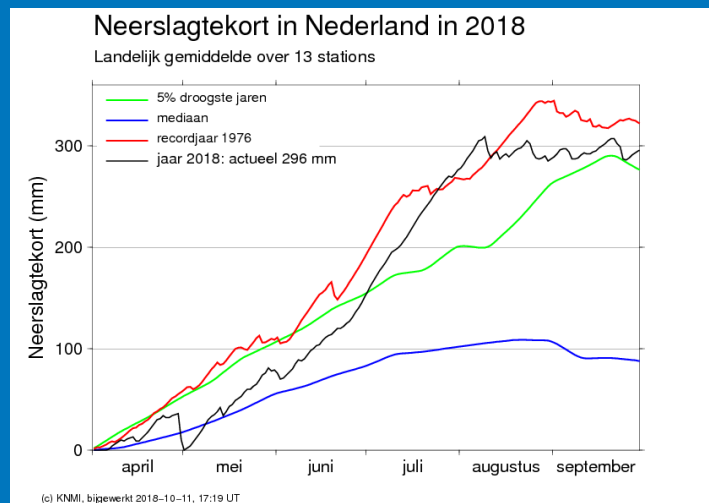
Een meteorologische droogte treedt op wanneer er langdurig verminderde neerslag valt ten opzichte van normaal. Een meteorologische droogte veroorzaakt doorgaans andere typen droogte. In Nederland wordt door het KNMI zogenoemde (potentiële) neerslagtekorten landelijk berekend voor de periode van april tot oktober. Door dit jaarlijks te brengen berekenen wordt inzicht verkregen in het gemiddelde neerslagtekort, en de afwijking daarvan in een bepaald jaar. Hiermee kan inzicht worden verkregen in de meteorologische droogte.

Het neerslagtekort wordt berekend uit waargenomen neerslag en berekende potentiële verdamping. Dit is de verdamping van een goed van water voorzien en gezond grasland. Omgekeerd, er is sprake van een (potentieel) neerslagoverschot wanneer er meer neerslag valt dan er water verdampt. Dit gebeurt normaal gesproken in het winter halfjaar. Onder normale omstandigheden herstellen de grondwaterstanden zich daardoor gedurende de winter. Ondanks dat zomerse hoosbuien steeds vaker voorkomen wordt het potentiële neerslagtekort in het zomerhalfjaar op de meeste plaatsen niet opgeheven. Volgens het KNMI gaat de toenemende droogte zelfs gepaard met een groter aantal extreme buien.⁶⁰

Neerslagtekort 2018

Figuur 5 toont de ontwikkeling van het neerslag tekort in 2018.

Figuur 5:
Ontwikkeling van
het neerslagtekort
in 2018.
Bron: KNMI.



De zomer van 2018 was extreem droog. Het regende langdurig niet en de potentiële verdamping was hoog. Het oplopende neerslagtekort bereikte in juli het niveau van 1976, het jaar dat onder hydrologen bekend staat als een extreem droog jaar. In december 2018 waren de grondwaterstanden in hogere delen van Overijssel nog beduidend lager dan de normale waarden doordat er onvoldoende neerslag was gevallen.⁶¹ De droogte in een bepaald jaar is daarom een risicofactor voor de droogte in een volgend jaar. Omdat er ook eind 2018 weinig neerslag viel, was er sprake van een verhoogd droogterisico voor 2019.⁶²

Neerslagtekort en verdamping

Om het *actuele* neerslagtekort te bepalen zou gerekend moeten worden met actuele verdamping. Deze is echter lastig te bepalen via metingen of modellering. Onder normale Nederlandse omstandigheden kan de verdamping van grasland echter vrij goed geschat worden op grond van de potentiële verdamping.⁶³ Ook voor wat lagere gewassen en vegetatie is dat het geval. Voor hogere vegetatie die regenwater vasthouden zoals bossen zijn de afwijkingen groter maar soms corrigeerbaar.⁶⁴

Bij droogte is er per definitie een probleem met een schatting van de actuele verdamping op basis van potentiële verdamping. Het bijbehorende potentiële neerslagtekort is dan een overschatting van het actuele neerslagtekort: gras houdt op te verdampen en de vochttoestand van de atmosfeer komt bovendien niet overeen met die boven een goed verdampend grasland. Omdat momenteel geen gevalideerde klimatologie bestaat van het actuele neerslagtekort werken we hier verder met het potentiële neerslagtekort en dat we hierna simpelweg 'neerslagtekort' noemen.

2.2.2

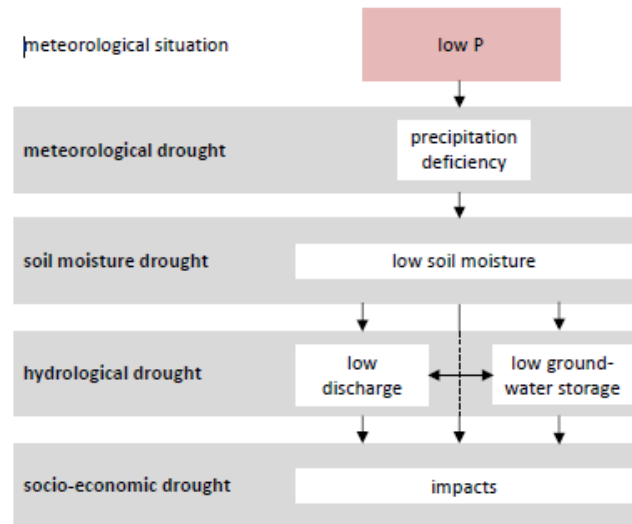
Neerslagtekort resulteert in verschillende soorten droogte

Met behulp van het neerslagtekort kan inzicht verkregen in het ontstaan van een meteorologische droogte.⁶⁵ Een meteorologische droogte kan vervolgens andere typen droogte veroorzaken (zie Figuur 6), elk met hun eigen gevolgen en tijdschalen. Doordat de vochtvoorraad van de wortelzone kleiner wordt ontstaat eerst een bodemfysische droogte, ook wel bodemvochtdroogte of landbouwkundige droogte genoemd, waarvan de vegetatie nadelige effecten kan ondervinden.ⁱⁱⁱ Vervolgens wordt ook de grondwateraanvulling kleiner;

ⁱⁱⁱ Of er nadelige effecten ontstaan hangt af van de situatie, en vanuit welk perspectief de effecten wordt bekeken (plantgroei of opbrengst). De koppeling tussen verdamping en gewasgroei is niet 1:1 en voor gewasgroei is optimaal verdampen niet altijd nodig.

die hangt immers af van het bodemvochtgehalte. De grondwaterstand daalt (hydrologische droogte) en daarmee ook de afvoer naar het oppervlakte-watersysteem. In hoog Nederland wordt de afvoer namelijk sterk bepaald door de grondwaterstand. Door de verminderde waterbeschikbaarheid en het effect daarvan op de samenleving ontstaat een sociaal-economische droogte.

*Figuur 6:
Schematische
weergave van
droogte-categorieën
en hun ontwikkeling
Bron: Van Loon,
2013.*



2.2.3

Droogte in landelijk en stedelijk gebied

Net als hitte spelen ook bij droogte verschillende schaalniveaus een rol. Hierbij kan onderscheid worden gemaakt tussen het regionaal watersysteem in het landelijk gebied en stedelijk watersysteem in stedelijk gebied.

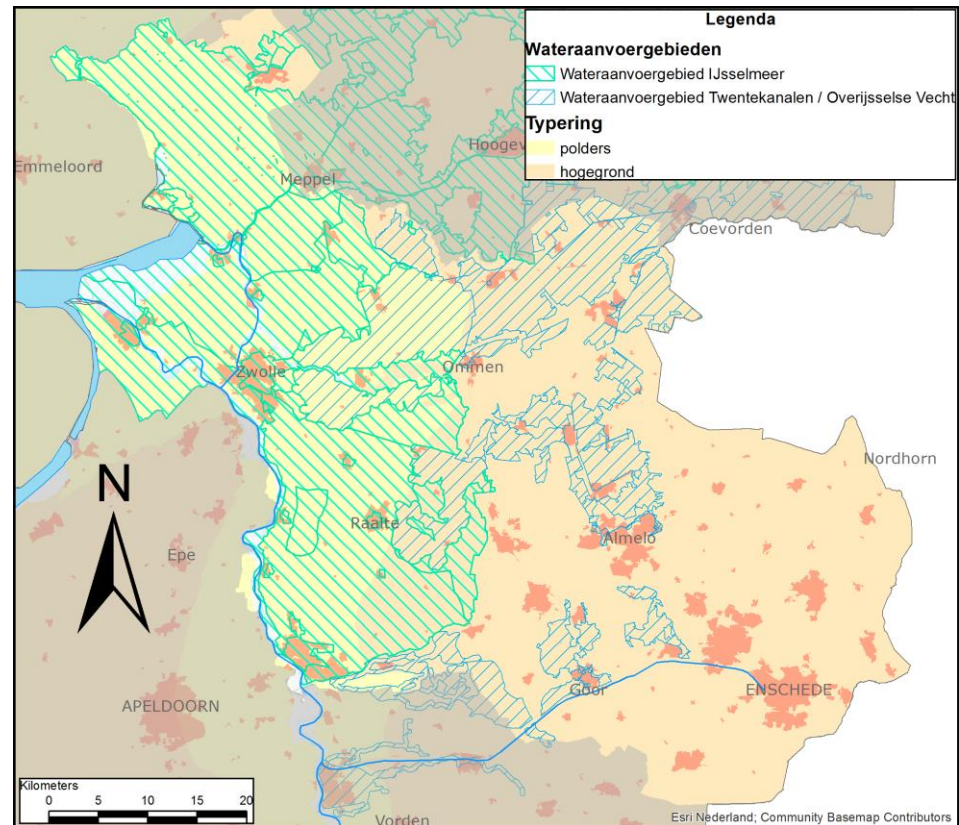
Regionaal watersysteem

Op regionaal niveau kan in Overijssel onderscheid worden gemaakt tussen de laaggelegen delen in de IJssel-Vechtdelta, bestaande uit polders waarin het waterpeil wordt beheerst, en de hooggelegen vrij afwaterende delen. In de hoog gelegen regio's is een aaneengesloten netwerk van watergangen afwezig. Het peil kan hier niet gebiedsdekkend worden beheerst.

In het westelijk deel van de provincie kunnen hydrologische en landbouwkundige droogtes worden gemitigeerd door water in te laten vanuit het hoofdwatersysteem in het regionale systeem en vervolgens in de stedelijke systemen van de kernen. De verdringingsreeks geeft de rangorde van maatschappelijke behoeften aan, die bij de verdeling van het beschikbare water in acht wordt genomen. In de provincie Overijssel gelden twee verdringingsreeksen voor twee verschillende gebieden, namelijk IJsselmeergebied en Twentekanalen/Overijsselse Vecht. Figuur 7 laat deze gebieden zien. Wateraanvoer vindt plaats vanuit het IJsselmeer, de IJssel, Overijsselse Vecht en Twentekanalen. Vervolgens wordt het water verdeeld via lokale watergangen.

In het hooggelegen deel van Overijssel waar geen water kan worden ingelaten, zoals de hogere zandgronden in het oosten van Twente en de Sallandse Holterberg, is het handelingsperspectief in tijden van droogte beperkt. In principe zal een meteorologische droogte hier via een landbouwkundige en hydrologische droogte ook een sociaal-economische droogte veroorzaken. Uiteraard zijn lokaal wel maatregelen mogelijk. Hier dient meer gezocht te worden in het (preventief) vasthouden en infiltreren van hemelwater zodat het systeem robuuster wordt voor droogtes.

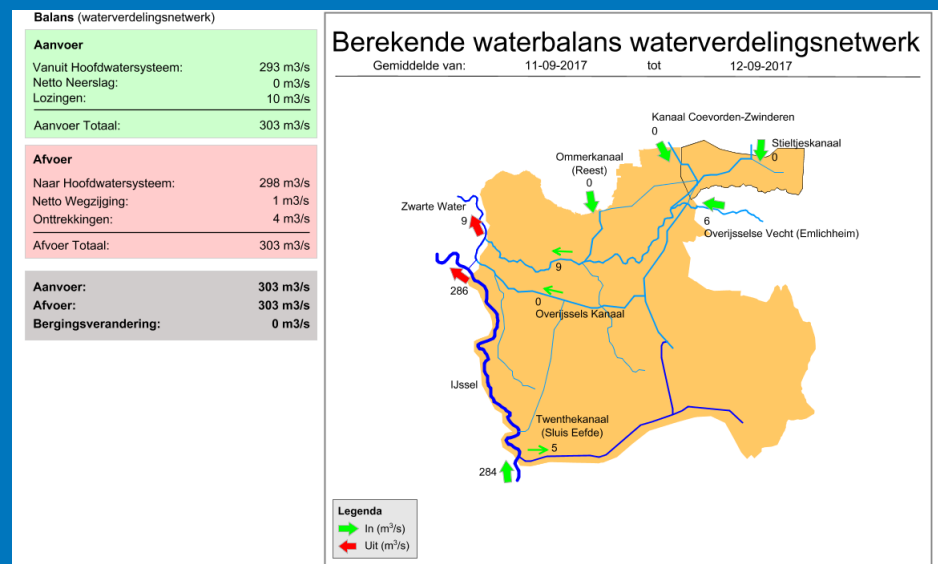
*Figuur 7:
Wateraanvoer-
gebieden in
Overijssel.*



Real time inzicht in de waterbalans van het hoofwatersysteem

Tijdens droogte is het van belang de waterbalans te monitoren. Rijkswaterstaat monitort de hoofwateren. Figuur 8 toont een schematische weergave van het gebied in en rond Overijssel. De figuur komt uit RWSoS. De getallen zijn ter illustratie, maar realtime kan de waterbalans via de website van Rijkswaterstaat worden bekeken. Onderstaande scherm afbeelding is afkomstig uit het waterbeheersysteem van Rijkswaterstaat en bevat het hoofwatersysteem in Overijssel. RWSos geeft real time inzicht in de afvoeren van het watersysteem. Zie: <https://waterberichtgeving.rws.nl/water-en-weer/actuele-overzichten-watersystemen/twentekanaal>

Figuur 8: Schermvoorbeeld van het waterbeheersysteem van Rijkswaterstaat (RWSoS).



Stedelijk watersysteem

In vergelijking met het landelijk gebied worden stedelijke gebieden gekenmerkt door de hogere mate van verharding waardoor er minder infiltratiemogelijkheden zijn en er is meer bebouwing en boven- ondergrondse infrastructuur aanwezig. Ook in stedelijk gebied is het onderscheid tussen laag gelegen gebieden (klei en veengrond) en hoog gelegen gebieden (zandgrond) van belang, in combinatie met de mogelijkheden om wel of geen water aan te voeren. Elke stad heeft bovendien een watersysteem met specifieke kenmerken, behoeften en knelpunten.⁶⁶ Daarbij kan worden opgemerkt dat vrijwel elke stad haar watersysteem (traditioneel) heeft uitgelegd op het zo snel mogelijk afvoeren van een wateroverschot.

In hoofdstuk 3 gaan we verder in op de effecten van droogte (en hitte) in de impact daarvan landelijke en stedelijke omgeving.

2.3

Andere vormen van extreem weer

Naast hitte en droogte zijn er andere meteorologische verschijnselen, waarvan de intensiteit in de toekomst mogelijk toeneemt als gevolg van de opwarming van de aarde. Het meest bekende voorbeeld hiervan zijn piekbuien.

Piekbuien

Recentelijk zijn de neerslagstatistieken voor zowel lange als korte duren geactualiseerd. Neerslag met een 'korte duur' omvat neerslaggebeurtenissen met een duur variërend van 10 minuten tot 12 uur.⁶⁷ Met name korte, hevige buien vormen een probleem voor het stedelijke gebied, vanwege de grote hoeveelheid verhard oppervlak (asfalt, klinkers, daken) en relatief weinig groen. Omdat overtollig hemelwater nauwelijks in de bodem kan wegzakken, raakt de riolering overbelast, waardoor er water op straat kan komen en huizen en wegen blank kunnen komen te staan. Uit de actualisatie blijkt dat de hoeveelheid neerslag die met een bepaalde statistische kans in korte tijd kan vallen, flink is toegenomen. Ter illustratie, buien die in de oude statistiek gemiddeld eens in de 500 jaar vielen, vallen nu gemiddeld eens in de 100 jaar. In de ruimtelijke verdeling van deze extreme buien in Nederland is momenteel geen duidelijk patroon herkenbaar. Overijssel is daarom ten opzichte van de rest van Nederland niet meer of minder blootgesteld aan extreme piekbuien.⁶⁸

Hagel en onweer

Naast neerslag in de vorm van regen, is de verwachting dat ook hagel en onweer in frequentie en intensiteit zullen toenemen. In de KNMI'14 klimaatscenario's⁶⁹ wordt hierover het volgende gezegd: "In Nederland zullen hagel en onweer in de toekomst heviger worden. Meer waterdamp leidt tot meer condensatiewarmte, waardoor de sterkte van verticale bewegingen in wolken toeneemt en het vaker hagelt en onweert, met grotere hagelstenen. Per graad opwarming neemt het aantal bliksemslagen bij onweer toe met ongeveer 10 tot 15%. De grootste verandering zit in de WL - en WH-scenario's. In 2050 komt extreme hagel in deze scenario's ten minste twee keer zo vaak voor als in de referentieperiode 1981-2010. Deze semi-kwantitatieve schatting is gebaseerd op modelberekeningen en het verband tussen waterdamp en de verticale windsnelheid."

Storm

In de KNMI '14 scenario's wordt geconstateerd dat " ...windsnelheden en het aantal stormen boven land sinds de jaren zestig gestaag afnemen. Dit lijkt voornamelijk vooral een gevolg van de toenemende bebouwing in Nederland. Hoe meer bebouwing hoe ruwer het landoppervlak en hoe meer de wind afgeremd wordt. Langs de kust daalt de gemeten windsnelheid niet sinds de jaren zestig." Volgens het IPCC bestaat er grote onzekerheid over de mate van verandering van stormbanen en -depressies boven Europa. Het IPCC verwacht dat het aantal stormdepressies op de gematigde breedten hooguit enkele procenten zal veranderen. Veranderingen van de gemiddelde windsnelheid door het jaar heen en tijdens stormen in de winter vallen binnen de natuurlijke variabiliteit. Samengevat betekent dit dat de effecten van landgebruiksveranderingen (meer bebouwing) en langjarige (meerdere decades) meteorologische variabiliteit veel groter zijn dan het effect van klimaatverandering. Door toenemende urbanisatie zal de windsnelheid en het aantal stormen in Overijssel daarom waarschijnlijk verder afnemen.

Actuele stand van kennis bij KNMI

In maart 2019 heeft HKV een interview gehouden met een klimatoloog van het KNMI⁷⁰ om te achterhalen of er inmiddels nieuwe inzichten zijn in deze of andere vormen van extreem weer. Uit het interview blijkt het volgende:

- internationaal wordt wel onderzoek gedaan naar hagel, onweer, valwinden en windhozen, maar KNMI is hierbij niet aangesloten. Op basis van de huidige kennis is er nog geen uitsluitel over de mate waarin deze gebeurtenissen in frequentie en intensiteit toenemen;
- er wordt momenteel onderzoek gedaan naar de organisatiegraad van buien onder warmere condities. Hoewel het onderzoek nog in de kinderschoenen staat, zijn er aanwijzingen dat de organisatiegraad toeneemt bij opwarming van de atmosfeer, waardoor buien in omvang toe kunnen nemen. Maar er is ook een aantal dempende effecten, waardoor het netto effect nog onzeker is;
- er kunnen geen (kwantitatieve) uitspraken worden gedaan over de kans op extreme convectieve buien in Overijssel ten opzichte van de rest van Nederland (bijvoorbeeld in relatie tot de kustgebieden);
- er is geen aanleiding om te denken dat extreme convectieve buien zich als gevolg van het hitte eiland effect boven stedelijk gebied (of kleine kernen) anders gedragen, dan boven landelijk gebied. N.B.: internationale en ook Nederlandse studies laten zien (o.b.v. modellen en waarnemingen) dat het rond stedelijk gebied wel meer regent.⁷¹

3 Effecten van hitte en droogte

Dit hoofdstuk geeft een overzicht van de effecten van hitte en droogte in landelijk en stedelijk gebied, op basis van de literatuur. We focussen daarbij op de effecten van hitte op (de gezondheid van) mensen en vee, en op de (gezamenlijke) effecten van hitte en droogte op infrastructuur, groen en leefbaarheid. Specifieke inzichten uit de literatuur die voor Overijssel beschikbaar waren, zijn beschreven. In hoofdstuk 4 worden inzichten voor Overijssel aangevuld op basis van enkele analyses en interviews.

3.1 Effecten op mensen

3.1.1 Gevoelstemperatuur en hittestress bij mensen

Hitte kan leiden tot een bepaalde mate van hittestress. Gevoelstemperatuur als maat voor hitte schat de kans op hittestress beter in dan lucht- of oppervlaktetemperatuur (zie hoofdstuk 2). In warme periodes dragen een hogere luchttemperatuur, lagere windsnelheid, hogere luchtvochtigheid en hogere straling bij aan een hogere gevoelstemperatuur. Overdag wordt de gevoelstemperatuur in de stad vooral bepaald door zon en schaduw, samen met windsnelheid. Na zonsondergang speelt de luchttemperatuur een meer prominente rol en wordt het thermisch comfort voor een belangrijk deel bepaald door factoren die een invloed hebben op de luchttemperatuur.⁷² De gevoelstemperatuur kan uitgedrukt worden in verschillende indices⁷³ waaraan verschillende klachten en gezondheidseffecten gekoppeld kunnen worden. Voorbeelden hiervan zijn de Heat Index (HI)⁷⁴ en de Physiological Equivalent Temperature (PET)⁷⁵. Ten behoeve van hittestress kaarten, die in Nederland worden gemaakt als onderdeel van stresstesten, wordt gebruik van de PET schaal aanbevolen.⁷⁶

Tabel 3:
Indices voor
thermisch comfort.

Warmte-effecten voor mensen volgens het temperatuurbereik van de heat-index (HI)		PET Thermal Perception Grade van fysiologische stress	
27-31°C Opletten	Vermoeidheid bij langdurige blootstelling en / of fysieke activiteit	<4°C Very cold	Extreme cold stress
32-40°C Extrem voorzichtigheid	Zonnesteek, spierkrampen en / of hitte-uitputting mogelijk bij langdurige blootstelling en / of fysieke activiteit	4-8°C Cold	Strong cold stress
41-54°C Gevaar	Zonnesteek, spierkrampen en / of hitte uitputting. Zonnesteek bij langdurige blootstelling	8-13 Cool	Moderate cold stress
≥54°C Extrem gevaar	Hitteberoerte of zonnesteek	13-18 °C Slightly cool	Slight cold stress
		18-23 °C Comfortable	No thermal stress
		23-29 °C Slightly warm	Slight heat stress
		29-35 °C Warm	Moderate heat stress
		35-41°C Hot	Strong heat stress
		>41°C Very hot	Extreme heat stress

Kwetsbare groepen

Naarmate hittegolven extremer zijn neemt ook de kwetsbaarheid van mensen toe. Een verhoogde gevoeligheid voor warme omstandigheden ontstaat door een verminderd aanpassingsvermogen van het lichaam. Een goede algehele fitheid beschermt tegen risico's van warme weersomstandigheden door optimalisering van de lichaamsfuncties. Gezonde jonge mensen kunnen zich goed aanpassen aan hitte. Kinderen lijken niet veel kwetsbaarder voor hitte dan volwassenen.⁷⁷

Ouderen hebben meer dan drie dagen nodig om te kunnen acclimatiseren.⁷⁸ Dit kan een gevolg zijn van een veranderde fysiologie ten gevolge van veroudering. Ouderen zijn vaker geneigd tot beperkte vochtinname. Tijdens de hittegolf van 2003 bleek er verhoogde sterfte (11%) in de leeftijdsgroep 40 tot 59 jaar⁷⁹ maar algemeen gaat men uit van verhoogde gevoeligheid bij hogere leeftijden, met name ouder dan 65 jaar.⁸⁰ De grootste sterfte door hitte vindt plaats bij 75-plussers voor mannen en bij 85-plussers voor vrouwen.⁸¹ Ook zeer jonge kinderen (vooral zuigelingen) vormen een risicogroep, met name omdat zij nog niet (goed) kunnen communiceren en verzorgers signalen onvoldoende oppikken. Uitdroging wordt hierbij als belangrijke risicofactor beschouwd.

Andere risicofactoren die toegenomen gevoeligheid voor warmte bepalen zijn overgewicht, chronische aandoeningen, gebruik van medicatie, alcohol en drugs en lichamelijke inspanning. Sommige groepen mensen stellen zichzelf al dan niet bewust of vrijwillig bloot aan warmte door 'thermisch gedrag' (bv., lichamelijke inspanning) en woon/leefomstandigheden (bv., binnenmilieu woningen, dak- en thuislozen).

Gezondheidseffecten

Hittestress kan leiden tot ernstige effecten op de gezondheid, zoals ademhalingsproblemen, beroertes en nierfalen, soms met de dood tot gevolg. Deze ziektebeelden kunnen verklaard worden uit uitdroging, virale en bacteriële infecties, bijkomende effecten van luchtvervuiling (door toename van concentraties ozon en fijn stof bij hogere temperaturen) en medicatie voor bijvoorbeeld astma en COPD (waardoor patiënten moeilijker warmte afvoeren) en psychische aandoeningen. Verder kan slaapverstoring de gezondheid negatief beïnvloeden.

Ziekenhuisbezoeken en sterfte nemen bij hitte beduidend toe.⁸² Van aan weersextremen gerelateerde doodsoorzaken in Europa is meer dan 90% het gevolg van hitte.⁸³ Toenemende sterfte tijdens hitte is dan ook het waarschijnlijk meest besproken maatschappelijke gevolg van hitte. Daarnaast speelt een rol dat sterfte relatief goed wordt geregistreerd⁸⁴, waardoor dit effect relatief duidelijk in beeld komt en gekoppeld kan worden aan hitte. In Nederland blijkt het sterftecijfer het laagst bij een daggemiddelde temperatuur van ongeveer 16.5 °C.⁸⁵ Volgens recente schattingen neemt de extra sterfte (oversterfte) bij iedere graad boven 20°C met ongeveer 8

personen per dag toe.⁸⁶ Bij hittegolven sterven ongeveer 40 mensen per dag extra.⁸⁷ Tijdens de 12-daagse hittegolf in 2010 stierven naar schatting 660 mensen meer dan normaal in die periode.⁸⁸ De onzekerheid is echter groot. In 2018 was er nauwelijks sprake van extra sterfte door hitte, mogelijk doordat implementatie van hitteplannen vruchten afwerpt in combinatie met een griepgolf eerder dat jaar met toegenomen sterfte onder voor hitte kwetsbare mensen. Uitzondering was een iets toegenomen sterfte onder mensen van 80 jaar en ouder.⁸⁹ Verder bleven nachttemperaturen nog lange tijd onder de tropische waarde van 20°C.

Arbeidsproductiviteit

Hitte beïnvloedt zowel fysieke⁹⁰ als mentale prestaties.⁹¹ Dit leidt tot verminderde arbeidsproductiviteit van zowel binnen- als buitenwerkers.⁹² Naast directe effecten van hitte kan de arbeidsproductiviteit ook indirect via slaapverstoring⁹³ negatief worden beïnvloed.

Bij omgevingstemperaturen hoger dan 25 °C daalt de arbeidsproductiviteit gemiddeld met 2% per graad temperatuurstijging.⁹⁴ Verschillen tussen sectoren zijn hierin waarschijnlijk. Mensen die in de buitenlucht werken, zoals in de agrarische sector, worden in hogere mate blootgesteld aan warmte.⁹⁵ Ook effecten van hitte op arbeidsproductiviteit kunnen beter worden gerelateerd aan een gevoelstemperatuur. Hiervoor wordt vaak de zogenoemde Wet Bulb Globe Temperature gebruikt (WBGT), waarin effecten van zonnestraling, luchttemperatuur en -vochtigheid en windsnelheid zijn verwerkt (zie ook hoofdstuk 2) en waaraan ook vaak normen worden gekoppeld.⁹⁶ In België heeft men expliciete arbeidsnormen op basis van WBGT geformuleerd, om te beoordelen of een 8-urige werkdag verantwoord is en of beschermende maatregelen nodig zijn.⁹⁷ In Nederland is in de Arbowet vastgelegd dat de temperatuur op de werkplek de gezondheid van de werknemer niet nadelig mag beïnvloeden, maar er is geen specifieke temperatuur in de wet vastgelegd.⁹⁸ Wel hanteert het ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid indicatieve richtlijnen (dus geen wettelijke grenswaarden):⁹⁹

- In de zomer is de ideale temperatuur tussen de 23 en 26 °C;
- Bij temperaturen boven de 26 °C is er sprake van een extra lichamelijke belasting en behoort men na te denken over maatregelen;
- Voor licht fysiek kantoorwerk geldt een maximum van 28 °C;
- Voor intensief lichamenlijk inspannend werk geldt een maximum van 26 °C; Mits er een duidelijk voelbare luchtstroom is. Zonder voelbare luchtstroom mag het niet warmer zijn dan 25 °C;
- Voor zeer lichamenlijk inspannend werk geldt een maximum van 25 °C; Mits er een voelbare luchtstroom is. Anders mag het niet warmer dan 23 °C zijn.

3.1.3

Beleving van hitte door mensen en aanpassingsgedrag

De beleving van hittestress en daarmee het aanpassingsgedrag wordt vooral bepaald door hoe mensen hitte ervaren en de mogelijkheden om daar wat aan te doen.

“Thermisch comfort” beschrijft de combinatie van gevoelstemperatuur en dergelijke additionele factoren. De werkelijk optredende (meetbare) warmte speelt daarin dus wel een rol, maar is niet (alles)bepalend. Zo laat onderzoek zien dat:

- temperatuurbeleving slecht samenhangt met de gemeten gevoelstemperatuur;¹⁰⁰
- temperatuurbeleving kan verschillen per land, stad of seizoen¹⁰¹ en tussen verschillende groepen zoals kinderen en volwassenen;¹⁰²
- het verbeteren van de algehele omgevingskwaliteit de thermische perceptie en beleving van open ruimtes beïnvloeden;¹⁰³
- de aanwezigheid van groen in het bijzonder bijdraagt aan een lagere temperatuurbeleving tijdens hitte;^{104,105}
- mensen zich comfortabel kunnen voelen bij een heersende temperatuur maar toch graag een andere temperatuur wensen;¹⁰⁶
- de temperatuur die men wenst gebaseerd kan zijn op een specifieke omstandigheid, zoals een comfortabele temperatuur in de slaapkamer.¹⁰⁷

De verklaring van dit soort observaties kan gezocht worden in de psychologische aanpassing aan hitte en een zekere ‘adaptieve capaciteit’ waarover mensen moeten beschikken om zich aan te kunnen passen aan de omstandigheden. Dit hangt samen met eerdere ervaringen, risicopercepties en gevoelens, gepercipieerde controle, verwachtingen over handelingsopties, en positieve stimulatie vanuit de sociale omgeving.^{108, 109} In onderzoek van de GGD West-Brabant bleek 20 procent van de ouderen de vochtinname niet te verhogen bij warm weer met als redenen: een lage inschatting van de kans op uitdroging, het gevoel voldoende te drinken, afkeer om vaker naar de wc te moeten, geen dorst hebben en vergeten te drinken.¹¹⁰

Er kan onderscheid worden gemaakt in direct aanpassingsgedrag, zoals hierboven, en meer lange termijn gedrag zoals aanpassingen aan de woning en tuin.¹¹¹ Klimaatadaptie is voor veel mensen nog een abstract begrip dat zich vooral in het domein van de overheid afspeelt. Gemeente kunnen dit doorbreken door mensen actiever te betrekken, hen zelf initiatief te laten nemen en daarbij te faciliteren.¹¹² Operatie Steenbreek is een landelijk initiatief waarvan gemeenten lid kunnen worden. Dit initiatief richtte zich in eerste instantie op het vergroenen van privétuinen en bedrijventerreinen maar richt zich inmiddels ook op de openbare ruimte.¹¹³

3.1.4

Partijen die een rol hebben bij aanhoudende hitte

Het Hitteplan is een communicatieplan waarmee voorzorgsmaatregelen onder de aandacht worden gebracht bij risicogroepen en hun directe omgeving, met name zorgverleners en vrijwilligers. Het RIVM ondersteunt de GGD bij warm weer en kan in overleg met het KNMI het Nationale Hitteplan activeren.¹¹⁴ De beslissing wordt genomen door het RIVM na overleg met het KNMI. De kans op aanhoudend warm weer met maximumtemperaturen boven de 27 °C, de verwachte nachttemperatuur en luchtvochtigheid spelen mee in de beslissing. Het Hitteplan kan voor heel Nederland, maar ook voor delen van het land geactiveerd worden.

De GGD voert als onderdeel van haar reguliere takenpakket inspecties uit bij kinderdagverblijven. Op de website van het RIVM is informatie beschikbaar over mogelijke klachten bij kinderen door hitte en tips om warmte-overlast te beperken.¹¹⁵ Zorginstellingen zijn private partijen. Zij zijn verplicht om altijd goede zorg te leveren. Het treffen van adequate maatregelen bij hitte is hier onderdeel van. De Inspectie voor de Gezondheidszorg (IGZ) ziet hierop toe.¹¹⁶

3.2 Effecten in het landelijk gebied

Bij de effecten in het landelijk gebied ligt de focus met name op de veeteelt. Effecten op de landbouw worden daarom alleen in algemene zin besproken.

3.2.1 Effecten op vee

Thermisch comfort bij vee

Bij vee verlaagt hittestress de metabole snelheden waardoor ongeacht de (verminderde) voerinname negatieve effecten kunnen ontstaan op de gezondheid van de dieren en hun groei, productie en reproductie.¹¹⁷ Bij koeien kan daardoor de melkproductie verminderen. Kippen leggen mogelijk minder en kleinere eieren met een slechtere kwaliteit van de schaal. Voor landbouwhuisdieren is het stalklimaat van belang. Verder zijn agrarische gebieden vaak open, met relatief weinig schaduw waar de dieren verkoeling zouden kunnen zoeken.¹¹⁸

De omstandigheden waarbij dieren hittestress ervaren verschilt per soort. Onderstaande tabel geeft een overzicht van temperaturen waarbij hittestress kan ontstaan. Gegevens zijn overgenomen van GDdiergezondheid¹¹⁹ en LevendeHave¹²⁰, zie onderstaande tabel.

Tabel 4:
Hittestress bij vee.
Bron: websites
GDdiergezondheid
en LevendeHave.

Soort	Toelichting
Koeien	Hittestress vanaf 21 °C. Hoge luchtvochtigheid (60-80%) kan hittestress bij warme weersomstandigheden verergeren. Minder eetlust, maar meer energie nodig. Bij teveel krachtvoer risico op pensverzuring en een teruglopende melkgift. Maatregelen zijn o.a. actief koelen boven 26 °C, meer schoon water geven, extra aandacht voor box hygiëne, schaduwplekken bieden, siëstabeweiding.
Schape en geiten	Hittestress vanaf 23 °C. Hoge luchtvochtigheid kan hittestress bij warme weersomstandigheden verergeren. Bij warm weer en onvoldoende schaduw gaat ademfrequentie omhoog. Drinken meer en hebben lagere ruwvoeropname, resulterend in verminderde warmteproductie. Niet teveel krachtvoer ivm pensverzuring. Schape uiterlijk in mei scheren. Ook beneden 23 °C kan hittestress optreden bij melkgevende en drachtige oaien door de eigen warmteproductie. Voor geiten kan het ook in de stal te warm worden, zodat ventilatoren nodig zijn.
Paarden	Hittestress vanaf 25 °C. Hoge luchtvochtigheid kan hittestress bij warme

Soort	Toelichting
	<p>weersomstandigheden verergeren.</p> <p>Door arbeid, weinig wind en hoge luchtvochtigheid kan de lichaamstemperatuur hoog oplopen. Paarden zweten veel, daarom drinkwater en schaduw belangrijk. Staat een paard binnen, dan dient het verschil tussen de binnen- en buitentemperatuur niet meer dan 5 graden te zijn. Ook is het van belang om zo veel mogelijk te ventileren.</p>
Varkens	<p>Hittestress vanaf 26 °C. Hoge luchtvochtigheid kan hittestress bij warme weersomstandigheden verergeren.</p> <p>Kraamzeugen en zware vleesvarkens zijn risicogroepen. Goede stalisolatie van belang; aanvoer van gekoelde lucht is gunstig voor staltemperatuur. Hoge temperaturen van het biggennest zijn voor kraamstalzeugen ongunstig. Nesten zo veel mogelijk af dichten, zodat de biggen een warm nest hebben en de zeug een koelere omgeving heeft. Water is erg belangrijk voor het afkoelen van varkens. Kraamzeugen hebben baat bij koel water (10 tot 15 °C)</p>
Kippen	<p>Hittestress vanaf 28 °C. Hoge luchtvochtigheid kan hittestress bij warme weersomstandigheden verergeren.</p> <p>Kippen hebben geen zweetklieren en raken hun lichaamswarmte kwijt via uitgeademde lucht. In warm en vochtige omgeving kost dit meer tijd en energie. Hittestress kan verminderde groei of productie en sterfte veroorzaken. Tijdens warme dagen extra vitamine C, voldoende luchtcirculatie richting de kippen, vers drinkwater.</p>

De economische effecten van hittestress kunnen aanzienlijk zijn. Bij koeien loopt de melkproductie terug bij oplopende temperatuur en luchtvochtigheid. In een recent afstudeeronderzoek¹²¹ zijn de kosten van drie weken per jaar hitte geraamd op 270 euro per koe. Bij 100 koeien bedraagt de schade dan 27.000 euro als gevolg van verminderde melkproductie.

Veetransport

Sinds 2016 bestaat het Nationaal plan voor veetransport bij extreme temperaturen dat jaarlijks wordt geëvalueerd.¹²² De NVWA handhaaft conform de wet- en regelgeving, waaronder de Transportverordening (EU-richtlijn). Bij een verwachte temperatuur van 27 °C in de Bilt treden extra toezichtmaatregelen in werking, en bij 35 °C wordt er geen vee meer getransporteerd. De NVWA voert controles uit op de weg, op certificering voor de export (i.v.m. noodplannen bij lang transport) en bij slachthuizen. In onderliggende sectorprotocollen zijn door veehandelaren/transporteurs en slachthuizen per diercategorie maatregelen vastgelegd. De sectorprotocollen zijn geen wet- en regelgeving en worden daarom niet door de NVWA gecontroleerd.

3.2.2

Effecten van droogte in de landbouw op hitte

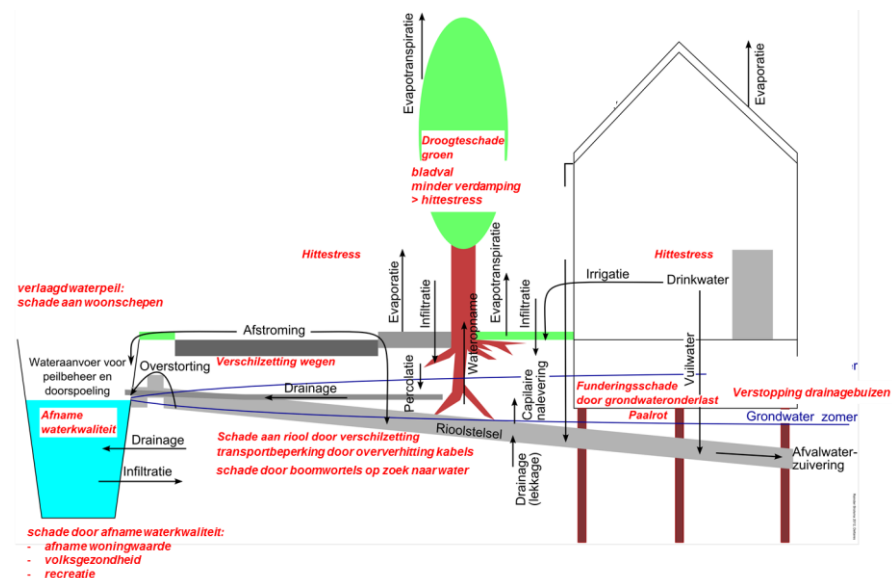
Droogte in de landbouw valt buiten de scope van dit onderzoek. Echter, droogte in de landbouw kan bijdragen aan hitte. Immers, door verdroging van gewassen neemt de verdamping af.

Hierdoor stijgt de oppervlaktetemperatuur van gewassen en is er minder verkoeling. In de landbouw kan grote schade aan het gewas optreden wanneer de droogte op een kritiek moment in de groeifase toeslaat. Als er niet genoeg water kan worden aangevoerd voor irrigatie van gewassen in de landbouw, daalt de gewasopbrengst. Een droge periode van twee tot drie weken kan al een effect hebben op de opbrengst van bijna elk gewas dat in Nederland wordt geteeld.¹²³

3.3 Effecten in het stedelijk gebied

Figuur 9 geeft een schematische weergave van het stedelijke watersysteem op wijk- tot straatschaal en de mogelijke gevolgen van droogte in combinatie met hitte in steden.¹²⁴ De figuur is in principe van toepassing laaggelegen gebieden waar het waterpeil wordt beheerst en waar woningen op palen zijn gefundeerd (laag Nederland), maar de andere principes zijn ook in hoog Nederland van toepassing.

Figuur 9: Schematische weergave van het stedelijk watersysteem op straatniveau. Bron: Brolsma et al., 2012.



Hieronder bespreken we de belangrijkste effecten van droogte in stedelijke gebied in meer detail.

3.3.1 Effecten op gebouwen, riolering en wegen

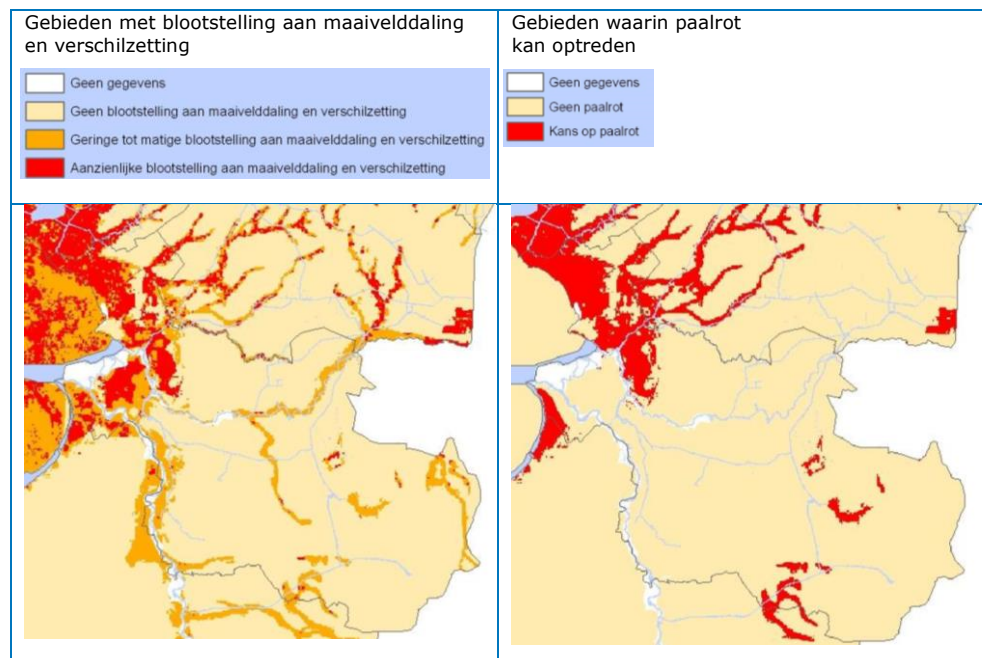
De omvang van de droogteproblematiek in stedelijk gebied hangt sterk af van de lokale omstandigheden. Met name oude(re) wijken zijn vaak minder toekomstbestendig. Op wijkniveau is de bouwperiode in combinatie met de ondergrond een belangrijke indicator voor de kwetsbaarheid van gebouwen en infrastructuur. In de periode 1890-1970 is bij de aanleg van wijken vaak geen rekening gehouden met de fysische geografie van het gebied.¹²⁵ Naarmate in klei- en veengebieden meer van de oorspronkelijke watergangen zijn gedempt, is het risico op bodemdaling groter. Bodemdaling als gevolg van structureel lage grondwaterstanden is een gradueel proces. Wanneer

houten funderingen droog komen te staan kan schimmelvorming optreden (paalrot). Aanwezigheid van lekke, drainerende riolen spelen hierin waarschijnlijk een belangrijke rol.¹²⁶

Zetting wordt vooral veroorzaakt door de ontwatering en de daarop volgende daling van de grondwaterstand en inklinking van de bodem.¹²⁷ In (extreem) droge perioden dalen grondwaterstanden tijdelijk extra, en kan door verschilzetting en krimp ook schade optreden aan gebouwen en infrastructuur die op staal zijn gefundeerd en bebouwing met gemengde fundering (op staal en op palen).¹²⁸ Verschilzettingen kunnen ook leiden tot schades aan rioleringen, wegverhardingen en andere infrastructuur.¹²⁹ Wanneer waterstanden in grachten dalen, kunnen kades instabiel worden en er kan schade aan woonboten optreden. Daarnaast kunnen lengtescheuren in het wegdek voorkomen en bermen verzakken.¹³⁰

Figuur 10 bevat een uitsnede van Overijssel, overgenomen uit een studie van Deltares. De figuur laat zien dat de blootstelling aan maaivelddaling, verschilzetting en de kans op paalrot in de laaggelegen gebieden van de IJssel-Vechtdelta het grootst is. Maar ook in de beekdalen in hoger gelegen gebieden is, zijn lokaal klei en veenpakketten aanwezig waardoor schade kan optreden. De Klimaateffectatlas bevat eveneens een kaart waarop de kans op paalrot is afgebeeld. Het aantal locaties lijkt daarin beperkter. In gemeente Twenterand (met name in Vriezenveen), in de kernen Hasselt en Zwartsluis en in mindere mate in gemeente Hof van Twente (Goor, Diepenheim) zijn locaties met een verhoogd risico op paalrot.

*Figuur 10:
Gebieden in
Overijssel die
gevoelig zijn voor
maaivelddaling,
verschilzetting en
paalrot.
Overgenomen uit
Hoogvliet et al.
2012.*



Effecten op groen

Grondwaterstanden en bodemvochtgehaltes zijn van belang voor het stedelijk groen, zodat de verdamping op peil blijft en het stedelijke hitte eiland wordt beperkt. Vegetatie onttrekt water met wortels uit de onverzadigde zone. In droge periodes wordt het bodemvocht via capillaire nalevering uit het grondwater aangevuld. Op zandgronden is de capillaire nalevering beperkt, waardoor eerder schade aan groen optreedt, in eerste instantie gras en bij langdurige droogte ook struiken en bomen. Buiten de stad, in het landelijk gebied speelt dit ook als gewassen verdroppen en niet mag worden berekend. Volgens een mondiaal onderzoek¹³¹ met betrekking tot wortelingsdiepte is de maximale wortelingsdiepte als volgt:

- 1,8 tot 4,4 m voor gematigde bladverliezende bomen;
- 2,0 tot 7,5 m voor gematigde coniferen;
- 2,0 tot 6,3 m voor gematigde graslandvegetatie (NB het gaat hier om maximale bewortelingsdiepte van een ecosysteem waarin niet alleen gras voorkomt).

De beplanting in Nederlandse steden is aangepast op de klimatologische omstandigheden die gekenmerkt worden door afwisselend warme en droge periodes en vochtige en droge periodes.¹³² Planten passen zich in eerste instantie aan door blad te verliezen of door om te krullen. Daardoor verdampen de bladeren minder en wordt blootstelling aan invallend zonlicht beperkt. Doordat de verdamping vrijwel wegvalt kan alle energie worden gebruikt voor verdere opwarming van de lucht: het wordt nog heter. Over het algemeen zijn planten bestand tegen droge perioden en herstellen ze snel wanneer er weer water beschikbaar is. Jonge beplanting (tot ongeveer 3 jaar) is relatief kwetsbaar, maar ook oudere bomen en struiken kunnen uitval geven. Met name bomen en struiken die zich voeden vanuit het grondwater kunnen uitvallen, wanneer ze tijdens een droge periode de grondwaterdaling niet kunnen volgen met wortelgroei. Bepaalde soorten kunnen juist ook profiteren van de hogere temperaturen.

Irrigatie van publieke groene ruimte die wordt onderhouden door de gemeente vindt plaats in gebieden waar droogte invloed heeft. Irrigatie is echter beperkt vanwege de hoge kosten; irrigatie vindt plaats omdat anders kapitaalvernietiging plaatsvindt doordat bomen doodgaan.

Effecten op de biodiversiteit

Zoals beschreven kan vegetatie zich goed herstellen maar bij langdurige droogte treedt er onomkeerbare schade op aan habitats. De schade aan habitats hangt vooral samen met de bodemgesteldheid en onomkeerbare processen in de bodem, zoals inklinking van veen. Ook het inlaten van systeemvreemd water met bijvoorbeeld zout of nutriënten kan leiden tot onherstelbare natuurschade. Door deze processen kan de vestigingsplaats van flora of fauna (onherstelbare) schade oplopen.¹³³ Als gevolg van een veranderend (warmer) klimaat kunnen ook organismen zoals teken (overbrenger van de verwekker van de Ziekte van Lyme), muggen

(overbrenger van virussen, afhankelijk van muggensoort) en blauwalgen beter gedijen, met toenemende kans op ziekten en plagen. Dit geldt voor zowel stad als platteland. Warmte is hierbij niet de enige factor. Zo speelt de aanvoer van nutriënten een belangrijke rol bij blauwalgengroei.¹³⁴

3.3.3 Effecten op de leefbaarheid

Hitte en droogte beïnvloeden de leefbaarheid van de omgeving, zoals het prettig en aangenaam kunnen wonen, werken en recreëren. Effecten spelen zich af op verschillende tijdschalen. Hitte veroorzaakt met name snel optredende effecten, zoals het effect van hitte op het thermisch comfort buiten op straat en in gebouwen en effecten op arbeidsproductiviteit (zie paragraaf 3.1.2). Droogte heeft meer graduele effecten, zoals de effecten van droogte op gebouwen, infrastructuur, groen en biodiversiteit (paragraaf 3.3.1 en 3.3.2). Maar effecten van hitte en droogte staan niet los van elkaar. Bijvoorbeeld, bodemvochtdroogte kan zorgen voor een afname van de verdamping door groen, waardoor het verkoelend effect afneemt.

Er wordt verwacht dat bij toenemende hitte de druk op de buitenruimte toeneemt doordat mensen verkoeling zoeken. Wanneer uitdroging van groen optreedt, heeft dat ook psychologische gevolgen doordat mensen hun omgeving als warmer ervaren.¹³⁵ Een beperkte aanwezigheid van groen in centra en winkelgebieden heeft gevolgen voor de middenstand doordat winkelstraten als warm worden ervaren en minder klanten trekken.¹³⁶ Verkoeling wordt ook gezocht in de omgeving van oppervlaktewater. Een goede oppervlaktewaterkwaliteit is van belang voor recreatie, maar ook voor de ecologie en algehele volksgezondheid. De hoeveelheid water die door de rivieren stroomt neemt af terwijl de industrie in gelijke mate blijft lozen.¹³⁷ Droogte, hoge temperaturen en een gebrek aan mogelijkheden om door te spoelen vergroot de kans op botulisme, (blauw)algenbloei en stankoverlast. Ook de zwemwaterkwaliteit gaat achteruit gaat door algengroei in oppervlaktewater.

Aanhoudende hitte kan een toenemende energievraag tot gevolg hebben door de toegenomen behoefte aan koeling. Tegelijkertijd neemt de kans op een zogenoemde blackout toe,¹³⁸ bijvoorbeeld door gebrek aan koelwater.¹³⁹ Hitte kan eveneens invloed hebben op de drinkwaterkwaliteit.¹⁴⁰ Door toegenomen contaminaties in het oppervlaktewater zal het minder bruikbaar zijn. De productie van drinkwater uit oppervlaktewater kan in gevaar worden gebracht. Als de waterleidingen niet diep genoeg onder de grond liggen, warmen de leidingen op wat kan leiden tot de groei van micro-organismen en ziekteverwekkers in het drinkwater (zoals *Legionella*).¹⁴¹

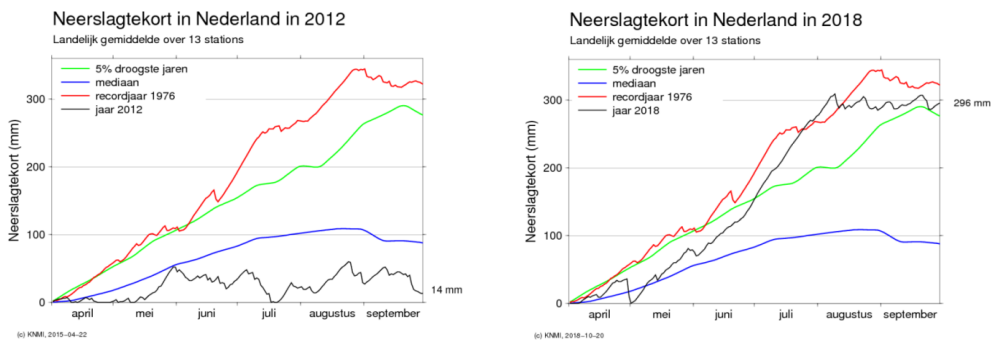
4 Hitte en droogte in Overijssel

In dit hoofdstuk gaan we in op de vraag in hoeverre hitte en droogte in Overijssel een rol spelen, op basis van analyses, satellietbeelden en interviews met zeven instanties en bedrijven.

4.1 Neerslagtekort in de zomer van 2018

2018 was voor Nederlandse begrippen een extreem droog jaar. Het landelijk gemiddelde neerslagtekort bedroeg 296 mm, en behoorde daarmee tot de 5% droogste jaren in Nederland.

Figuur 11: Neerslag-tekort (zwarte lijn), gemiddeld over Nederland, voor een relatief nat jaar (2012, links) en de extreem droge zomer 2018. Bron: KNMI.



Het langjarig gemiddelde neerslagtekort (mm) in een gebied kenmerkt de klimatologische omstandigheden, en is daarmee van belang voor de inrichting en gebruik van een gebied. Wanneer het neerslagtekort in een jaar sterk afwijkt van het gemiddelde, kunnen problemen ontstaan in beheer en gebruik. In Nederland wordt het neerslagtekort gebruikt om een droogte tijdig te signaleren, zodat maatregelen getroffen kunnen worden en schade wordt voorkomen. Dit is onder meer van belang in de landbouw, bij het beheer van (veen)dijken en natuurgebieden, en ter voorkoming van heide/bosbranden.

4.1.1 Neerslagtekort volgens SPEI

De SPEI (Standardized Precipitation and Evapotranspiration Index) wordt wereldwijd gebruikt om droogte te monitoren.¹⁴² Wij passen de SPEI hier toe om de droogte in de zomer van 2018 in kaart te brengen. Dat wil zeggen, we presenteren ruimtelijk temporele beelden van de droogte en laten daarmee zien hoe de droogte zich in Overijssel ontwikkelde en hoe extreem de droogte was. De SPEI is de afwijking van het neerslagtekort over een bepaalde periode ten opzichte van het langjarig neerslagtekort in diezelfde periode. Bijvoorbeeld, het neerslagtekort over de periode 1 april tot 1 augustus 2018

ten opzichte van het langjarig neerslagtekort over diezelfde periode. Gestandaardiseerd betekent dat het een statistische afwijking van het langjarig gemiddelde betreft, namelijk het aantal standaardafwijkingen dat een bepaalde periode afwijkt van het langjarig gemiddelde. Deze index geeft daarmee inzicht in hoe extreem of uitzonderlijk een neerslagtekort in een bepaalde periode is. Voor de SPEI geldt dat deze sterker negatief wordt bij grotere droogte. Andersom wordt de SPEI positief als het natter is dan gemiddeld.

Berekening SPEI

Het KNMI heeft ongeveer 36 weerstations in Nederland die zowel de hoeveelheid neerslag als de gewasverdamping meten. De gegevens worden door de KNMI gevalideerd en zijn openbaar beschikbaar. Steeds meer weerstations hebben voldoende data (aantal jaren met metingen) om de SPEI waarde te kunnen berekenen. Een lange meerjarige meetreeks van 20 à 40 jaar is nodig om het langjarig gemiddelde te kunnen bepalen. Bij een kortere duur kan de SPEI theoretisch wel bepaald worden maar neemt de betrouwbaarheid af. De referentie gewasverdamping die door het KNMI wordt berekend en geeft in feite de verdamping van een gezond en goed van water voorzien grasveld. Deze verdamping wordt bepaald volgens de formule van Makkink. Voor struiken en bomen wijkt de gewasverdamping af en is gemiddeld lager dan de verdamping door gras. Deze effecten kunnen eventueel worden verdisconteerd via een 'gewasfactor'.

De SPEI is een gestandaardiseerde weergave van het cumulatieve neerslagtekort. Voor elke dag in het jaar wordt het gemiddelde en de standaardafwijking bepaald uit de gehele database (bijvoorbeeld: uit de 19 beschikbare jaren wordt het gemiddelde neerslagtekort, en de standaardafwijking daarvan, op 27 juli bepaald uit de 19 waarden voor 27 juli).

$$SPEI_i = \frac{(P_{def,i} - \overline{P_{def,j}})}{\sigma_{P_{def,j}}}$$

Waarbij:

- i de een bepaalde dag is (bv. 27 juli 2018)
- j de dag in het jaar van die dag is (27 juli)
- $P_{def,i}$ het neerslagtekort op dag i
- $\overline{P_{def,j}}$ het gemiddelde neerslagtekort over alle dagen in het jaar van i (dus alle 27 juli's)
- $\sigma_{P_{def,j}}$ de standaardafwijking van het neerslagtekort over alle dagen in het jaar van i (dus alle 27 juli's).

Het standaardiseren geeft vervolgens snel inzicht in de extremiteit van de waarde van het neerslagtekort op een bepaalde dag op een bepaalde locatie: de waarde geeft het aantal standaardafwijkingen dat de actuele waarde verwijderd is van de verwachtingswaarde (het gemiddelde).

Ruimtelijke variëteit in SPEI in kaarten

HKV lijn in water heeft een database met landelijke dekking samengesteld met behulp van het Meteobase archief (www.meteobase.nl). Dit archief bevat uurgegevens van de neerslagradar, voor de periode 2000-2018, met een resolutie van $1 \times 1 \text{ km}^2$, gecorrigeerd met metingen van neerslagstations van het KNMI (uur- en daggegevens). Tevens zijn dagelijkse waarden van de Makkink referentie-gewasverdamping beschikbaar voor dezelfde periode. Het resultaat zijn de 'standaard' neerslagtekort-figuren van het KNMI, maar dan op kaarten met pixels van $1 \times 1 \text{ km}^2$.

Doordat we de radarneerslag gebruiken krijgen we een goed inzicht in de ruimtelijke variabiliteit. Bij het gebruik van alleen neerslagstations zijn de reeksen weliswaar langer (zodat de SPEI waarden betrouwbaarder zijn) maar veel minder ruimtelijke gedifferentieerd.

4.1.2

Het neerslagtekort in kaarten

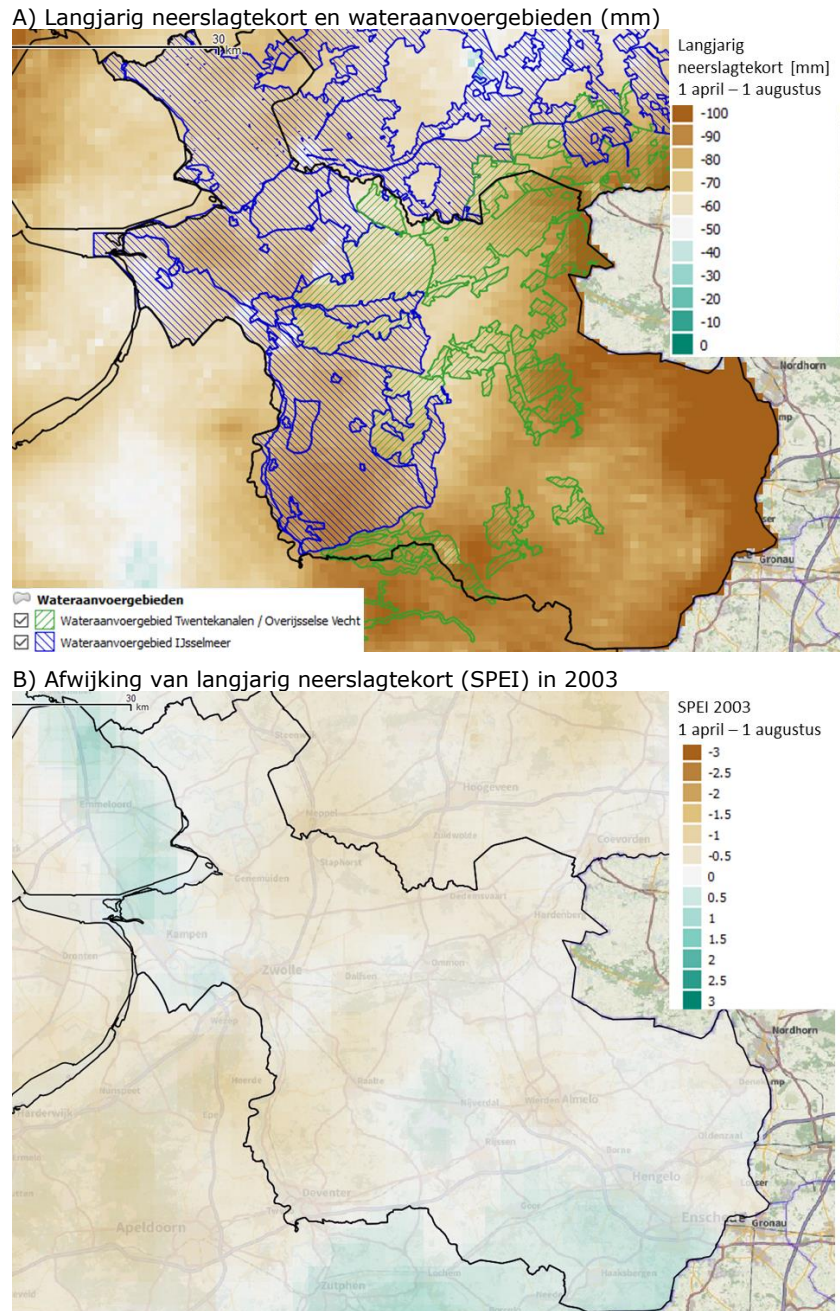
Om de droogte in de zomer van 2018 beter te kunnen duiden zijn kaarten gemaakt van het langjarig neerslagtekort en de afwijking van het neerslagtekort (SPEI) volgens de hiervoor beschreven methode. De SPEI kan als volgt geïnterpreteerd worden:

- $SPEI = 0$, neerslagtekort komt exact overeen met langjarig gemiddelde;
- $SPEI \leq -1$, neerslagtekort hoort tot 15,87% van de droogste jaren;
- $SPEI \leq -2$, neerslagtekort hoort tot 2,28% van de droogste jaren;
- $SPEI \leq -3$, neerslagtekort hoort tot 0,13% van de droogste jaren.

Figuur 12 laat zien dat er ruimtelijke verschillen waren in het neerslagtekort in Overijssel. Op de grens met Gelderland en langs de grens met Duitsland was het neerslagtekort (cumulatieve neerslag minus referentieverdamping) over de afgelopen 20 jaar (paneel A) gemiddeld genomen groter dan in andere delen van de provincie. Deze waarneming staat los van de mogelijkheden om water aan te voeren (wateraanvoer is geen onderdeel van het neerslagtekort). Omdat wateraanvoer in het oostelijk deel van de provincie niet of nauwelijks mogelijk is, is het risico op droogteschade aan gewassen en groen hier groter.

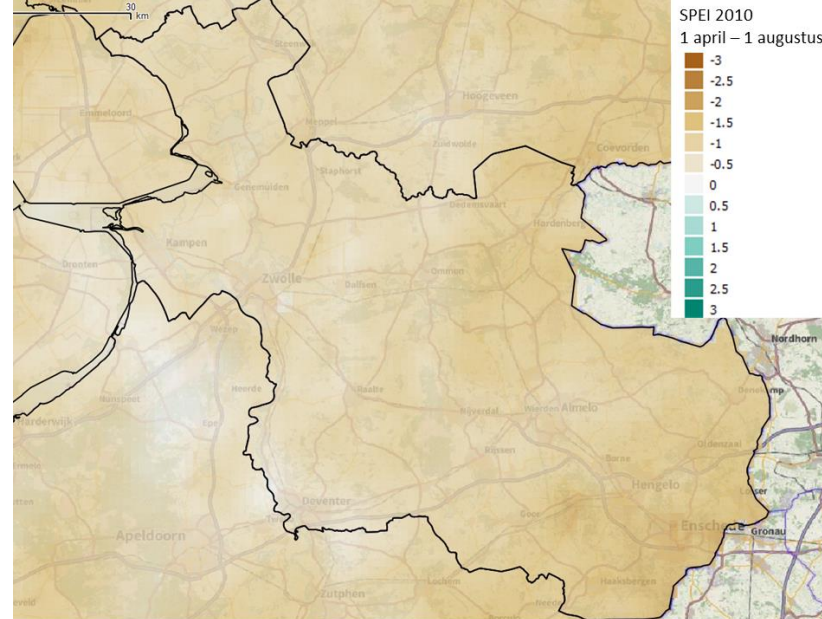
Ter illustratie is in Figuur 12 eveneens de SPEI opgenomen voor een drietal jaren. Uit de SPEI blijkt dat het neerslagtekort in 2003 (paneel B) nauwelijks afweek van het langjarig gemiddelde (een gemiddeld jaar), in 2010 (paneel C) ongeveer één standaardafwijking (een relatief droog jaar) en in 2018 (paneel D) twee standaardafwijkingen (een extreem droog jaar).

*Figuur 12:
Langjarig
neerslagtekort in
Overijssel en
afwijkingen (SPEI) in
2003, 2010 en
2018.*

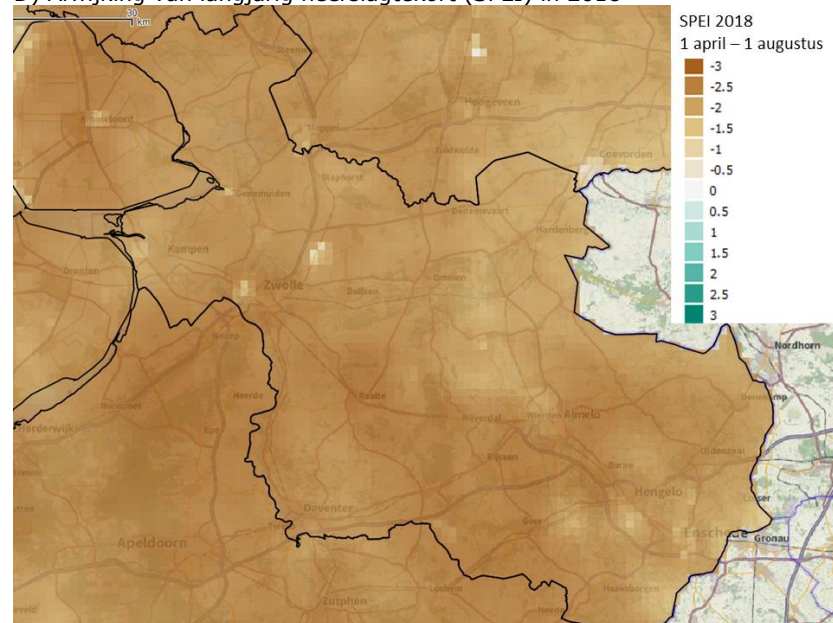


Vervolg van Figuur 12.

C) Afwijking van langjarig neerslagtekort (SPEI) in 2010

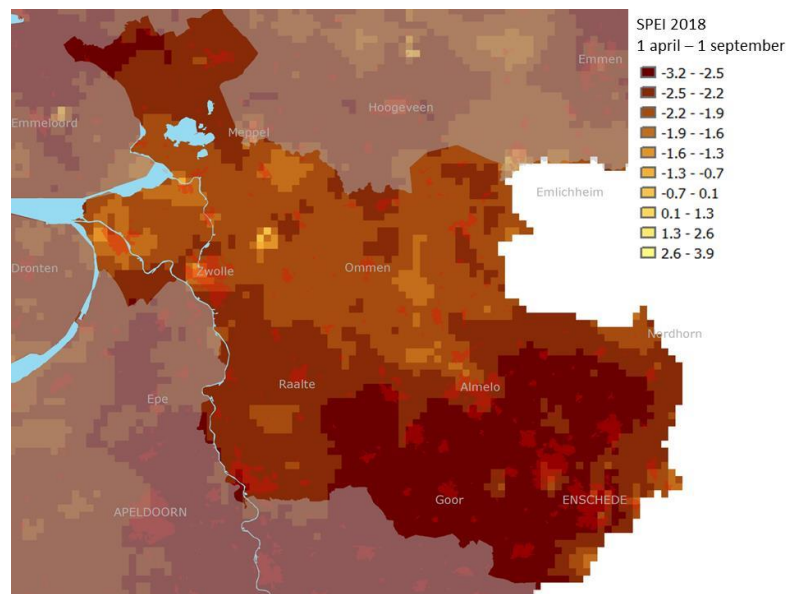
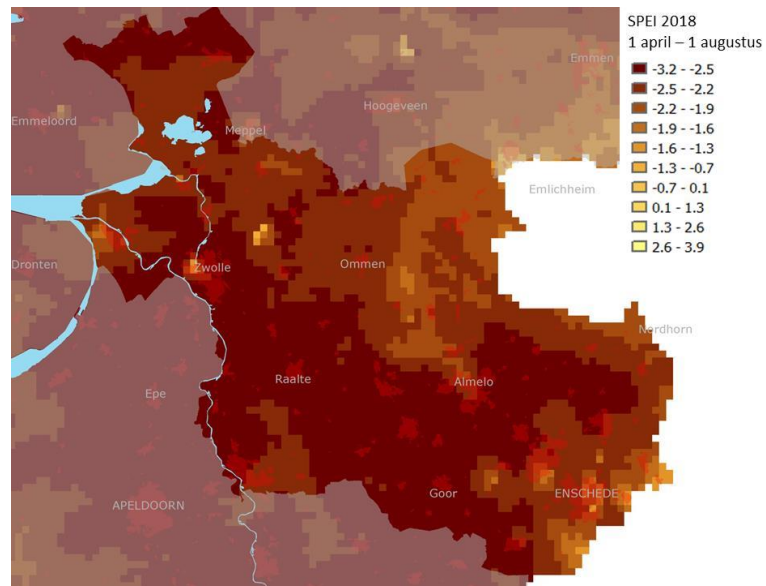
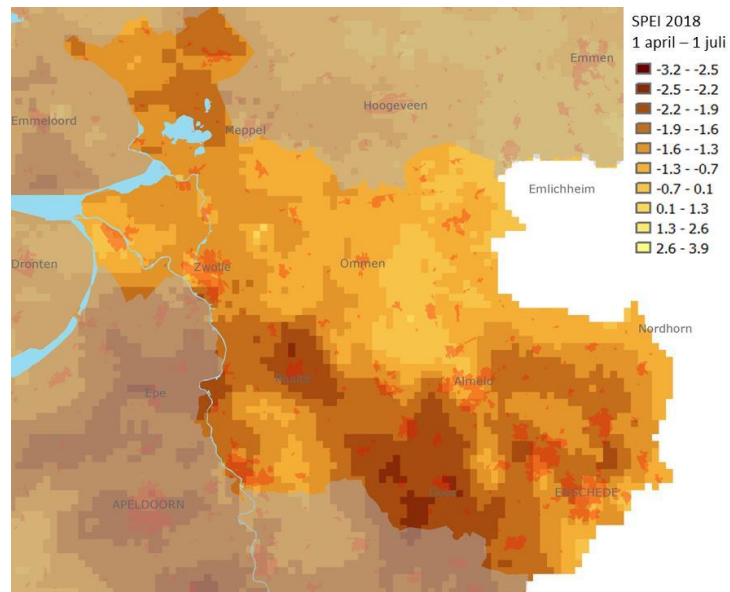


D) Afwijking van langjarig neerslagtekort (SPEI) in 2018



Om de ontwikkeling van de droogte in 2018 in beeld te brengen toont Figuur 13 SPEI kaarten van 1 april tot respectievelijk 1 juli, 1 augustus en 1 september. Hieruit wordt duidelijk dat het neerslagtekort op 1 juli in het zuidelijk en oostelijk deel van Overijssel al uitzonderlijk groot was (1,5 tot 2 standaarddeviaties onder het langjarig neerslagtekort). Op 1 augustus was het neerslagtekort in de hele provincie verder toegenomen, op de meeste plaatsen 2 tot 3 standaarddeviaties onder het langjarig neerslagtekort. In de weken daarna liep het neerslagtekort iets terug, met name in het noordelijk deel van Overijssel, maar in het oosten en zuiden bleef het extreem droog.

*Figuur 13:
Ontwikkeling
neerslagtekort
zomer 2018, aan de
hand van SPEI
kaarten.*

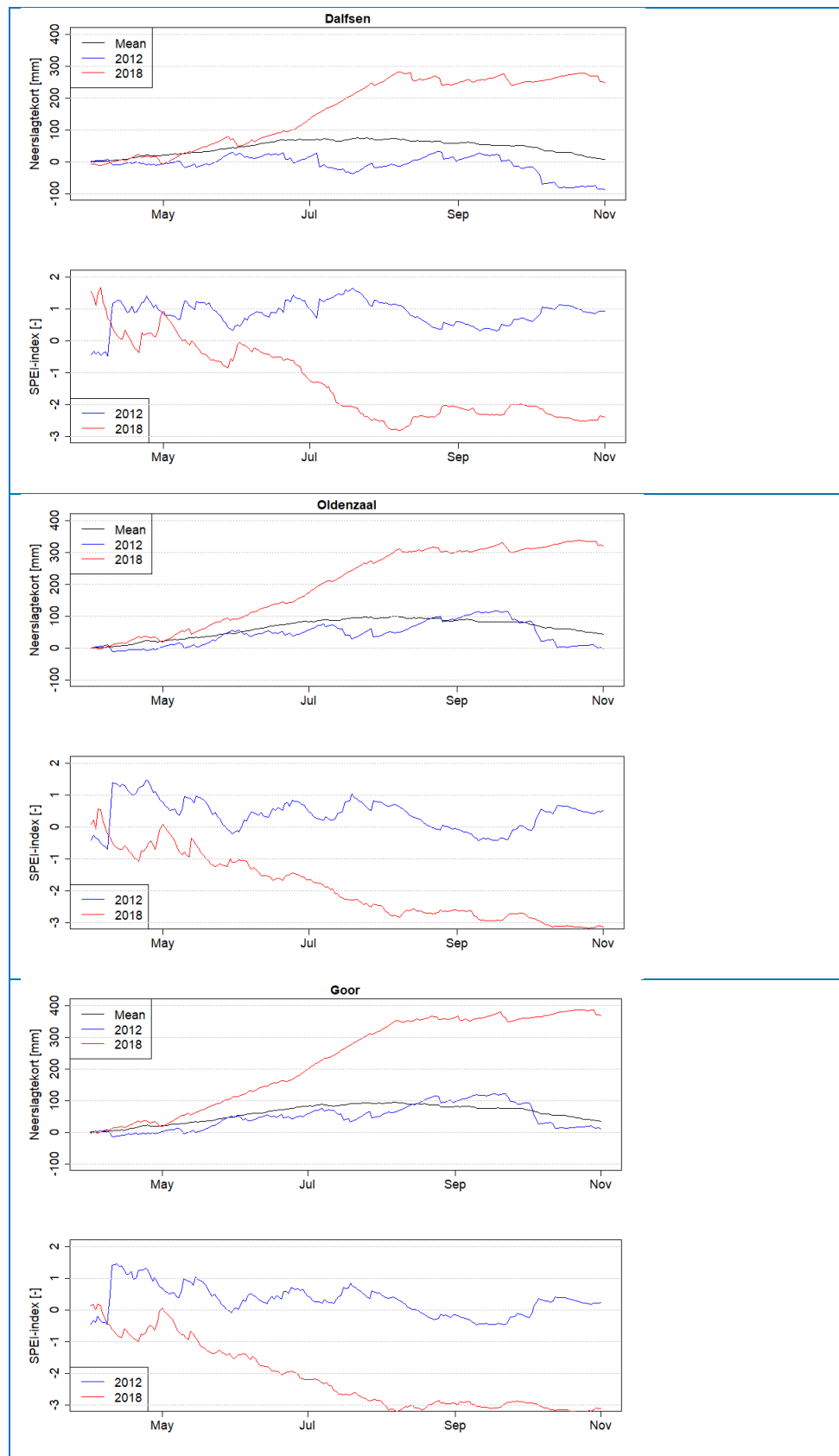


4.1.3

Een drietal kernen nader beschouwd

Voor een drietal kernen is de ontwikkeling van het neerslagtekort (mm) en de uitzonderlijkheid daarvan (SPEI) in grafieken gevat: Dalfsen, Oldenzaal en Goor (Figuur 14). In ieder van deze plaatsen is hiervoor een pixel van 1x1 km² in het centrum genomen. Hieruit blijkt dat het neerslagtekort in Dalfsen in augustus opliep tot rond de 250-300 mm, en op dat niveau bleef tot in november. In Oldenzaal liep het tekort in augustus op tot 300 mm, waarna het boven de 300 mm stabiliseerde en doorliep tot in november. In Goor was de situatie het extreemst. Het neerslagtekort liep in augustus op tot 350 mm en steeg daarna door tot bijna 400 mm in november. De SPEI laat zien dat het neerslagtekort in Goor meer dan 3 standaardafwijkingen beneden het gemiddelde lag en statistisch tot de 0,1% droogste jaren behoort.

*Figuur 14:
Neerslagtekort en
SPEI in Dalfsen,
Oldenzaal en Goor
van april tot
november 2018.*



4.2 Oppervlaktetemperatuur en groenindex zomer 2018

4.2.1 Gebruik van satellietbeelden

Om een ruimtelijk gedifferentieerd beeld te krijgen van warme plekken in de provincie Overijssel, is gebruik gemaakt van beschikbare satellietbeelden van Landsat 8 (NASA). Met gegevens uit deze satelliet wordt inzicht verkregen in de temperatuur van het aardoppervlak (oppervlaktetemperatuur). Door HKV is een selectie gemaakt van wolkenvrije beelden in de periode 1 mei tot 1 september 2018. Hoewel de satelliet in principe elke 16 dagen hetzelfde punt op aarde ziet, is het aantal bruikbare beelden doorgaans beperkt. In de zomer van 2018 was alleen voor 3 juli een volledig wolkenvrij beeld van de provincie Overijssel beschikbaar. Dit beeld is rond het middaguur opgenomen. Aanvullend zijn gegevens verzameld van de ESA Sentinel 2 satelliet, waarmee groenindex kaarten kunnen worden gemaakt. Deze groenindex kaarten (op basis van de NDVI) geven inzicht in de toestand van de vegetatie. Vanwege het koelend effect van vegetatie is een vergelijking tussen temperatuurkaart en groenindex interessant. De NDVI-data zijn van 4 juli 2018 (de eerst beschikbare opname na 3 juli). Onderstaand kader geeft een nadere toelichting op gebruik van satellietdata.

Satellietbeelden tbv oppervlaktetemperatuur

Satellieten (waaronder Landsat 8 van NASA) meten in een aantal golflengtes (banden) straling die door het aarde (oppervlak en atmosfeer) wordt uitgezonden. Landsat 8 meet in twee banden (10 en 11) het thermisch-infrarode deel van het spectrum. Uit deze hoeveelheid straling wordt vervolgens de stralings-temperatuur ('brightness temperature' van het oppervlak afgeleid. De sensor meet met een ruimtelijke resolutie van $100 \times 100 \text{ m}^2$, maar deze wordt geïnterpoleerd naar een effectieve resolutie van ongeveer $30 \times 30 \text{ m}^2$. Het door ons gebruikte thermische beeld van de Landsat 8 is georthorectificeerd (ze liggen op je juiste positie) en gecorrigeerd voor atmosferische invloeden. Daardoor wordt de stralingstemperatuur van het oppervlak gebruikt in plaats van die aan de bovenkant van de atmosfeer. Een nadeel van thermische satellietbeelden is de gevoeligheid voor bewolking: hiervoor kan niet worden gecorrigeerd, omdat infrarode straling niet door bewolking heen kan.

Satellietbeelden tbv NDVI groenindex

Met de groenindex op basis van NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) kan in kaart worden gebracht waar zich levende vegetatie bevindt. Vegetatie gebruikt een groot deel van het zichtbare licht voor fotosynthese. Bij gezonde vegetatie wordt bovendien het nabij-infrarood licht door vocht in de bladeren teruggekaatst. Het verschil in reflectie tussen zichtbaar en nabij-infrarood licht is dus een maat voor de hoeveelheid gezonde vegetatie. Dat verschil is ook afhankelijk van de totale hoeveelheid licht die op het oppervlak valt. Daarom wordt het verschil hiervoor gecorrigeerd (genormaliseerd) door het door de totale hoeveelheid licht te delen. $NDVI = (NIR - VIS) / (NIR + VIS)$ waarbij NIR staat voor Near-InfraRed (nabij-infrarood) en VIS staat voor VISible light (zichtbaar licht). De waarde varieert tussen de -1 en de 1, waarbij positieve waarden vanaf ongeveer 0,2 duiden op levende vegetatie.

4.2.2

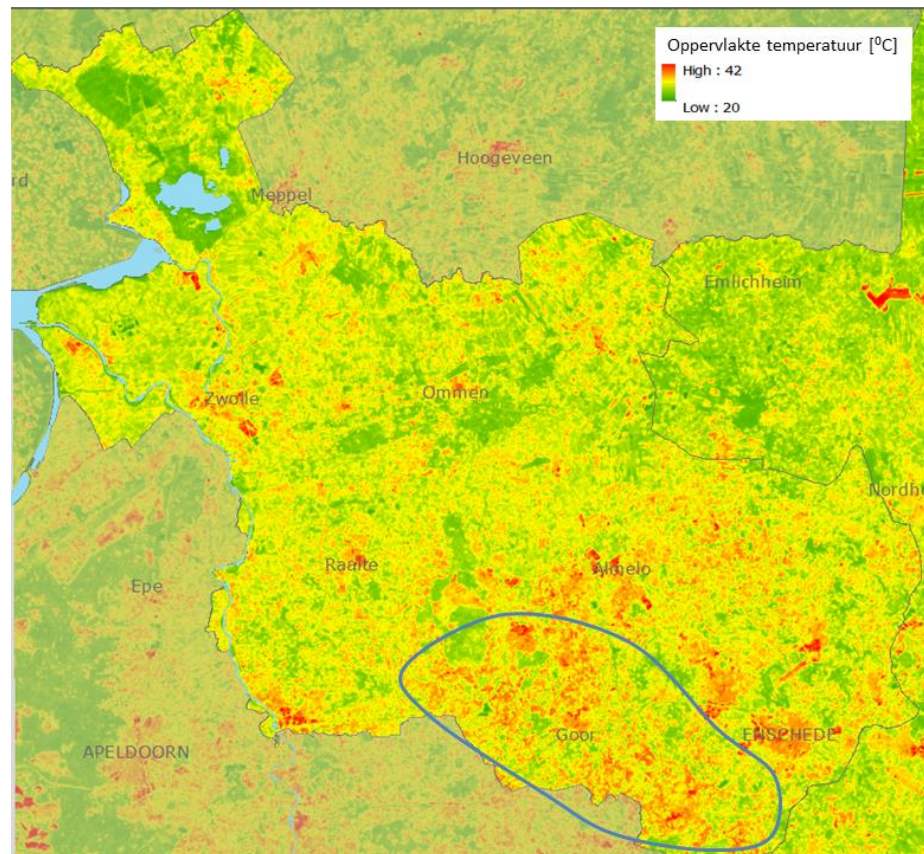
Oppervlaktetemperatuur en groenindex

Oppervlaktetemperatuur op schaal van de provincie Overijssel

Figuur 15 toont een kaart van de provincie Overijssel met daarin de oppervlaktetemperatuur op 3 juli rond het middaguur. Verschillende zaken vallen op:

- Stedelijke gebieden zijn duidelijk waarneembaar, zowel grote kernen (bv., Zwolle, Deventer, Enschede, Almelo) als kleinere kernen (bv., Genemuiden, Hasselt, Ommen, Goor, Oldenzaal) hebben een relatief hoge oppervlaktetemperatuur, en ook vliegveld Twente is herkenbaar;
- Er zijn verschillen tussen grote steden, bijvoorbeeld in Enschede, Hengelo en Almelo lijkt een groter stedelijk gebied een hoge oppervlaktetemperatuur te hebben dan in Deventer of Zwolle;
- Er zijn verschillen tussen kleine kernen zoals Dalfsen (minder heet) enerzijds en Goor of Oldenzaal anderzijds (heter);
- In het landelijk gebied ten zuiden van stedenband Twente zijn opvallend veel warme plekken aanwezig (omcirkeld in de kaart).

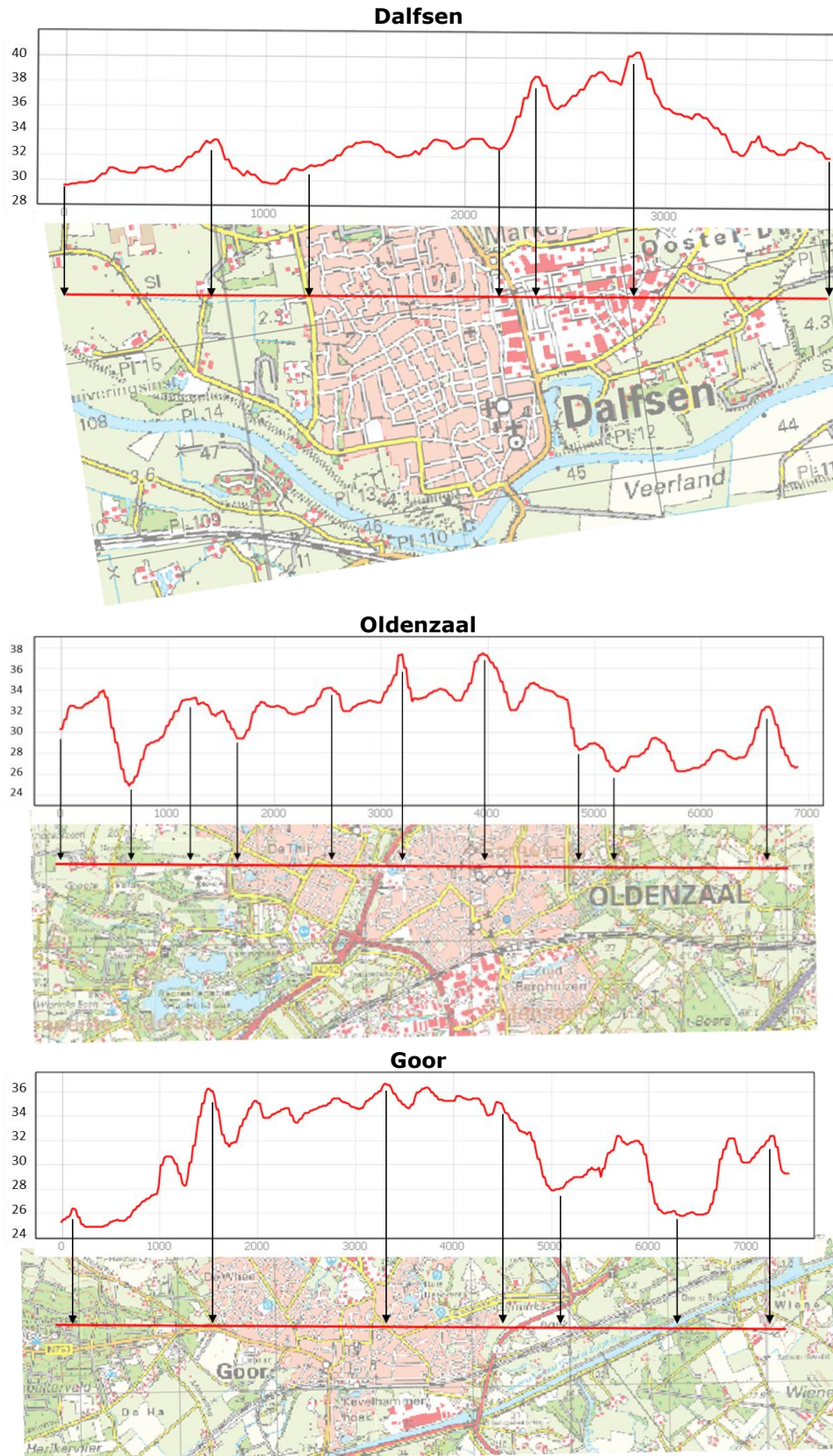
*Figuur 15:
Oppervlakte-
temperatuur
Overijssel op 3 juli
rond het middag
uur.
Bron: Landsat 8.*



Oppervlaktetemperatuur in kleine kernen

Figuur 16 toont een dwarsdoorsnede van de oppervlaktetemperatuur in een drietal kernen: Dalfsen, Oldenzaal en Goor. De oppervlaktetemperatuur in bebouwd gebied lag op 3 juli rond het middaguur lokaal tot 12 °C hoger dan in het omringende agrarisch gebied. De temperatuurprofielen laten zien dat ook binnen een kernen grote variaties in oppervlaktetemperatuur kunnen voorkomen.

*Figuur 16
Dwarsdoorsneden
oppervlakte-
temperatuur (°C) in
Dalfsen, Oldenzaal
en Goor..*



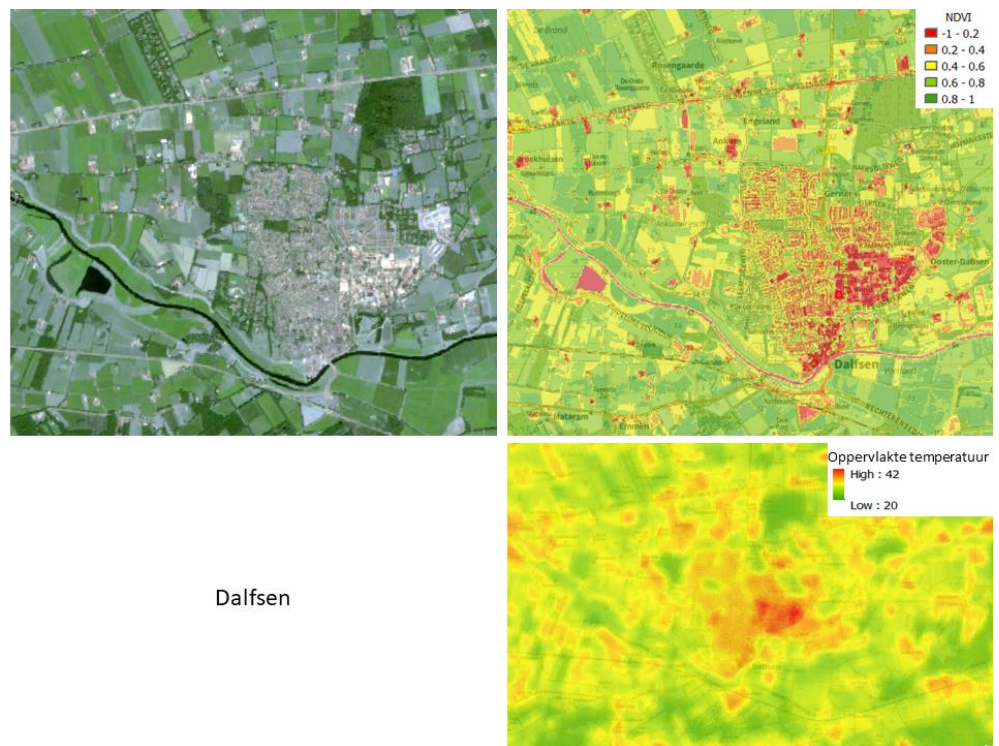
In Figuur 17 zijn detailkaarten opgenomen om deze variaties binnen kernen te kunnen verklaren. In overeenstemming met de literatuur worden verschillen met name verklaard door het grondgebruik en de inrichting. In

het bijzonder warmt aaneengesloten verharding sterk op, zoals op bedrijventerreinen. In Goor liggen bedrijventerreinen langs de noordzijde die overdag zeer warm worden, en valt daarnaast ook de omgeving Weversplein op met grote parkeerterreinen nabij supermarkten. In Oldenzaal betreft het een omvangrijk gebied met bedrijventerreinen aan de zuidkant van het spoor, en in Dalfsen de bedrijventerreinen langs de Rondweg/Welsummerweg.

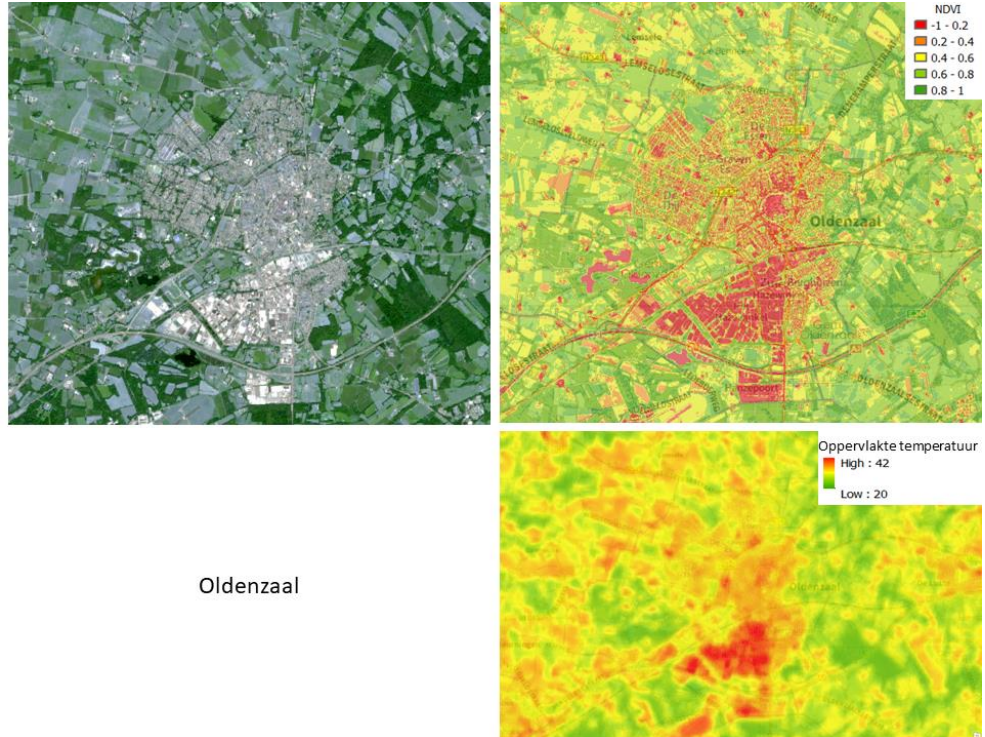
Deze warmte wordt deels in steenachtige materialen opgeslagen en na zonsondergang geleidelijk aan de omgeving afgegeven. Hierdoor koelt de bebouwde omgeving 's nachts minder af (stedelijk hitte eiland effect).

Dat kleine kernen sterk kunnen opwarmen net als grote kernen stemt overeen met recente wetenschappelijk onderzoeken die in Nederland zijn uitgevoerd. Zo bleek het hitte eiland effect (o.b.v. luchttemperatuur) in de Overijsselse kern Losser sterk aanwezig, en ook de gevoelstemperatuur lag hier opvallend hoog. Recent onderzoek in Zeeland heeft onlangs bevestigd dat ook daar kleine kernen een sterk hitte eiland effect kunnen ervaren. De literatuur laat verder zien dat groen juist temperatuur verlagend werkt. Groene structuren (zoals het bomenpark aan de Ankummeres in Dalfsen) hebben een duidelijk lagere oppervlaktetemperatuur overdag. Een voorwaarde is dan wel dat het groen blijft verdampen.

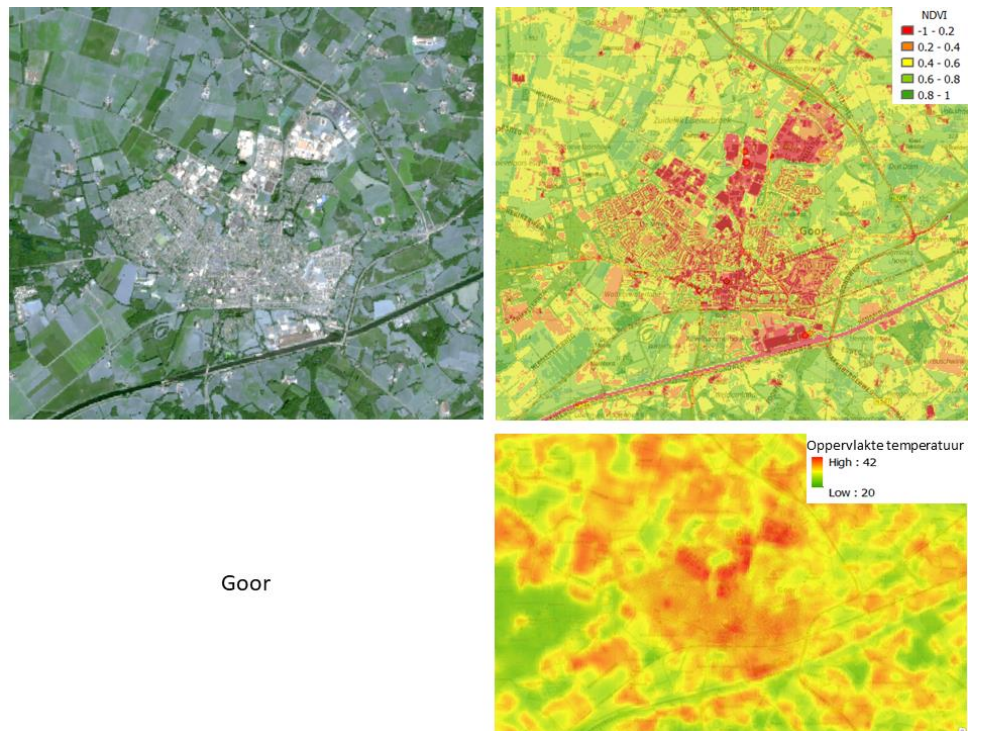
Figuur 17: Vergelijking van patronen van de oppervlakte temperatuur en groenindex (NDVI) in Dalfsen, Oldenzaal en Goor. Met de klok mee: landgebruik, groenindex (NDVI), oppervlaktetemperatuur



NDVI < 0,2 (in rood): bebouwing en open water. NDVI > 0,6 (in groene kleuren): volgroeide gewassen en vegetatie met meerdere bladlagen, volgroeid gras en loofbossen. NDVI 0,2 tot 0,6 (in oranje en geel): net geoogste gewassen, gemaaid gras of gesloten gewassen als gevolg van droogte.



Oldenzaal



Goor

Vervolg Figuur 17: Vergelijking van patronen van de oppervlakte temperatuur en groenindex (NDVI) in Dalfsen, Oldenzaal en Goor. Met de klok mee: landgebruik, groenindex (NDVI), oppervlaktetemperatuur.

NDVI < 0,2 (in rood): bebouwing en open water. NDVI > 0,6 (in groene kleuren): volgroeide gewassen en vegetatie met meerdere bladlagen, volgroeid gras en loofbossen. NDVI 0,2 tot 0,6 (in oranje en geel): net geoogste gewassen, gemaaid gras of gesloten gewassen als gevolg van droogte.

Oppervlaktetemperatuur in het landelijk gebied

Tot slot viel het rode vlekkenpatroon in het landelijk gebied op, ten zuiden van de stedenband Twente en in mindere mate ook elders (bijvoorbeeld boven de stedenband Twente). Nadere inspectie van Figuur 17 – waarin voor Dalfsen, Oldenzaal en Goor uitsnedes zijn gemaakt – bevestigt dat het hier in veel gevallen gaat om agrarisch gebied. Het patroon van de groenindex kaart is nagenoeg identiek aan het patroon van de oppervlaktetemperatuur. Dat wil zeggen, daar waar de oppervlaktetemperatuur hoger is, is er minder gezonde vegetatie. Dat geldt ook voor het stedelijk gebied maar door de ruimtelijke resolutie is het onderscheid tussen gebouwen, verharding en vegetatie in stedelijk gebied minder goed te maken. In de groenindex kaart is dit zichtbaar in de geel gekleurde percelen. Het lagere vochtgehalte kan duiden op net geoogste gewassen, gemaaid gras of en vegetatie waarvan de huidmondjes door vochttekort gesloten zijn. Hierdoor zijn de mogelijkheden voor verdampingskoeling in de gele en rode gebieden minder. Dit laat zien dat het landelijk gebied overdag ook sterk kan opwarmen.

4.3 Resultaten interviews met actoren in Overijssel

In aanvulling op de kaarten in vorige paragrafen is een aantal interviews gehouden met partijen die in hun beroepspraktijk met hitte en droogte te maken kunnen krijgen. In totaal zijn zeven interviews gehouden: met twee varkenshouders en een melkveehouder en met vertegenwoordigers van een verzorgingshuis, GGD IJsselland, gemeentelijk groenbeheer en een woningstichting. We beschrijven per thema de inzichten die uit de interviews naar voren kwamen.

4.3.1 Varkenshouderij

Er zijn twee varkenshouders in Twente geïnterviewd, één in Vriezenveen en één in Haaksbergen. Beide bedrijven houden kraamzeugen met biggen. Deze dieren verblijven in schuren waar de het binnenklimaat tot op zekere hoogte gereguleerd wordt (computergestuurd). Er is echter geen volledige klimaatbeheersing; aangezogen buitenlucht wordt onbehandeld, maar soms iets gekoeld en door aanzuiging vanuit de koelste plek, naar binnen gelaten. Dit kan per bedrijf anders zijn ingericht.

Tabel 5:
Karakterisering van de bedrijven waarvan de varkenshouders geïnterviewd zijn

	Haaksbergen	Vriezenveen
Zeugen + biggen	750+4250	1000+2000
Grond voor gewassen (ha)	20	70
Watervoorziening	Eigen waterput	Leidingwater

*Figuur 18:
Varkenshouderij
Vriezenveen.*



Hittestress bij varkens en effecten

In de zomer van 2018 was er sprake van beperkte hittestress, doordat de temperatuur langzaam toenam en de lucht droog was. In 2015 was de hittestress bij de dieren groter door een plotselinge omslag in het weer. De optimale temperatuur in de stallen is 21°C, en vanaf ongeveer 26 °C ontstaat hittestress. Tijdens de hete periode van 2018 werd regelmatig een temperatuur van 27°C bereikt. Eén van de boeren gaf aan dat de sterfte iets hoger was dan gebruikelijk. De ander heeft geen extra sterfte door de hitte waargenomen, maar wel meer ziekte doordat het weer in september veranderde. De temperatuur daalde maar de luchtvochtigheid nam toe. Een hogere luchtvochtigheid kan leiden tot meer ziekte. Tijdens de hitte is veel extra werk verricht, zoals het koelen van de zeugen met koud water. Er werd ook een andere voersamenstelling met meer water aangeboden.

Beide boeren gaven aan dat de vruchtbaarheid van zeugen afnam en dat ze minder melk produceerden. De biggen dronken hierdoor minder, waardoor de groei vertraagde. De langzamere groei van de dieren zorgde voor problemen omdat de cyclus is ingericht op 25 weken; dan worden weer nieuwe biggen geboren. Er was ruimtegebrek in de stallen. Ook daalde de verkoopprijs van de biggen. De varkenshouder in Haaksbergen schatte de opbrengstderving door drie weken groeivertraging op 70.000 euro, en de hogere marktprijs voor granen leidde tot ongeveer 17.000 euro aan extra uitgaven per maand. Alles bij elkaar ongeveer 100.000 euro.

Droogte en effecten

Met betrekking tot de droogte gaf één van de boeren aan dat de sloot door de percelen de hele zomer is blijven stromen. Wel was er enige waterstandsverlaging. Dit is een sterke verbetering met het verleden. Desalniettemin was de maisopbrengst van de eigen percelen niet goed. De mais is daarom verhakselde en verkocht als silage aan veeboeren. De voedingswaarde van silage als ruwvoer is minder, dus bij de veeboeren die dit hebben gevoederd zal naar verwachting de melkgift in januari 2019 verminderd zijn. Silage kan niet over grote afstanden vervoerd worden, de kosten worden dan te hoog in vergelijking met de waarde van het product. Voor maïskorrels is vervoer over grote afstand geen probleem.

De andere boer gaf aan dat het belangrijk is, dat het waterschap soepel is geweest ten aanzien van wateronttrekking. Doordat de varkens (groot en klein) meer drinken, is er ook meer mest. Als de mest op het land wordt uitgereden tijdens de hitte/droogte verbrandt het gras. Daarom is een langere periode dat mest mag worden uitgereden na een droge en hete periode gewenst.

4.3.2

Melkveehouderij

Er is één melkveehouder geïnterviewd in Witharen. De boer houdt 120 melkkoeien en heeft 55 ha grond voor beweiding en een maisperceel van 8 ha. Voor watervoorziening is een eigen diepe waterbron beschikbaar. De koeien worden 720 uur geweid over 120 dagen. Dit is een afspraak met de zuivelcorporatie.

*Figuur 19:
Melkveehouderij
Witharen.*



Hitte bij koeien en effecten

De koeien hebben vanwege de hitte en droogte meer op stal gestaan dan gewoonlijk. Om de stal te koelen zijn sproeiers gebruikt op het dak en in de stal is gekoeld met grote ventilatoren. De weidegang werd aangepast, zodat de dieren overdag minder aan de hitte in de wei zijn blootgesteld: weidegang van 7.00–11.30 uur en 19.00–21.00 (tot donker). De normen voor het aantal uren weidegang die gesteld worden door de zuivelcorporatie zijn desalniettemin gehaald. Tijdens warme periodes vreten de koeien minder. Om de energieopname op peil te houden is er aangepaste voeding met meer bestendig vet gebruikt. Door de genomen maatregelen veranderde de melkopbrengst nauwelijks. Er was ook geen invloed van de hitte op sterfte of ziekte. De droge lucht was juist gezond voor de dieren. In september nam de temperatuur sterk af en werd de lucht veel vochtiger. De hogere luchtvochtigheid leidde tot meer ziekte.

Droogte en effecten

De weidegang is een verplichting, maar het gras was verdord en groeide niet meer. Er groeide wel veel meer onkruid in de zoden. Er is ca. 5000 euro (100 euro/ha) uitgegeven om het gras weer in goede conditie te krijgen (met zaad en onkruidbestrijding). Er is geen beregening toegepast op het gras of de

maispercelen. In september herstelde de zode zich binnen 10 dagen van geel naar groen. Ondanks de droogte waren de waterstanden in Witharen (tussen Ommen en Balkbrug) de hele zomer hoog. Het waterschap heeft het in de ogen van de boer goed gedaan.

Maatregelen

De boer is van plan een aantal additionele maatregelen te nemen, danwel, ziet daarvan het nut in:

- Meer water tappunten in de weide (tyleenslangen ingegraven);
- Staldak isoleren (moet wel in combinatie met bijvoorbeeld asbestvervanging, anders is dit niet rendabel);
- Kan de water verdringingsreeks niet worden aangepast nu het klimaat verandert. Iets meer aandacht voor boerenbedrijven door deze te laten opschuiven in de reeks;
- Ook aanpassing van de maaikalender is gewenst wegens het veranderend klimaat. Dit is iets voor het waterschap;
- Eerder maaien/hekkelen in de sloot;
- Meer doen aan verhogen organische stof gehalte in de bodem: water wordt dan beter vastgehouden;
- Weg met de regeltjes dat maaisel uit de sloot niet op het land mag of niet mag worden vervoerd over afstanden groter dan 1 kilometer.

4.3.3

Openbaar groen

In de gemeente Hof van Twente (Goor) is gesproken met een vertegenwoordiger van het gemeentelijk groenbeheer. Het beleid voor de openbare groene ruimte wordt door de gemeente ontwikkeld, de uitvoering wordt uitbesteed.

Effecten van droogte en hitte

Tijdens de zomer van 2018 is extreem veel water uit het Twentekanaal gegeven, om de schade zoveel mogelijk te beperken. Jonge bomen zijn iedere week van water voorzien. Na de zomer is de schade aan het openbare groen gedetailleerd in kaart gebracht en in GIS verwerkt. Op de kaarten is te zien waar het groen is afgestorven. De schade is het gevolg van hoge temperaturen en watertekorten. De schade ontstond geleidelijk, in de loop van de tijd. Er was geen specifiek moment aan te wijzen waarop het mis ging. De inventarisatie betreft alleen de heesters en hagen. De vakken met bodembedekkers (lage heesters) hebben de grootste schade. Grote (oude) bomen zijn veelal opgewassen tegen de droogte en de hitte. Beuken zijn daarbij nog het meest kwetsbaar. Er is tevens veel schade geconstateerd aan coniferen bij begraafplaatsen (in Goor alleen al voor 140.000 Euro). De totale schade is op 500.000 euro geschat (vervangingswaarde). Kennis over de grondwaterstanden is niet beschikbaar bij de afdeling groen. Goor ligt tegen het Twentekanaal. Of er een relatie is tussen grondwaterstanden en de verlaagde waterstand op het Twentekanaal is ook niet bekend.

Er is een herstelplan gemaakt, dat wordt uitgesmeerd over 4 jaren. De groenbeheerder van de gemeente zou graag meer hitte/droogteresistente

soorten terugplaatsen. Er zijn echter ook andere kostenposten op het gebied van openbare ruimte die om aandacht vragen, waardoor de wethouder niet direct akkoord is met herbeplanting.

Uitdagingen

- Een uitdaging bij het vergroenen van verhard gebied is dat er aan wegen, voetpaden e.d. normen zijn gekoppeld (CROW normen). Hierdoor kunnen niet zomaar veranderingen aan bijvoorbeeld stoepen worden uitgevoerd.
- In de centra van de kernen van de gemeente Hof van Twente is er weinig ruimte voor vergroening. Getracht wordt dit op te lossen met het uitdelen van bakken met bloemen en planten.
- De kosten-baten analyse van burgers is veel meer op de korte termijn gericht: "geen boom, maar een airco".

Wat wordt er reeds gedaan en waarvoor dient meer aandacht te komen?

- In Goor wordt sinds kort deelgenomen aan Operatie Steenbreek. Dit is ingebed in het initiatief "De Groene Loper van Hof van Twente". Hier doet ook de woningcorporatie "Viverion" aan mee, in de vorm van het beschikbaar stellen van grond in voortuinen voor groene beplanting door de gemeente (www.viverion.nl). In Delden gebeurt iets soortgelijks in samenwerking met de woningcorporatie "Wonen Delden" (www.wonendelden.nl).
- Er kan meer aandacht worden gegeven aan het vergroten van de biodiversiteit, het gebruik van streekeigen beplanting en tegelijkertijd het verminderen van de monocultuur. Ook het toepassen van groene gevels heeft voordelen. Dit wordt nog niet veel gedaan, maar komt wel in de gemeentelijke visie. Hiermee kan ruimte worden bespaard, maar er is nog veel bewustwording nodig.
- Het afkoppelen regenwater gevolgd door infiltratie ter plaatse. De middengoot van wegen wordt in Goor gebruikt voor het creëren van tijdelijke berging waarna het regenwater ter plaatse wordt geïnfiltreerd. Ook andere tijdelijk berging van regenwater wordt gezocht zodat deze kan worden gebruikt voor bewatering.
- De waarde van goede ecologie en een goed klimaat is moeilijk in geld uit te drukken. Dit maakt het moeilijk om (geld kostende) maatregelen te verkopen aan de wethouders. Gewenst zijn richtlijnen die helpen te bepalen wat de waarde is van ecologie en klimaat (zie bijvoorbeeld www.itreetools.org).
- Bij nieuwbouwprojecten vraagt RO bij groenbeheer om ideeën. Daardoor kan meer ruimte voor groen aan de voorkant van het ruimtelijke inrichtingsproces worden gecreëerd. Er is behoefte aan richtlijnen/handreikingen voor welke typen groen het beste toegepast kunnen worden om hitte te mitigeren.

4.3.4

Zorg

In verzorgingshuis de Roosengarde in Dalfsen, waar het interview plaatsvond, verblijven met name demente ouderen.

*Figuur 20:
Verzorgingshuis
Roosengarde te
Dalfsen. Foto:
Google Maps.*



Temperatuur en impact op bewoners en bedrijfsvoering

In de zomer van 2018 was sprake van hoge temperaturen binnen. In de gang op de bovenste etage zijn door een medewerker metingen verricht en bedroeg de temperatuur aan het einde van de middag ruim 28 °C. Volgens de betrokken medewerker was het in de appartementen zelf warmer, doordat deze aan directe zoninstraling blootstaan.

*Tabel 6: Binnen- en
buitentemperatuur
verzorgingshuis
Roosengarde, in juli
2018 (dag
onbekend)*

Tijdstip	Buitentemperatuur*	Binnentemperatuur**
1030	27.3	27.0
1200	30.5	27.1
1530	34.9	28.3

* gegevens van KNMI station

** Gemiddelde van 3 puntmetingen in de gang (zonder airco's)

De demente mensen wonen op een besloten afdeling op de bovenste etage. Op de gang zijn extra mobiele airco's neergezet. De drie huiskamers waar de bewoners overdag voornamelijk verbleven zijn uitgerust met airco's. Familie van de bewoners is in eerste instantie verantwoordelijk om maatregelen in de appartementen zelf te nemen. Waar nodig heeft het verzorgingshuis zelf ventilatoren en mobiele airco's geplaatst. Ramen zijn zoveel mogelijk 's nachts opengezet om te koelen. Wegens de warmte is van de binnentuin minder gebruik gemaakt.

De specialist geneeskunde heeft tijdens de hitteperiode wekelijks contact gehad met de GGD. Door de ouderen minder vaak te douchen/wassen werden inspannende activiteiten beperkt. Hierover is vooraf met familie gecommuniceerd. Demente bewoners willen niet uit zichzelf extra drinken of vergeten dat. Het toedienen van extra vocht is opgelost door extra fruit, bouillon en ijs uit te delen. Door het totaal van maatregelen is de impact van de hitte op bewoners beperkt gebleven. Over het algemeen werden de bewoners overdag 'onrustiger', bijvoorbeeld, de bewoners 'dwalen' meer.

Volgens het verzorgingshuis is de impact van hitte op het personeel groter dan op de bewoners. De werkomstandigheden voor personeel zijn zwaarder.

Bijvoorbeeld, personeel in de nachtdienst slaapt overdag door de hoge temperaturen minder goed. Hiermee is in de roosters zoveel mogelijk rekening gehouden. In de loop van de hittegolf treedt er ook gewenning op, en is het nodig het hitteprotocol regelmatig onder de aandacht te brengen.

Maatregelen

Naar aanleiding van de hitte worden uitvalschermen vervangen door screens en er worden horren geplaatst tegen muggen. Ook worden extra airco's overwogen.

4.3.5

GGD

In het kader van het Nationaal Hitteplan heeft de GGD IJsselland vooral een rol in de communicatie over hitte. Dit gebeurt onder andere via persberichten en de website. In verleden was de GGD als het gaat om hittemeldingen ook de schakel tussen enerzijds zorginstellingen en anderzijds RIVM en KNMI.

Omgaan met kwetsbare groepen bij hitte

De GGD geeft geen directe ondersteuning met zorg richting zorginstellingen. Zorginstellingen en koepelorganisaties zijn zelf verantwoordelijk om met hitte om te gaan. In werksituaties is de Arbowetgeving leidend. In het verleden is een meldsysteem opgezet om zorgloketten, dak- en thuislozen en kinderdagverblijven actief te kunnen informeren bij hitte. Buiten de kinderdagverblijven meldden zich geen andere zorgverleners aan. Bij evenementen adviseert de GGD aan de hand van tabellen waarin afgelezen kan worden bij welke combinatie van luchtvochtigheid en temperatuur er gezondheidsrisico's ontstaan.

Echt kwetsbare groepen zijn ouderen die thuis alleen wonen, COPD patiënten en mensen met obesitas. Deze groepen werden niet bereikt met de systematiek die vanuit hitteplan werd aangereikt. Vanwege de beperkte interesse en reikwijdte van het systeem is de GGD hiermee weer opgehouden. Momenteel is een alternatief plan in ontwikkeling dat per gemeente wordt uitgewerkt. In Zwolle loopt een pilot met partijen die bij mensen aan de deur komen en zorg kunnen verlenen, zoals de thuiszorg, mantelzorg, Rode Kruis en Tafeltje Dekje. Die kunnen via persoonlijk contact iets aanreiken. Maar omdat dit geen primaire zorgtaak is van deze partijen loopt het nog niet 'vlot'. Er moet meer gevoel voor urgentie gekweekt worden.

Er zijn geen algemeen geldende richtlijnen over een maximaal toelaatbare binnentemperatuur. Vaak wordt een binnentemperatuur van 28 °C gehanteerd, zoals door de Rijksgebouwendienst. Het gaat dan om het aantal uren dat deze temperatuur per dag overschreden mag worden (overschrijdingsuren). Maar de richtlijn hangt ook af van de gebruiksfunctie van een gebouw.

Monitoring van gezondheidseffecten

Er worden geen statistieken bijgehouden om de impact van hitte op bijvoorbeeld sterfte te monitoren. Volgens de GGD is het 'oogsteffect' (netto hogere sterfte door hitte) nog steeds onduidelijk. De GGD wil deze vraag wel bij RIVM neerleggen. Maar voor de GGD is het belangrijker, en bekend, dat de ziektelast bij hitte toeneemt; mensen lijden meer en moeten meer medicatie nemen. De GGD ziet hittestress als een probleem waar meer aan gedaan moet worden.

Eens in de 4 jaar wordt een landelijke gezondheidsmonitor uitgevoerd. Er is heel beperkt ruimte om specifieke vragen te stellen. Bij de GGD komen wel meldingen binnen. In 2018 waren er 51 meldingen van eikenprocessierups. In 2017 waren er slechts 17 meldingen, maar in de jaren daarvoor zijn soms ook rond de 60 meldingen geweest. Deze statistieken zeggen meer over de aandacht voor eikenprocessierups en hoe goed mensen ermee met bekend zijn. GGD probeert dan wel uit te leggen dat het planten van eiken niet altijd een goed idee is.

Waar aandacht voor nodig is

In het kader van de energietransitie worden woningen verduurzaamd. Alle installaties zijn er daarbij op gericht om warmte in de woning te houden. Hierbij zou ook aandacht moeten zijn om woningen (op natuurlijke wijze) te kunnen koelen. Bijvoorbeeld, met zonwering en zomernacht ventilatie (inbraakveilig kunnen openen van ramen op de begane grond en een dakraam). In schoolgebouwen wordt het binnenklimaat soms op afstand vanuit een installatiebureau gemonitord. Het wordt snel warm in klaslokalen: soms moet er in maart al gekoeld worden.

Er zijn verschillende gezondheidsrisico's die om aandacht vragen, zoals infectieziekten, een langer groeiseizoen (pollen), meer planten en insecten uit de subtropen (exoten) die hier nu ook beter gedijen. Pollen zijn een lastige kwestie; kun je bijvoorbeeld hypoallergene bomen planten die minder pollen verspreiden, heeft dat zin? Een berk verspreidt relatief veel pollen. Het RIVM zou op een rijtje kunnen zetten welke soorten relatief veel pollen verspreiden. Mogelijk kunnen in woningen filtersystemen tegen pollen worden toegepast.

Het is onduidelijk welke gezondheidsrisico's we maatschappelijk aanvaardbaar vinden. Omdat verschillende disciplines (bv., epidemiologen) anders aankijken tegen gezondheidsrisico's is er een landelijke werkgroep waarin risico's worden uitgewerkt en wordt afgesproken welke risico's acceptabel zijn en ten aanzien van welke risico's actie vereist is.

Ten behoeve van een kennisagenda beveelt de GGD aan om meer onderzoek te doen naar bepaalde effecten van hittestress, bijvoorbeeld in de periodieke (4) jaarlijkse gezondheidsmonitor of via een separate enquête. Vanuit de provincie zouden extra vragen gesteld kunnen worden die hierop gericht zijn. De GGD en RIVM zouden ook met meer disciplines bij elkaar kunnen gaan zitten.

4.3.6

Wonen

WBO wonen in Oldenzaal (www.wbowonen.nl) verhuurt 4000 woningen (30% van het totaal). Het betreft alleen sociale huurwoningen. WoonTwente is de overkoepelende organisatie met circa 90.000 sociale huurwoningen. De woningstichting heeft klimaatadaptatie hoog in het vaandel. De geïnterviewde medewerker is adviseur vastgoedstrategie en adviseert waar te slopen, wat renoveren en voor wie, en adviseert over het verduurzamen van woningen en beperken van aan water en hitte gerelateerde effecten (klimaatadaptatie). Betrokken medewerker heeft hiertoe een specifieke opleiding gedaan aan de WUR. Er is een denktank "Frisdenkers" opgericht door de Stichting Pioneering (www.pioneering.nl) waarin de geïnterviewde deelneemt. Deze stichting is een platform voor de bouw in Oost Nederland, dat zonder winstoogmerk maatschappelijke opgaven oppakt. De Stichting Pioneering schept, ondersteunt en jaagt initiatieven aan die leiden tot vernieuwing in de bouw.

Effecten van droogte en hitte

In de zomer van 2018 is in één straat funderingsschade ontstaan als gevolg van inklinken van de grond. Dit had te maken met veranderingen in drainage. Omdat huizen in de regio Oldenzaal veelal op staal zijn gebouwd leidt dit lokaal tot verzakkende muren.

Uitdagingen

- De belangrijkste uitdaging is om klimaatadaptatie en in het bijzonder hitte op de bestuurlijke agenda te krijgen. In de zomer stond er een artikel in Tubantia over de hoge temperaturen in een verzorgingshuis in Twente waar de temperatuur binnen tot 33 °C opliep, ondanks de A of B labels van de gebouwen. Hiermee is bij bestuurders zichtbaar gemaakt dat gebouw labels niets zeggen over de klimaatbestendigheid ten aanzien van hitte. Maar kosten spelen een belangrijke rol bij de aanpak van hitte. Steeds moet de vraag beantwoord kunnen worden: "what's in it for us?"
- De tweede uitdaging is om de bewoners van sociale huurwoningen mee te krijgen met klimaatadaptatie. Deze bewoners hebben over het algemeen niet veel te besteden en zijn niet geneigd en-masse na te denken over ondersteuning. Ook moet angst voor het onbekende worden overwonnen.
 - Ook hier de vraag vanuit de huurder stellen: "what's in it for us?". Voorbeeld: zonnepanelen op het dak leggen en de helft van de opbrengst naar de huurder laten gaan, de andere helft naar de woningcorporatie.
 - Duurzaamheidsambassadeurs selecteren op basis van sollicitatie (dus alleen iemand die echt wil). Het huis van een duurzaamheidsambassadeur wordt extreem klimaatbestendig gemaakt. Dit heeft uitstraling naar andere bewoners van de straat die dit ook willen. Een voorbeeld hiervan is uitgevoerd door Moniek Wieggers in Zwolle (project Leefstraat Seringestraat - www.zwolle.nl/seringenstraat-eerste-leefstraat-in-zwolle)

Maatregelen

Invoeren van de volgende maatregelen kan in bestaande bebouwing en in nieuwbouw is dat nog gemakkelijker:

- Volledig afkoppelen van regenwater;
- Gebruik van regenwater t.b.v. doorspoelen van toiletten, wassen, koelen van daken;
- Groene daken en muren;
- Zonwering;
- Contact leggen met andere betrokken bij klimaatadaptatie om zo kennis te kunnen delen, en aanhaken bij overheden en kennis instituten.

5 Maatregelen tegen hitte en droogte

In dit hoofdstuk gaan we in op de mogelijke maatregelen tegen hitte en droogte en hun effectiviteit.

5.1 Overzicht van maatregelen tegen hitte en droogte

Op basis van literatuuronderzoek is een lijst van 52 mogelijke maatregelen samengesteld, die genomen kunnen worden om blootstelling aan en kwetsbaarheid voor hitte en droogte te beperken. De maatregelen zijn gevat in factsheets en omvatten vier hoofdthema's: A. Openbare ruimte, B. Gebouwen, C. Tuinen, en D. Sociale en bestuurlijke maatregelen. Iedere factsheet omvat deelonderwerpen en daarbinnen zijn individuele maatregelen onderscheiden. Voor iedere maatregel is in Tabel 7 aangegeven of deze betrekking heeft op hitte en/of droogte, en wat de schaal van toepassing is (gebouw, straat, wijk, stad, regio).

5.2 Beoordeling op effectiviteit en toepasbaarheid

Op basis van literatuuronderzoek is zo goed mogelijk een kwalitatieve en kwantitatieve inschatting gemaakt van de effectiviteit van maatregelen. Kwalitatieve inschattingen zijn weergegeven in Tabel 7 en hebben betrekking op de effectiviteit, waarbij

- +/- betekent: effect niet duidelijk aangetoond of inconsistent;
- + betekent: effect blijkt uit onderzoek, maar kan beperkt zijn;
- ++ betekent: effect blijkt uit onderzoek, en effect is substantieel;

en de toepasbaarheid van de maatregel, waarbij

- G=meestal Generiek toepasbaar;
- S=vaak afhankelijk van de Specifieke situatie.

Met de kwalitatieve oordelen kan de effectiviteit van maatregelen onderling *binnen hetzelfde thema* vergeleken worden, maar meestal niet tussen thema's. Zo kunnen maatregelen die in de openbare ruimte worden genomen (meestal) niet worden vergeleken met maatregelen die in de tuin worden genomen, vanwege het verschil in schaal. Daarnaast is het goed te beseffen dat iedere maatregel een eigen doel dient. We benadrukken dat de beschreven effecten met voorzichtigheid geïnterpreteerd dienen te worden, omdat ze afkomstig zijn van metingen onder specifieke omstandigheden of modelberekeningen en derhalve betrekking hebben op een specifieke situatie die zich voordeed of die is gesimuleerd. Desalniettemin beschouwen we de inschattingen van effecten als 'het beste wat we voorhanden hebben.'

Conclusies ten aanzien van de geïnventariseerde maatregelen en hun effectiviteit zijn opgenomen in paragraaf 6.1.4. (onderzoeksvraag 4) en paragraaf 6.1.5 (onderzoeksvraag 5).

Tabel 7:
Overzicht van de
indeling van 52
maatregelen in
factsheets

Factsheet A: Openbare ruimte	Maatregel		Hitte	Droogte	Schaal					Effectiviteit	Haalbaar
					gebouw	straat	wijk	stad	regio		
A1. Wind en ventilatie	1	Waterwegen								+	G
	2	Verkeerswegen, open velden								+	G
	3	Oriëntatie en dichtheid gebouwen								+	G
A2. Groene maatregelen	4	Lage vegetatie / gras								+	G
	5	Groene gevel / façade								+	G
	6	Bomenrij in straten of langs water								++	S
A3. Schaduw	7	Park								++	S
	8	Hoge gebouwen								+	G
	9	Laanbeplanting								++	G
A4. Koelen en wegverharding	10	Textieldoeken								+	G
	11	Half-open verharding								+	G
	12	Lichtgekleurde wegverharding								+/-	G
A5. Waterelementen	13	Water opbrengen								+/-	S
	14	Stadsbeek / gracht								+/-	S
	15	Vijver / waterplein								+	S
A6. Infiltratie van hemelwater	16	Fontein / sprinklers								+	G
	17	Half / zeer open verharding								+/-	S
	18	Wadi's en bio-swales								+	S
A7. Grondwater peilbeheer	19	Putten en sleuven								+	S
	20	Oppervlaktewaterpeil verhogen								+/-	S
	21	Actief grondwater-peilbeheer								+	S
Factsheet B. Gebouwen		Maatregel									
B1. Opwarming via ramen beperken	22	Ramen openen								++	G
	23	Zonwering buiten								++	G
	24	Overstek								+	G
	25	Oriëntatie ramen								+	G
B2. Opwarming via daken beperken	26	Reflectie								+	G
	27	Isolatie								+/-	S
	28	Groen dak								+/-	S
	29	Blauwgroen dak								+	S
B3. Opwarming via muren beperken	30	Zonnepaneel								+/-	G
	31	Groene gevel								+	G
	32	Reflectie								+/-	G
	33	Schaduw (van bomen)								++	G
B4. Actieve koeling binnen	34	Isolatie								+/-	S
	35	Airconditioning								++	G
	36	Balansventilatie								+	S
	37	Vloer/muurverwarming en koeling								++	S
Factsheet C. Tuinen		Maatregel									
C1. Schaduw creëren	38	Zonnezeil, parasol								+	G
	39	Bomen								++	S
	40	Begroeiende pergola								++	S
C2. Verharding vervangen door groen	41	Beplanting								+	G
	42	Bodembedekking								+	G
	43	Verticaal groen								+	S
C3. Infiltratie in de bodem	44	Infiltratiekrat, greppel, put								+	S
	45	Half / zeer open verharding								+	G
	46	Wadi's en bioswales								+	G
C4. Wateropvang	47	Regenton								+	G
	48	Vijver								+	G
	49	Regenwater opvangsysteem								++	S
Factsheet D. sociale en bestuurlijke maatregelen		Maatregel									
D1. Governance, participatie en gedragsbeïnvloeding	50	Subsidie en regelgeving								+	G
	51	Participatie van overheid en burger								+	S
	52	Beïnvloeding bewustzijn en gedrag								+	S

6 Conclusies en aanbevelingen

In dit hoofdstuk geven we antwoord op de vijf onderzoeksvragen:

1. In welke mate spelen hitte en hittestress een rol in de kleine kernen en in het landelijk gebied van Overijssel?
2. In welke mate speelt droogte een rol in de kleine kernen van Overijssel?
3. Welke andere 'extremen' als gevolg van klimaatverandering verdienen ook onze aandacht?
4. Welke maatregelen zijn er mogelijk in relatie tot hitte én droogte?
5. Wat is de effectiviteit van de beschreven maatregelen voor hittestress én droogte?

6.1 Conclusies per onderzoeksvraag

Per onderzoeksvraag zijn er hoofdconclusies en deelconclusies geformuleerd. De deelconclusies gaan in op specifieke aspecten van hitte en droogte in kleine kernen en op specifieke aspecten van maatregelen.

6.1.1 Onderzoeksvraag 1

In welke mate spelen hitte en hittestress een rol in de kleine kernen en in het landelijk gebied van Overijssel?

Hoofdconclusies onderzoeksvraag 1

Op basis van de beschikbare wetenschappelijke literatuur, lopend onderzoek naar hitte eilanden in kleine kernen elders in Nederland, aanvullende satellietbeelden van oppervlaktetemperaturen in de kleine kernen van Overijssel en interviews met enkele boeren en een verzorgingshuis kan het volgende geconcludeerd worden:

Conclusie 1: Net als in grote Nederlandse kernen zijn stedelijke hitte eiland effecten ook in kleine Nederlandse kernen aanwezig. Dit geldt in principe voor alle kernen in Nederland en dus ook voor de kleine kernen in Overijssel. Hoewel er in de literatuur veel fundamentele kennis beschikbaar is over de werking en impact van hitte in stedelijk gebied, ontbreekt het vooral aan toepassing van deze kennis om de rol van hitte en hittestress in de kleine kernen van Overijssel specifiek te kunnen duiden.

Conclusie 2: Naar verwachting zijn er wel verschillen in hitte eiland effecten tussen kleine kernen, die met name verklaard kunnen worden uit de inrichting op wijk- en straatniveau. Met name lokale factoren zoals een hogere bebouwingsdichtheid, een groter aandeel verhard oppervlak en

minder groen dragen bij aan hitte eiland effecten. Aanwezigheid van oppervlaktewater zorgt overdag lokaal voor verkoeling, maar kan 's nachts juist bijdragen aan het hitte eiland effect, omdat opgeslagen warmte wordt afgegeven aan de omgeving.

Conclusie 3: Uit interviews is gebleken dat de hitte grote invloed kan hebben op de arbeidsomstandigheden waardoor organisaties zich moeten aanpassen. Indien er geen of onvoldoende maatregelen worden genomen, kan dit ten koste gaan van de productiviteit en kwaliteit van geleverde diensten en producten. In een zorgcentrum werd extra rekening gehouden met de hittelast voor personeel en bewoners en werden inspannende activiteiten voor personeel en bewoners in overleg met familie en GGD zoveel mogelijk beperkt. Drie geïnterviewde boeren (één melkveehouder en twee varkensboeren) hebben de verzorging van hun dieren en het voer aangepast aan de warme omstandigheden. Bij de twee varkensboeren is ook werkelijk inkomstenderving opgetreden als gevolg van de hitte, omdat door de hogere temperatuur in de varkensstallen lichte hittestress optrad. Door een tragere voedselopname vertraagde ook de groei van de biggen.

Deelconclusies onderzoeksvraag 1

Bij hitte is het van belang om onderscheid te maken tussen hitte eilanden op basis van oppervlaktetemperatuur (overdag actief) en hitte eilanden op basis van luchttemperatuur (zowel overdag als 's nachts actief). Hittestress, ofwel de impact van hittelast op mens en dier, hangt vooral samen met de gevoelstemperatuur.

Oppervlaktetemperatuur in kleine kernen

Conclusie 4: Hitte eilanden op basis van oppervlaktetemperatuur zijn vooral afhankelijk van de omvang van aangesloten verharding. Deze oppervlakken zijn zowel in grote als in kleine kernen aanwezig, zoals parkeerterreinen en bedrijventerreinen. Hitte eilanden op basis van oppervlaktetemperatuur ontstaan doordat oppervlakken in bebouwd gebied sterker opwarmen dan oppervlakken in agrarisch gebied. Opgewarmde oppervlakken geven deze warmte overdag maar met name 's nachts af aan de omringende lucht. Naarmate deze opgewarmde lucht minder goed kan ontsnappen naar het hemelgewelf (door hoge gebouwen en bomen) draagt het hitte eiland op basis van oppervlaktetemperatuur bij aan het hitte eiland op basis van luchttemperatuur. Uit een provincie dekkend satellietbeeld van Overijssel 3 juli 2018 bleek dat de oppervlaktetemperatuur van hitte eilanden in kleine kernen en grote kernen overdag tot 12 °C hoger lag dan in het omringende agrarisch gebied.

Luchttemperatuur in kleine kernen

Conclusie 5: Hitte eiland effecten op basis van luchttemperatuur zijn in kleine kernen niet per se minder aanwezig dan in grote kernen. Op basis van de theorie zou verwacht mogen worden dat hitte eilanden in kleine kernen minder groot zijn dan in grote kernen, met name wanneer er minder dichte bebouwing en hoogbouw aanwezig is. Dit blijkt echter geen vaste wetmatigheid. Uit een wetenschappelijke studie bleek het

luchttemperatuurverschil tussen de kern Losser en agrarisch gebied op te kunnen lopen tot bijna 7 °C. Het gevonden hitte eiland effect in Losser was vergelijkbaar of zelfs groter dan in andere kleine en grote kernen elders in Nederland. Lopend onderzoek in Zeeland lijkt dit hitte eiland effect voor kleine kernen te bevestigen.

Gevoelstemperatuur in kleine kernen

Conclusie 6: Gevoelstemperatuur kan van plek tot plek verschillen en is niet direct afhankelijk van de omvang van een kern. De gevoelstemperatuur is bepalend voor de hittelast die mensen ervaren en neemt toe met een hogere luchttemperatuur, een hogere luchtvochtigheid, een hogere blootstelling aan zonnestraling en een lagere windsnelheid. Deze factoren worden sterk bepaald door kenmerken op straatniveau, zoals schaduw (bv., van een boom of gebouw) en ventilatie van straten of wijken door middel van luchtstromen (hoogte-breedte verhouding en oriëntatie van straten op de windrichting).

Hittestress in kleine kernen

Conclusie 7: De mate waarin mensen hittestress ervaren, verschilt tussen personen en wordt naast de locatie afhankelijke gevoelstemperatuur bepaald door de duur van blootstelling en door gedrag en persoonskenmerken. Hitte heeft onder meer effect op de gezondheid van mensen en op arbeidsomstandigheden. Risicofactoren voor hittestress zijn onder meer leeftijd (65+ en zeer jonge kinderen), chronische ziekten (bv., astma, COPD), het verrichten van lichamelijke inspanning (i.r.t. tot werk en vrijetijdsbesteding) en gebruik van medicatie, alcohol en drugs.

Conclusie 8: De impact van hittegolven op het functioneren van mensen en hun gezondheid is niet inzichtelijk, omdat er geen evaluaties worden uitgevoerd of monitoring plaatsvindt. Er wordt in Nederland nauwelijks onderzoek gedaan naar de mate waarin mensen overdag en 's nachts last hebben van de warmte en of daarbij sprake is van effecten op het algemeen functioneren en in het bijzonder op de gezondheid (hittestress). Gezondheidseffecten worden door de GGD IJsselland en andere instanties niet gemonitord, zodat er weinig inzicht is in de impact van hittegolven op risicogroepen en het algemeen publiek in Overijssel. Het is niet bekend of GGD's elders in Nederland hierop wel monitoren. Uit een interview met een verzorgingshuis in Dalfsen werd duidelijk dat de hitte in de zomer van 2018 vooral impact heeft gehad op de arbeidsomstandigheden van personeel. Om hittestress bij bewoners en personeel te voorkomen zijn inspannende activiteiten zoveel mogelijk beperkt. Dit betekende bijvoorbeeld dat er in overleg met familie en GGD minder werd gedoucht.

Hittestress in het landelijk gebied

Conclusie 9. Ook op akkers en in weilanden kan de oppervlaktetemperatuur sterk oplopen, met name wanneer de vegetatie verdroogd is of kort na de oogst. Dit blijkt uit satellietbeelden op 3 juli 2018, waarop dit met name ten zuiden van stedenband Twente is te zien. Bij het ontbreken van schaduw en bij windstil weer kan verwacht worden dat de gevoelstemperatuur op akkers

en in weilanden sterk oploopt. Voor zover bekend, is hier geen onderzoek naar gedaan.

Conclusie 10: Dieren kunnen hittestress ervaren, maar de omstandigheden waarbij stress optreedt en de effecten daarvan op dierenwelzijn verschilt per soort. Een hogere luchttemperatuur en luchtvochtigheid verhogen de kans op hittestress, maar de combinatie van beide waarbij hittestress ontstaat, verschilt tussen diersoorten. Ook de mitigerende maatregelen verschillen per diersoort. Koeien kunnen hittestress ervaren vanaf 21°C, varkens vanaf 26°C en kippen vanaf 28 °C. Bij vee verlaagt hittestress de metabole snelheden waardoor ongeacht de (verminderde) voerinnname negatieve effecten kunnen ontstaan op de gezondheid van de dieren en hun groei, productie en reproductie.

Conclusie 11. Als gevolg van hittestress bij vee kunnen de inkomsten van boeren dalen. Twee geïnterviewde varkensboeren gaven aan dat de vruchtbaarheid van zeugen afnam en dat ze minder melk produceerden, en de groeicyclus van biggen vertraagde. Een varkenshouder met 750 kraamzeugen en 4.250 biggen schatte de opbrengstderving door drie weken groeivertraging op 70.000 euro. Een geïnterviewde melkveehouder paste de weidegang aan om hittestress zoveel mogelijk te voorkomen. Er was daardoor geen daling in de melkgift. Alle drie de boeren hebben daarnaast extra kosten gemaakt voor voer, omdat als gevolg van de droogte oogsten mislukten. Sommige boeren hebben door gestegen marktprijzen hun oogst deels goed kunnen verkopen, terwijl andere boeren relatief duur moesten inkopen. De inkomstderving en hogere kosten werden door hen gezien als een normaal bedrijfsrisico.

6.1.2

Onderzoeksvraag 2

In welke mate speelt droogte een rol in de kleine kernen van Overijssel?

Hoofdconclusie onderzoeksvraag 2

Conclusie 1: In de praktijk is slechts beperkt inzicht in de effecten van neerslagtekorten op grondwaterstanden. Ook de mate waarin functies gevoelig zijn voor een bepaalde mate van droogte is vaak onduidelijk. De mogelijk optredende schades en effecten op de leefbaarheid zijn daarom moeilijk te duiden in relatie tot droogte en het gecombineerde effect van droogte en hitte. Een extreem neerslagtekort kan leiden tot een meer dan gemiddelde daling van grondwaterstanden. Hierdoor kan vervolgens schade optreden aan fundering van gebouwen, infrastructuur en groen. In combinatie met hitte kan droogte ook leiden tot een achteruitgang van de leefbaarheid. Bijvoorbeeld wanneer de waterkwaliteit sterk achteruit gaat en stedelijk groen verdroogt, waardoor hitte eiland effecten en gevoelstemperatuur (lokaal) toenemen. In de praktijk is slechts beperkt inzicht in deze mechanismen.

Deelconclusies onderzoeksvraag 2

Neerslagtekort en doorwerking in grondwaterstanden

Conclusie 2: Uit de analyses van het neerslagtekort bleek dat de zomer van 2018 extreem droog was en dat er duidelijke regionale verschillen waren. Echter, in de doorwerking van het neerslagtekort in grondwaterstanden is nauwelijks inzicht. In Dalfsen liep het neerslagtekort bijvoorbeeld op tot 250 à 300 mm, terwijl het neerslagtekort in Goor tot bijna 400 mm steeg. Neerslagtekorten werken door in grondwaterstanden en bodemvochtgehalten. Maar in de praktijk is hierin weinig inzicht. Dit maakt het lastig om vooraf risico's op schade in te schatten, omdat ieder stedelijk watersysteem specifieke kenmerken, behoeften en knelpunten heeft. Ook wanneer wel schades optreden, kan het moeilijk zijn de rol van droogte hierin te duiden zonder inzicht in grondwaterstanden.

Schade aan funderingen en infrastructuur

Conclusie 3: Uit de klimaateffectatlas blijkt dat er verhoogde risico's zijn op paalrot in gemeente Twenterand (met name in de kern Vriezenveen), in de kernen Hasselt en Zwartsluis en in mindere mate in gemeente Hof van Twente (kernen Goor en Diepenheim). Droogte kan schade veroorzaken aan gebouwen en infrastructuur, door paalrot en verschilzetting. Schaderisico's zijn het grootst in de laaggelegen gebieden van de IJssel-Vechtdelta en in de beekdalen waar lokaal klei en veenpakketten aanwezig zijn. Volgens de klimaateffectatlas is in een beperkt aantal kleine kernen een verhoogd risico. Uit een interview in Oldenzaal met een woningcorporatie blijkt één geval van funderingsschade aan een woning tijdens de zomer van 2018. Dit hing met name samen met een verandering in de drainage. Het is niet duidelijk of de droogte hierin ook een rol heeft gespeeld. Of er meer schadegevallen waren in andere kleine kernen van Overijssel is niet onderzocht.

Schade aan openbaar groen

Conclusie 4: Stedelijk groen is over het algemeen goed bestand tegen droogte. In uitzonderlijke gevallen kan groen afsterven, zoals in gemeente Hof van Twente waar door afsterving van met name lage heesters in de zomer van 2018 ongeveer 500.000 euro schade optrad. Uit analyses blijkt dat het neerslagtekort in de omgeving van gemeente Hof van Twente uitzonderlijk hoog was. Of er ook schade aan groen is opgetreden in andere kleine kernen is niet onderzocht.

Gecombineerde effecten van droogte en hitte op leefbaarheid

Conclusie 5: Droogte en hitte kunnen elkaar versterken, en van invloed zijn op de leefbaarheid in kernen. Effecten op de leefbaarheid zijn niet specifiek onderzocht en niet uit de interviews naar voren gekomen. Droogte heeft een ongunstig effect op het hitte eiland effect wanneer de groenvoorziening verdroogt. Verdroging van groen heeft ook een ongunstig effect op de beleving van hitte door mensen. Daarnaast kunnen hitte en een gebrek aan neerslag de waterkwaliteit negatief beïnvloeden, waardoor de kans op blauwalg en botulisme toenemen.

6.1.3

Onderzoeksvraag 3

Welke andere 'extremen' als gevolg van klimaatverandering verdienen ook onze aandacht?

Om deze vraag te beantwoorden is gebruik gemaakt van de KNMI 2014 klimaat scenario's en zijn relevante rapporten over extreem weer in Nederland verzameld. In aanvulling hierop is een interview gehouden met het KNMI om de actuele stand van kennis te ontsluiten.

Hoofdconclusie onderzoeksvraag 3

In de KNMI 2014 klimaatscenario's wordt verwacht dat verschillende vormen van extreem weer – zoals hagel, onweer, valwinden en windhozen – in frequentie en intensiteit zullen toenemen. Tegelijkertijd is daarover nog veel onduidelijk waardoor de mate van toename momenteel niet (goed) te kwantificeren is. Ten aanzien van storm wordt verwacht dat windsnelheden en het aantal stormen boven land afnemen met een toenemende urbanisatiegraad. Deze trend, die al zichtbaar is sinds de jaren zestig van de vorige eeuw, zet naar verwachting door. Internationaal wordt hier wel onderzoek naar verricht, maar KNMI is hierbij niet aangesloten. De uitzondering daarop is extreme neerslag, waarvoor recent is aangetoond dat de kans op korte, extreme piekbuien substantieel is toegenomen als gevolg van klimaatverandering. Ook zijn er aanwijzingen dat de omvang van deze convectieve buien toeneemt. In de ruimtelijke verdeling van deze extreme buien in Nederland is geen duidelijk patroon herkenbaar. De kleine kernen van Overijssel zijn daarom ten opzichte van grote kernen in Overijssel en ten opzichte van de rest van Nederland niet meer of minder blootgesteld aan extreme piekbuien.

6.1.4

Onderzoeksvraag 4

Welke maatregelen zijn er mogelijk in relatie tot hitte én droogte?

Hoofdconclusie onderzoeksvraag 4

Conclusie 1: Op basis van literatuuronderzoek is een lijst van 52 mogelijke maatregelen samengesteld, die genomen kunnen worden om blootstelling aan en kwetsbaarheid voor hitte en droogte te beperken. De maatregelen omvatten vier hoofdthema's, namelijk maatregelen A) in de openbare ruimte, B) in en aan gebouwen, C) in tuinen en D) sociale en bestuurlijke maatregelen. Binnen deze thema's zijn deelonderwerpen en individuele maatregelen onderscheiden. Tabel 7 in paragraaf 5.1 bevat een overzicht. Voor iedere maatregel is in de tabel aangegeven of deze betrekking heeft op hitte en/of droogte en wat de schaal van toepassing is (gebouw, straat, wijk, stad, regio). Bijlage 1 bevat een volledige beschrijving van maatregelen in factsheets.

Conclusie 2: Van de 52 maatregelen zijn er 47 op hitte van toepassing, 23 op droogte en 18 op zowel hitte als droogte. Het grote aantal maatregelen voor hitte heeft vooral te maken met de vele verschillende mogelijkheden in

ruimtelijke inrichting op verschillende schaalniveaus. Bij droogte gaat het vooral om infiltratiemaatregelen en opslag van water.

Conclusie 3: Op kleinere schaalniveaus (gebouw, straat, wijk) zijn meer verschillende maatregelen mogelijk dan op grotere schaalniveaus (stad, regio). Enerzijds is dat positief, omdat actoren daarmee binnen hun eigen invloedssfeer meer mogelijkheden hebben. Anderzijds geeft dit ook aan dat adaptatie afhankelijk is van veel kleine maatregelen, waardoor adaptatie van een kern of regio als geheel mogelijk minder snel gaat.

6.1.5

Onderzoeksvraag 5

Wat is de effectiviteit van de beschreven maatregelen voor hittestress én droogte?

Op basis van literatuuronderzoek is zo goed mogelijk een kwalitatieve en kwantitatieve inschatting gemaakt van de effectiviteit van maatregelen. In het kwalitatieve oordelen is gebruik gemaakt van de volgende schaal: +/- als het effect niet duidelijk aangetoond of inconsistent is; + als het effect blijkt uit onderzoek, maar beperkt is; ++ als het effect blijkt uit onderzoek en substantieel is.

Hoofdconclusie onderzoeksvraag 5

Conclusie 1: Met de kwalitatieve oordelen kan de effectiviteit van maatregelen onderling binnen hetzelfde thema vergeleken worden, maar meestal niet tussen thema's. Zo kunnen maatregelen die in de openbare ruimte worden genomen (meestal) niet worden vergeleken met maatregelen die in de tuin worden genomen, vanwege het verschil in schaal. Daarnaast is het goed te beseffen dat iedere maatregel een eigen doel dient. Bijvoorbeeld, in de openbare ruimte kan het hitte eiland effect in een wijk worden beperkt door substantieel te vergroenen, kan een park worden aangelegd om bewoners een plek in de omgeving te bieden waar ze verkoeling kunnen zoeken (lucht- en gevoelstemperatuur), of kan de gevoelstemperatuur op een schoolplein worden verlaagd door een aantal grote bomen te planten. Bovendien zijn sommige maatregelen heel effectief maar hebben ze ongewenste neveneffecten, zoals airco's (koeling in huis, opwarming buitenshuis).

Conclusie 2: We beschouwen de inschattingen van de effectiviteit van maatregelen als 'het beste wat we momenteel voorhanden hebben.' De beschreven effectiviteit moet met voorzichtigheid geïnterpreteerd worden, omdat ze afkomstig zijn van metingen onder specifieke omstandigheden of modelberekeningen en derhalve betrekking hebben op een specifieke situatie. Hieronder wordt de effectiviteit van maatregelen in kwalitatieve zin beschreven. Voor een kwantitatieve beschrijving verwijzen we naar de factsheets (Bijlage 1).

Deelconclusies onderzoeksvraag 5

Openbare ruimte

Conclusie 3: In de openbare ruimte hebben 3 van de 23 maatregelen een ++ gekregen. Maatregelen met dit oordeel zijn groenmaatregelen op het schaalniveau van een straat of wijk (bomenrij, park, laanbeplanting). Wanneer groen op grotere schaal wordt toegepast, neemt de verdamping toe waardoor het hitte eiland effect wordt beperkt. Ook zijn er meer schaduwplekken waardoor de gevoelstemperatuur lokaal aanzienlijk lager kan zijn.

Conclusie 4: Er zijn geen droogte maatregelen in de openbare ruimte die een ++ hebben gekregen. Infiltratie maatregelen worden minder effectief geacht, omdat infiltratie van regenwater tijdens extreme droogte beperkt bijdraagt aan de grondwateraanvulling, terwijl peilopzet van oppervlaktewater ook risico's op wateroverlast met zich meebrengt. Actief grondwater peilbeheer kan zeer effectief zijn, maar is vooral bedoeld voor gebieden met bodemdaling waar kans is op funderingsschade. Deze gebieden zijn in Overijssel beperkt aanwezig.

Gebouwmaatregelen

Conclusie 5: Van de 16 maatregelen scoren er 5 een ++ op effectiviteit. Gebouwmaatregelen hebben vooral betrekking op het voorkomen van de opwarming van de gebouwschil en het voorkomen van zoninstraling via ramen. Daarnaast kan de binnenlucht actief worden gekoeld.

Conclusie 6: Eenvoudige maatregelen zoals zonwering en openen van ramen gedurende de nacht en een deel van de ochtend is zeer effectief. De effectiviteit is echter sterk afhankelijk van het gedrag. In de praktijk kan dit echter lastig zijn, omdat zonneschermen gevoelig zijn voor wind en het openen van ramen een verhoogd inbraakrisico met zich meebrengt. Oudere mensen zijn bovendien bang voor tocht.

Conclusie 7: Groene daken hebben geen of een beperkt op de luchttemperatuur en het hitte eiland effect. Dit hangt mede af van het type groendak (intensief of extensief).

Conclusie 8: Een goede isolatie kan ongunstig uitwerken om woningen in de zomer koel te houden. Dit hangt samen met het 'serre-effect'. Beter geïsoleerde woningen houden warmte die eenmaal is binnengekomen langer vast dan minder goed geïsoleerde woningen. Warmte komt vaak binnen via directe instraling van zonlicht door ramen. Dit wordt ook wel het 'serre effect' genoemd. Het aantal 'te warme' uren kan hierdoor substantieel oplopen.

Conclusie 9: Een airco is zeer effectief, maar zorgt ook voor een hoger energieverbruik en opwarming in de stad. Balansventilatie en muurverwarming (koeling) kunnen ook ingezet worden om de woning te koelen.

Tuinmaatregelen

Conclusie 10: 3 van de 12 maatregelen hebben een ++ gekregen, maar de schaal van het effect is beperkt tot de tuin. Tuinmaatregelen zijn voornamelijk groene en blauwe maatregelen. Deze maatregelen zijn voornamelijk gericht op het creëren van schaduw en het infiltreren en opvangen van water voor hergebruik. Groene tuinen zijn daarnaast goed voor de biodiversiteit. Veel groene tuinen kunnen samen op het niveau van een wijk bijdragen aan de het beperken van het hitte eiland effect.

Sociale en bestuurlijke maatregelen

Bij deze categorie kan het gaan om subsidieregelingen, participatieprocessen en gedragsbeïnvloeding.

Conclusie 11: De effectiviteit hangt mede af van het gestelde doel. Het doel kan zijn om bewustzijn te verhogen of participatie te bevorderen, om daarmee indirect de effecten van hitte en droogte (maar vaak ook: neerslag) te beperken. Operatie Steenbreek is een bekend voorbeeld waarin verschillende van deze aspecten binnen gemeenten samenkomen.

Conclusie 12: Er zijn nauwelijks onderzoeken gevonden die de effectiviteit van deze meer zachte maatregelen hebben geëvalueerd. Dit is een kennislacune.

Conclusie 13: Ondanks een gebrek aan evaluaties mag verondersteld worden dat deze typen maatregelen bijdragen aan de implementatie van maatregelen door burgers om hitte, droogte of andere klimaat gerelateerde effecten te beperken. Zo is bijvoorbeeld het aantal groene daken de afgelopen jaren substantieel toegenomen.

6.2

Aanbevelingen

Hitte en hittestress in de kleine kernen en in het landelijk gebied van Overijssel

Hoewel er in de literatuur veel fundamentele kennis beschikbaar is over de werking en impact van hitte in stedelijk en landelijk gebied, ontbreekt het vooral aan toepassing van deze kennis om de rol van hitte en hittestress in de kleine kernen van Overijssel specifiek te kunnen duiden. Op de volgende punten is meer kennis en inzicht gewenst:

- Inzicht in hitte eiland effecten op wijk- en straatniveau en in gevoelstemperatuur in straten en op openbare plekken waar veel mensen samenkomen. Recentelijk is in opdracht van het Deltaprogramma een methode ontwikkeld waarmee gemeenten kaartbeelden van de gevoelstemperatuur in de openbare ruimte kunnen maken als onderdeel van stresstesten. Deze kaarten geven een globaal beeld van de plekken waar de gevoelstemperatuur op uitzonderlijk warme dagen 'te hoog' oploopt.

- Inzicht in de gevoelstemperatuur op locatieniveau waar zich risicogroepen bevinden en in de effecten op arbeidsomstandigheden en gezondheid. We adviseren hierin samen te werken met GGD IJsselland en de mogelijkheden te onderzoeken om effecten van hittegolven beter te kunnen monitoren en evalueren. Bijvoorbeeld door eenmalig een steekproef onder risicogroepen te trekken of door periodiek te monitoren op gezondheidseffecten. Specifieke inzichten in de gevoelstemperatuur kunnen worden verkregen door in en om gebouwen metingen te verrichten.
- Inzicht in de gevoelstemperatuur en luchtvochtigheid in stallen en de mate van hittestress die dat veroorzaakt bij specifieke diersoorten in de veehouderij. Het is onduidelijk in welke mate dieren die in stallen verblijven, zoals varkens, staan blootgesteld aan hittestress en welke gezondheidseffecten dat heeft. Gezondheidseffecten hebben invloed op het dierenwelzijn en kunnen tot inkomstenderving van bedrijven leiden.

Droogte in de kleine kernen van Overijssel

Neerslagtekorten werken door in grondwaterstanden en bodemvochtgehalten. Maar in de praktijk is hierin weinig inzicht. Dit maakt het lastig om vooraf risico's op schade in te schatten, omdat ieder stedelijk watersysteem specifieke kenmerken, behoeften en knelpunten heeft. Uit een beperkt aantal interviews is gebleken dat er in gemeente Hof van Twente groenschade is opgetreden als gevolg van de droogte. Op de volgende punten is meer kennis en inzicht gewenst:

- Inzicht in de mate waarin de droogte van 2018 schade aan funderingen en infrastructuur heeft veroorzaakt door paalrot en verschilzetting. Paalrot is een meer gradueel proces en droogte kan dit proces versnellen. In een beperkt aantal gemeenten zijn verhoogde risico's op paalrot en verschilzetting. We adviseren bij deze gemeentes te inventariseren of er schademeldingen zijn geweest en of er schade aan infrastructuur is opgetreden.
- Inzicht in de mate waarin de droogte van 2018 schade aan stedelijk gebied heeft veroorzaakt. Bijvoorbeeld, door te evalueren of er groenschade is geweest in andere gemeenten en samen met gemeenten te verklaren waarom wel of geen schade is opgetreden door het neerslagtekort, grondwaterstanden en bodemvocht te beschouwen (voor zover bekend) en het groenbeheer tijdens de droogte.

Maatregelen en hun effectiviteit

In dit onderzoek is de effectiviteit van maatregelen beoordeeld aan de hand van de wetenschappelijke literatuur. Uit de inventarisatie blijkt dat de kennisbasis voor de effectiviteit van maatregelen nog beperkt is. We bevelen het volgende aan:

- Benut inzichten in de effectiviteit van maatregelen in de praktijk. Bijvoorbeeld, door in subsidies op effectiviteit te sturen en door gemeenten te helpen de effectiviteit van groenplannen inzichtelijk te maken.
- Breid de lijst van hitte en droogte maatregelen uit met wateroverlast en kwantificeer de effectiviteit. Dit doet meer recht aan het thema 'klimaatadaptatie' waarop de lijst met maatregelen van toepassing is.
- Meer inzicht is gewenst in de effectiviteit van maatregelen in het bestuurlijke en sociale domein, zoals de effectiviteit van subsidies, participatie en communicatie. Een dergelijke evaluatie zou bijvoorbeeld kunnen worden opgezet in samenwerking met Operatie Steenbreek, om daarmee binnen de provincie Overijssel meer zicht te krijgen de bijdrage aan en verbeterpunten voor klimaatadaptatie.

Geraadpleegde literatuur

- Antwoord van staatssecretaris Van Rijn (Volksgezondheid, Welzijn en Sport) op gestelde vragen, juli 2013. AH 2902 2013Z15220.
- Armson D., Stringer P., Ennos A.R., 2012. The effect of tree shade and grass on surface and globe temperatures in an urban area. *Urban Forestry & Urban Greening*, 11, 245-255.
- Artikel in voorbereiding. Meta-analyses of the drivers of climate change adaptation behaviour.
- Beekman W. en Calje R., 2018. Doorwerking droogte van 2018 in Overijssel. Voorspelling per eind september. Artesia – Water research unlimited, Schoonhoven, Projectnummer 18035098, 2018.
- Beersma J, Versteeg R., Hakvoort H., 2018. Neerslagstatistieken voor korte duren. Actualisatie 2018. KNMI en HKV lijn in water in opdracht van STOWA, rapport 2018-12.
- Blazejczyk K., Epstein Y., Jendritzky G., Staiger H., Tinz B., 2012. Comparison of UTCI to selected thermal indices. *Int. J. Biometeorol.*, 56 (2012), pp. 515-535.
- Bowler D.E., Buyung-Ali L., Knight T.M., Pullin A.S., 2010. Urban greening to cool towns and cities: a systematic review of the empirical evidence. *Landsc Urban Plan* 97(3),147–155.
- Braak D. ter, Grobde T., Heitbrink L., Lenne R. de, Worm B., 2019. Beleidsevaluatie Droogte 2018. Waterschap Vechtstromen, 15 januari 2019.
- Brandsma T., Wolters D., 2012. Measurement and Statistical Modeling of the Urban Heat Island of the City of Utrecht (the Netherlands). *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 51(6), 1046-1060.
- Brink M., 2013. Tegen de hitte. Groen en de opwarming van de stad. Royal HaskoningDHV in opdracht van gemeente Tilburg en Gemeente Sittard-Geleen. In het kader van EU Interreg Vlaanderen-Nederland. Drukkerij Tripiti, Rotterdam.
- Brolsma R., Boderie P., Graaff, M. de, Bonte M., Brand R., Wit, J. de, Hofman J., 2013. Combining water and energy supply. In opdracht van Kennis voor Klimaat. *Deltares*, 1202270-016.
- Brolsma, R., Buma, J., Meerten, H. van, Dionisio, M., Elbers, J., 2012 Effect van droogte op stedelijk gebied. Kennisinventarisatie. *Deltares*.
- Bruin H.A.R. de, en Stricker J.N.M., 2000. Evaporation of grass under non-restricted soil moisture conditions. *Hydrological Sciences* 45, 391-406.
- Budd, G. M., 2008. Wet-bulb globe temperature (WBGT) - its history and its limitations. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 11(1), 20-32.
- Buma J., Kuiper M., Geurts van Kessel S., Kooijman W., 2017. Grootchalig actief grondwaterpeilbeheer in bebouwd gebied. Fase 1, Studie naar technische en financiële haalbaarheid. *Deltares*, Wareco, Fugro in opdracht van Deltaprogramma Ruimtelijke Adaptatie.

- Cameron, R. W. F., Taylor, J. E. and Emmett M. R., 2014. What's 'cool' in the world of green façades? How plant choice influences the cooling properties of green walls. *Building and Environment* 73, 198-207.
- Canadell J., Jackson R.B., Ehleringer J.B. Mooney H.A., Sala O.E., Schulze - E.-D., 1996. Maximum rooting depth of vegetation types at the global scale. *Oecologia* 108: 583-595.
- CBS, 2018. Hitte heeft niet geleid tot veel meer sterfte. <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2018/33/hitte-heeft-niet-geleid-tot-veel-meer-sterfte>
- Cedeño Laurent J. G., Williams A., Oulhote Y., Zanobetti A., Allen J. G., Spengler J. D., 2018. Reduced cognitive function during a heat wave among residents of non-air-conditioned buildings: An observational study of young adults in the summer of 2016. *PLOS Medicine*, 15(7), e1002605.
- CIW (Coördinatiecommissie Integraal Waterbeleid), 2014. Nieuwe regelgeving voor bouwers en verbouwers. Slim omgaan met regenwater. http://www.integraalwaterbeleid.be/nl/over-ciw/oud/werking-ciw/publicaties/VMM%20folder_Hemelwaterverordening.pdf/at_download/file
- Cortese J., Lenzholzer S., Klok L., Jacobs C., Kluck, J., 2018. Cooling Urban Water Environments: Design Prototypes for Design Professionals. Proceedings of the 34th International Conference on Passive and Low Energy Architecture; Dec 10-12, 2018 Hong Kong, China (PLEA 2018: Smart and Healthy Within the Two-Degree Limit), 520-525.
- Cosoveanu, F., 2016. Spatial climate adaptation effects on human thermal comfort in urban areas: linking heat stress mitigation to urban water use. MSc Thesis report ESS-80836, Wageningen University, Wageningen.
- Daanen H.A.M., Simons M., Jansse S.A., 2010. De invloed van hitte op de gezondheid, toegespitst op de stad Rotterdam. TNO-DV 2010 D248. In opdracht van het ministerie van VROM.
- Damm E., 2013. Erfassungs und Optimierungsmöglichkeiten des Kühlungspotentials von Böden dargestellt an ausgewählten Wohn- und Parkflächen der Stadt Bottrop. Bsc thesis RWTH Aachen University. Dynaklim Publication 35.
- Daniels E.E., Lenderink G., Hutjes R.W., Holtslag A.A., 2016. Observed urban effects on precipitation along the Dutch West coast. *Int. J. Climatol*, 36: 2111-2119.
- Döpp S., Klok L., Janssen S., Jacobs C., Heusinkveld B., Kleerekoper L., Lenzholzer S., Broelsma R., Blocken B., Bosch P., Heijden M. van der, Daanen H., Timmermans H., Hensen J., Broeke H. ten, Klemm W., Uittenbroek C., 2011. Kennismontage Hitte in de Stad. Report TNO-060-UT-2011-01053, available from www.klimaatonderzoeknederland.nl. (Dutch text).
- Drooghmans R., Dagradi D., en Leeuw R. de, 2017. Stimuleren van bewoners tot het vergroenen van tuinen. Afstudeeronderzoek. In opdracht van Gemeente Pijnacker-Nootdorp, in het kader van Operatie Steenbreek. Hogeschool Inholland.

- Droste A.M., Steeneveld G.J., Holtslag A.A.M., 2018. Introducing the urban wind island effect. *Environmental Research Letters* 13 (2018) 9.
- European Environment Agency, 2017. Climate change impacts and vulnerabilities 2016. An indicator based report. EEA Report 1/2017, EEA, Copenhagen. 419 pp..
<https://www.eea.europa.eu/publications/climate-change-impacts-and-vulnerability-2016>.
- European Environment Agency, 2012. Urban adaptation to climate change in Europe: Challenges and opportunities for cities together with supportive national and European policies. EEA Report 2/2012, EEA, Copenhagen. 143 pp., doi:10.2800/41895.
- Factsheet Climate Proof Cities. Hittestress. Doelgroep: GGD, verzorgingstehuizen, ziekenhuizen.
- Federale Overheidsdienst Werkgelegenheid, Arbeid en Sociaal Overleg, 2019. Rechten van werknemers bij warm weer.
<http://www.werk.belgie.be/defaultTab.aspx?id=4702>
- Feenstra J., 2017. Het wordt steeds heter, hoe houden we de koeien koel? Veeteelt, Special Stalinrichting, April 2017, 20-25.
- Franck U., Kruger M., Schwarz N., Grossmann K., Roder S., Schlink U., 2013. Heat stress in urban areas: Indoor and outdoor temperatures in different urban structure types and subjectively reported well-being during a heat wave in the city of Leipzig. *Meteorologische Zeitschrift*, 22 (2), 167–177.
- Gehrels H., Meulen S. van der, Schasfoort F., Bosch P., Brotsma R., Dinther D. van, Geerling G., Goossens M., Jacobs C., Jong M. de, Kok S., Massop H., Osté L., Pérez-Soba M., Rovers V., Smit A., Verweij P., Vries B. de, Weijers E., 2016. Designing green and blue infrastructure to support healthy urban living. TO2 federatie, available from <http://www.adaptivecircularcities.com/downloads/>.
- Gomez F., Cueva A. P., Valcuende M., Matzarakis A., 2013. Research on ecological design to enhance comfort in open spaces of a city (Valencia, Spain). Utility of the physiological equivalent temperature (PET). *Ecological Engineering*, 57, 27-39.
- Gromke C.B., Blocken B., Janssen W.D., Merema B., Hooff T. van, Timmermans H.J.P., 2015. CFD analysis of transpirational cooling by vegetation: Case study for specific meteorological conditions during a heat wave in Arnhem, Netherlands. *Building and Environment*. doi:10.1016/j.buildenv.2014.04.022.
- Gunawardena K.R., Wells M.J., Kershaw T., 2017. Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity. *Science of The Total Environment*, 584–585, 1040-1055.
- Hagen B., Middel A., 2018. 50 Grades of Shade – Assessment of engineered and natural shade in hot dry communities.
<https://ams.confex.com/ams/ICUC10/meetingapp.cgi/Paper/343214>
- Helpdesk water, 2018. Rijksoverheid, Beschikbaar via:
<https://www.helpdeskwater.nl/actueel/@199804/verdringingsreeks/>
- Hendel M., Colombert M., Diab Y., Royon L., 2015. An analysis of pavement heat flux to optimize the water efficiency of a pavement-watering method. *Applied Thermal Engineering* 78, 658-669.

- Heusinkveld B.G., Steeneveld G.J., Hove L.W.A. van, Jacobs C.M.J., Holtslag A.A.M., 2014. Spatial variability of the Rotterdam urban heat island as influenced by urban land use. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 119, 677–692.
- Hiemstra J., 2018. Groen in de stad: soortentabel. <http://edepot.wur.nl/460539>
- Hoeven F.D. van der, Wandl A., 2014. Hotterdam. Hoe ruimte Rotterdam warmer maakt, hoe dat van invloed is op de gezondheid van de inwoners, en wat er aan te doen is. TU Delft, Faculteit Bouwkunde, Delft.
- Hoeven F.D. van der, Wandl A., 2018. Haagse Hitte: Het Haagse warmte-eiland in kaart gebracht. Delft, Nederland: TU Delft.
- Hooff T. van, Blocken B., Hensen J.L.M., Timmermans H.J.P., 2014. On the predicted effectiveness of climate adaptation measures for buildings. *Building and Environment* 82: 300-316.
- Hoogvliet M., Buma J., Brotsma R., Lange G. de., Landwehr H., Coenders-Gerrits M., Rutten P., Landa P., 2013. Naar een bestendige stedelijke waterbalans: studie van waterbalansveranderingen, gevoeligheid en maatregelen op wijkniveau. Deltares rapport 1206329-000.
- Hoogvliet M., Ven F. van de, Buma J., Oostrom N. van, Brotsma R., Filatova T., Verheijen J., Bosch P., 2012. Schades door watertekorten en -overschotten in stedelijk gebied. Quick scan van beschikbaarheid schadegetallen en mogelijkheden om schades te bepalen. Deltares.
- Hooimeijer, F.L., 2011. The tradition of making polder cities. Dissertatie. TU Delft.
- Höppe P., 1999. The physiological equivalent temperature—a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorology*, 43, 71-75.
- Hove B. van, Steeneveld G-J, Jacobs C., Heusinkveld B., Elbers Jan, Holtslag Bert, 2011. Quantifying the Urban Heat Island Intensity; Literature review of observational studies and assessment of UHI intensity in the Netherlands. Wageningen, Alterra, Alterra report 2170, 62 pp.
- Hove L.W.A. van, Jacobs C.M.J., Heusinkveld B.G., Elbers J.A., Driel B. van, Holtslag A.A.M., 2015. Temporal and spatial variability of urban heat island and thermal comfort within the Rotterdam agglomeration. *Build. Environ.*, 83, 91–103.
- Huynen M.M.T.E., Martens P., Schram D., Weijenberg M.P., Kunst A.E., 2001. The impact of heat waves and cold spells on mortality rates in the Dutch population: *Environmental Health Perspectives*, v. 109, p. 463-470.
- Jacobs A.F.G., Heusinkveld B.G., Kraai A., Paaijmans K.P., 2008. Diurnal temperature fluctuations in an artificial small shallow water body. *International Journal of Biometeorology*, 52(4), 271-280.
- Jacobs C.M.J., Klok E.J., Bruse M., Cortesão J., Lenzholzer S., Kluck J., 2019. Are urban water bodies really cooling? Submitted to *Urban Climate*.
- Jacobs C.M.J., Maat H.W. terElbers, J.A., Stuyt L.C.P.M., 2009. Conditionering van de Watertemperatuur in Buitenvijvers voor de Aquacultuur. Alterra Report, 90 pp., <http://edepot.wur.nl/176548>.
- Kjellstrom T., Briggs D., Freyberg C., Lemke B., Otto M., Hyatt O., 2016. Heat, Human Performance, and Occupational Health: A Key Issue for

- the Assessment of Global Climate Change Impacts. *Annual Review of Public Health*, 37(1), 97-112.
- Kleiweg E. en Co W. de, 2018. Handreiking aquathermie. In opdracht van STOWA, rapport 2018-47.
- Klemm W. 2018. Clever and Cool. Generating design guidelines for climate-responsive urban green infrastructure. PhD Thesis, Wageningen University. <http://edepot.wur.nl/453958>.
- Klemm W., Heusinkveld B.G., Lenzholzer S., Hove B. van, 2015a. Psychological and physical impact of urban green spaces on outdoor thermal comfort during summertime in The Netherlands. *Building and Environment*, 83, 120-128.
- Klemm W., Heusinkveld B.G., Lenzholzer S., Jacobs M.H., Hove B. van, 2015b. Street greenery and its physical and psychological impact on thermal comfort. *Landscape and Urban Planning*, 138, 87-98.
- Klemm W., Lenzholzer S., Brink, A. van den, 2018. Developing green infrastructure design guidelines for urban climate adaptation. *Journal of Landscape Architecture*, 12, 60-71.
- Klemm W., Lenzholzer S., Heusinkveld B., Hove B. van, 2013. Towards green design guidelines for thermally comfortable streets. In PLEA 2013.
- Klok E.J., Kluck J., 2018. Reasons to adapt to urban heat (in the Netherlands). *Urban Climate*, 23, 342-351.
- Klok L., Rood N., Kluck J., Kleerekoper L., 2019. Assessment of thermally comfortable urban spaces in Amsterdam during hot summer days. *International Journal of Biometeorology*, 63(2), 129-141.
- KNMI, 2014. KNMI'14-klimaatscenario's Kaarten, grafieken en tabellen, Beschikbaar via:
<http://www.klimaatscenarios.nl/getallen/overzicht.php?wel=neerslag>.
- Konings F., 2011. Preventie van uitdroging bij ouderen. GGD West Brabant.
- Kovats R.s., Hajat S., 2008. Heat Stress and Public Health: A Critical Review. *Annual Review of Public Health*, 29:41-55
- Kuypers V.H.M. en Vries, E.A. de, 2007. Groen voor lucht Van theorie naar groene praktijk, toepassingen om lucht te zuiveren. Alterra WUR in opdracht van het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit. Directie Regionale Zaken.
- KWR, 2013. Gietwatervoorziening glastuinbouw regio Haaglanden – kansrijke alternatieve gietwaterbronnen (syntheserapport). Rapport 094, November 2013.
- KWR, 2014. Temperatuur drinkwaterdistributienet verandert door verstedelijking en klimaatverandering. Beschikbaar via:
<https://www.kwrwater.nl/projecten/toekomstige-temperatuur-het-distributienet-onder-invloed-van-verstedelijking-en-klimaatverandering/>
- Le Grand A., Duijm F., Greven F., Loenhout J. van, Zuurbier M., Hoek G., 2014. Blootstelling aan hitte bij ouderen in stadswoningen. Rapport GGD Gelderland-Midden, GGD-Groningen en UU-IRAS.
<https://www.academischewerkplaatsmmk.nl/>
- Lenzholzer S., Hove B. van, 2015. Psychological and physical impact of urban green spaces on outdoor thermal comfort during summertime in The Netherlands. *Building and Environment*, 83, 120-128.

- Leusink E., 2018. Naar een kosteneffectieve aanpak van klimaatadaptatie in Nederland. White paper, Sweco.
- Linden C.G. van der, 2018. Aanhoudende droogte, hoe erg is dat? Internetartikel website WUR.
<https://www.wur.nl/nl/artikel/aanhoudende-droogte.htm>
- Loon A.F. van, 2013. On the propagation of drought: how climate and catchment characteristics influence hydrological drought development and recovery. PhD-thesis Wageningen University.
- Lurling M., Oosterhout J.F.X. van, Beekman W., 2010. Blauwalgen in stadswater. Verkennend onderzoek naar blauwalgenbloei in de woonomgeving. STOWA rapport 2010-20, STOWA, Amersfoort.
- Maat H. W. ter, Moors, E. J., Hutjes R. W. A., Holtslag A. A. M., Dolman A.J., 2013. Exploring the Impact of Land Cover and Topography on Rainfall Maxima in the Netherlands. *Journal of Hydrometeorology*, 14(2), 524-542.
- Matzarakis A., Amelung B., 2008. Chapter 9. Physiological Equivalent Temperature as Indicator for Impacts of Climate Change on Thermal Comfort of Humans. In: M.C. Thomson et al. (eds.), *Seasonal Forecasts, Climatic Change and Human Health*.
- Meer G. de, Aarts F., Broek I. van den, Bruggen M. van, Daanen H.A.M., 2012. GGD-richtlijn medische milieukunde Gezondheidsrisico's van zomerse omstandigheden. RIVM Rapport 609400007/2012. In opdracht van het ministerie van VWS.
- Mees H.L.P., Driessen P.P.J., Runhaar H.A.C., 2016. Exploring the Scope of Public and Private Responsibilities for Climate Adaptation. *Journal of Environmental Policy & Planning*, 14(3), 305-330.
- Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, 2018. Zomers warm: wanneer is het te warm om te werken? Nieuwsbericht 16-07-2018.
<https://www.arboportaal.nl/onderwerpen/warmte/nieuws/2018/05/28/zomers-warm-wanneer-is-het-te-warm-om-te-werken>
- Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, 2019. De Arbowet en werken in de warmte.
<https://www.arboportaal.nl/onderwerpen/warmte/de-arbowet-en-werken-in-de-warmte>.
- NHI, 2018. NHI: in 2019 hoger risico op watertekorten, H2O, november 2018. <https://www.h2owaternetwerk.nl/h2o-actueel/nhi-in-2019-hoger-risico-op-watertekorten>
- Nieuwsbrief Operatie Steenbreek, december 2018.
- Nikolopoulou M., 2011. Outdoor thermal comfort. *Frontiers in Bioscience*, S3, 1552-1568.
- Noordhoff/KNMI, 2011. De Bosatlas van het klimaat. Noordhoff Atlasproducties, Noordhoff, Groningen. www.klimaatatlas.nl.
- NVWA, 2018. Nationaal plan voor veetransport bij extreme temperaturen 2018. Versie 3.1. Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit.
- Obradovich, N., Migliorini, R., Mednick, S. C., & Fowler, J. H., 2017. Nighttime temperature and human sleep loss in a changing climate. *Science Advances*, 3(5), e1601555.
- Oke T.R., Mills G., Christen A., Voogt J.A., 2017. *Urban Climates*. Urban Climates. Cambridge University Press, Cambridge.

- Provincie Overijssel, 2017. Regionaal Adaptatie Plan Overijssel. Actief naar adaptief. December 2017.
- PWVE, 2018. Toolbox communicatie: Hitte, Beschikbaar via:
<https://www.pwve.nl/wp-content/uploads/2018/05/Toolbox-Hitte.pdf>.
- Ren C., Ng E.Y.-y., Katzschner L., 2011. Urban climatic map studies: a review. *International Journal of Climatology* 31: 2213-2233.
- Ren C., Spit T., Lenzholzer S., Yim, H.L.S., Heusinkveld B., Hove B. van, Chen L., Kupski S., Burghardt R., Katzschner L., 2012. Urban Climate Map System for Dutch spatial planning. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 18: 207-221.
- Rietkerk M., Hommes H., Mastop J., Dirven L., Schyns P., 2016. Klimaatbestendige tuinen – stap. Doorgronden: gedragsanalyse. Deltares, in opdracht van IenM DGRW – Stimuleringsprogramma Ruimtelijke Adaptatie.
- Ronda R.J., Steeneveld G.J., Heusinkveld B.G., Attema J.J., Holtslag A.A.M., 2017. Urban Finescale Forecasting Reveals Weather Conditions with Unprecedented Detail. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(12), 2675-2688.
- Rovers V., Bosch P., Albers R., 2014. Eindrapport Climate Proof Cities 2010-2014. TNO 129/2014.
- Schram D., 2015. Ziek door het veranderende klimaat. Stichting Biowetenschappen en Maatschappij. Publicatie op NEMO Kennislink op 29 september 2015, zie <https://www.nemokennislink.nl/publicaties/ziek-door-het-veranderende-klimaat/>
- Seppanen O., Fisk W.J., Faulkner D., 2004. Control of temperature for health and productivity in offices. *ASHRAE transactions*, 111(LBNL-55448).
- Shashua-Bar L., Pearlmutter D., Erell E., 2011. The influence of trees and grass on outdoor thermal comfort in a hot-arid environment. *International Journal of Climatology*, 3, 1498-1506.
- Sijsenaar A., 2016. Burgers dragen een steentje weg voor water Wat kan de gemeente Rotterdam doen om burgers te motiveren om een bijdrage te leveren aan de klimaatopgave van de stad? Masterscriptie. Erasmus Universiteit, Faculteit der Sociale Wetenschappen – Bestuurskunde.
- Slimen B., Najar T., Ghram A., Abdrrabba M., 2016. Heat stress effects on livestock: molecular, cellular and metabolic aspects, a review. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 100(2016) 401-412.
- Slingerland, J., 2012. Mitigation of the urban heat island effect by using water and vegetation. MSc thesis TUDelft. 87 pp.
- Solcerova A., Emmerik T. van, Hillegom K., Ven F. van de, Giesen N. van de, 2018. Ichimizu: A Cool(ing) Tradition to Locally Decrease Air Temperature. *Water*, 10, 741.
- Solcerova A., van de Ven F., Wang M., Rijdsdijk M., Giesen N. van de, 2017. Do green roofs cool the air? *Building and Environment*, 111(Supplement C), 249-255.
- Steeneveld G.J., Koopmans S., Heusinkveld B.G., Hove L.W.A. van, Holtslag A.A.M., 2011. Quantifying urban heat island effects and human comfort for cities of variable size and urban morphology in the Netherlands. *Journal of Geophysical Research* 116, D20129.

- STOWA, 2017. Deltafact Klimaatverandering / grondwaterbeheer stedelijk gebied.
- Taleghani M., Berardi U., 2018. The effect of pavement characteristics on pedestrians' thermal comfort in Toronto. *Urban Climate*, 24, 449-459.
- Teli D., Jentsch M.F., James P.A.B., Bahaj A.S., 2012. Field study on thermal comfort in a UK primary school. *Proceedings of 7th Windsor Conference: The changing context of comfort in an unpredictable world Cumberland Lodge, Windsor, UK, 12-15 April 2012*. London: Network for Comfort and Energy Use in Buildings.
- Teuling A.J., Seneviratne S.I., Stockli R., Reichstein M., Moors E., Ciais P., Wohlfahrt, G., 2010. Contrasting response of European forest and grassland energy exchange to heatwaves. *Nature Geoscience* 3, 722-727.
- Theeuwes N.E., Solcerová A., Steeneveld, G.J., 2013. Modeling the influence of open water surfaces on the summertime temperature and thermal comfort in the city. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(16), 8881-8896.
- Theeuwes N.E., Steeneveld G.J., Ronda R.J., Heusinkveld B.G., Hove L.W.A. van, Holtslag A.A.M., 2014. Seasonal dependence of the urban heat island on the street canyon aspect ratio. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 140(684), 2197-2210.
- Theeuwes N.E., Steeneveld G.-J., Ronda R.J., Holtslag A.A.M., 2017. A diagnostic equation for the daily maximum urban heat island effect for cities in northwestern Europe. *International Journal of Climatology* 37: 443-454.
- Vliet M.T.H. van, Wiberg D., Leduc S., Riahi K., 2016. Power-generation system vulnerability and adaptation to changes in climate and water resources. *Nature Climate Change*, 6(4), 375-380.
- Voogt J.A., Oke T.R., 2003. Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, 86(3), 370-384.
- Wang Y., Groot R. de, Bakker F., Wörtche H. J. & Leemans R., 2017. Thermal comfort in urban green spaces: a survey on a Dutch university campus. *International Journal of Biometeorology*, 61(1), 87-101. DOI: 10.1007/s00484-016-1193-0.
- Website NKWK. Droge Kost. Kenniskrant voor een Klimaat-bestendige Stad. Bezocht in maart 2019.
<https://waterenklimaat.nl/onderzoeklijnen/klimaatbestendige-stad/kenniskrant-klimaatbestendige-stad/droge-kost/droogte-is-onderschat-klimaateffect/>
- Wilschut L., Jacobs C., Vrouwe A., Heideveld M., Kluck J., 2018. Verdiepen in warmer water: een modelstudie naar watertemperaturen en het effect van diepte. <https://www.h2owaternetwerk.nl/vakartikelen/2125-verdiepen-in-warmer-water-eeen-modelstudie-naar-watertemperaturen-en-het-effect-van-diepte>.
- Wong N.H., Kwang Tan A.Y., 2010. Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Building and Environment* 45, 663-672.
- Wuijts S., Grinten E. van der, Meijers E., Bak-Eijsberg C.I., Zwolsman J.J.G., 2014. Impact klimaat op oppervlaktewater als bron voor drinkwater : Van knelpunten naar maatregelen. RIVM, Rapportnummer 609716007.

- WUR (Wageningen University and Research), 2017. Groene daken zorgen voor meer leefbare steden. <https://www.wur.nl/nl/nieuws/Groene-daken-zorgen-voor-meer-leefbare-steden.htm>.
- Xue, F., Li X., Ma J., Zhang Z., 2015. Modeling the influence of fountain on urban microclimate. *Building Simulation* 8, 285-295.
- Zarea S., Hasheminejada N., Shirvanb H.E., Hemmatjoc R., Sarebanzadehb K., Ahmadi S., 2018. Comparing Universal Thermal Climate Index (UTCI) with selected thermal indices / environmental parameters during 12 months of the year. *Weather and Climate Extremes*, 19, 49-57.

Internetpagina's

- <https://nl.urbangreenbluegrids.com/measures/flexible-water-level-management-2>
- <https://ruimtelijkeadaptatie.nl/stresstest/bijsluiter/hitte/>
- <https://ruimtelijkeadaptatie.nl/voorbeelden/@168824/hittestress-zeeland/>
- <http://spei.csic.es/home.html>
- <https://waterberichtgeving.rws.nl/water-en-weer/actuele-overzichten-watersystemen/twentekanalen>
- http://www.bom.gov.au/info/thermal_stress
- <https://www.energy.gov/energysaver/room-air-conditioners>
- <http://climatelier.net/projects/research/realcool-really-cooling-water-bodies-in-cities/>
- <https://www.epa.gov/heat-islands>
- <https://www.gebiedsontwikkeling.nu/artikelen/van-postzegeloplossingen-naar-robuuste-waterstructuur-in-emmen/>
- <https://www.hhdelfland.nl/inwoner/natte-sokken-2019>
- <https://www.huisjeboompjebeter.nl/>
- <https://www.gddiergezondheid.nl/hittestress-rundvee>
- <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/droogte>
- <https://www.levendehave.nl/dierenwikis/algemeen/wat-hittestress>
- <https://www.mijnbalansventilatie.nl/over-mijnbalansventilatie-nl/>
- <https://www.arboportaal.nl/onderwerpen/warmte/nieuws/2018/05/28/zomer-s-warm-wanneer-is-het-te-warm-om-te-werken>
- <https://www.operatiesteenbreek.nl/>
- <https://www.operatiesteenbreek.nl/overijssel-ook-bij-operatie-steenbreek/>
- <https://www.rivm.nl/hitte/kinderdagverblijven-en-scholen>
- <https://www.rivm.nl/hitte/wat-doet-rivm>
- <https://www.wdodelta.nl/@25839/evaluatie-droogte/>
- <https://nl.wikipedia.org/wiki/Dorp>

Persoonlijke communicatie en interviews

- Interview met G. Lenderink, KNMI.
- Interview met F.D. van der Hoeven, TU-Delft.
- Interview met C. van der Weyde en I. Klein, 2018, Hogeschool Van Hall Larenstein, Kenniscentrum Burgers en Biodiversiteit.
- Interview met J. Kluck, 2018, Hogeschool van Amsterdam.
- Pers. mededeling A. Middel (2018)

Bijlagen

Bijlage 1: Factsheets

Factsheet A: Openbare ruimte

Basismechanismen om de publieke ruimte te koelen zijn verdamping, ventilatie en schaduw. Verdamping door bijvoorbeeld bomen en vegetatie in parken werkt vooral dóór in de achtergrondtemperatuur, via reductie van het stedelijk hitte eiland en bij grote groene structuren ook op wijkniveau via aanvoer van koelte uit parken. Schaduw werkt in de eerste plaats lokaal of op microschaal via de gevoelstemperatuur. Ventilatie (wind) kan grootschalig en kleinschalig voor verkoeling zorgen. Vaak grijpen deze principes in elkaar. Ook grondwaterstanden en bodemvochtgehalten zijn van belang, om schade door droogte te beperken en verdamping op peil te houden.

Bij de beoordeelde effectiviteit van deze maatregelen gaat het om:

1. de invloed op het stedelijke hitte eiland effect en de daarmee samenhangende nachtelijke minimumtemperatuur in de stad. Dit kan opgevat worden als een reductie van de achtergrondtemperatuur op de lokale tot regionale schaal, van wijken tot steden;
2. de reductie van de luchttemperatuur en de gevoelstemperatuur op microschaal. Dit behelst vaak het voorzien in koele en beschaduwde plekken in de buitenruimte overdag. Dit hoeft niet aaneengesloten te zijn, maar het is wel prettig als er in de buurt van huizen en kantoren een snel te bereiken aangename buitenruimte aanwezig is tijdens hittegolven;
3. de oppervlaktetemperatuur van de fysieke omgeving;
4. het beïnvloeden van grondwaterstanden, om gevolgen van neerslagtekorten te beperken.

A.1 Wind en ventilatie

Maatregelen om ventilatie in de openbare ruimte te bevorderen zijn

- Oriëntatie en dichtheid van gebouwen
- Oriëntatie van verkeerswegen, waterwegen en open groene gebieden

Een grotere windsnelheid tijdens zomerse dagen bevordert thermisch comfort door verlaging van de gevoelstemperatuur. De gemiddelde gemeten windsnelheid in de stad is aanzienlijk lager (40-65%) dan in het rurale gebied.¹⁴³ De **oriëntatie van gebouwen** en de **dichtheid van gebouwen** is hierbij een belangrijke factor. Gebouwen die dwars op de windrichting liggen blokkeren de ventilerende werking van wind. Als gebouwen dicht bij elkaar staan is er veel schaduw maar blijft opgeslagen warmte tussen de gebouwen langer hangen. **Vrije banen** waarlangs de wind de stad kan binnenkomen zijn autowegen, en waterwegen of open groene gebieden.



Omdat de overheersende windrichting bij hitte oost tot zuid is komt eventuele koelte, maar ook warmte, dus ook uit die richting. Op grotere schaal zijn oostelijk (bovenwinds) geïmplementeerde maatregelen dus het effectiefst. Ventilatiecorridors die op de richting van de overheersende wind georiënteerd zijn kunnen helpen stedelijk gebied te verkoelen.¹⁴⁴ Denk daarbij aan relatief gladde oppervlakken zoals rivieren en uitgestrekte natte weilanden. In de praktijk zijn de mogelijkheden om hiermee rekening te houden echter beperkt. Grote, natuurlijke watersystemen zoals rivieren en meren beschouwen we als onderdeel van de geografische context. Tijdens warm weer kunnen grotere wateroppervlakken zowel verkoelend (overdag; begin zomer) als verwarmend ('s nachts; nazomer) werken. Ze bieden ruimte voor ventilatie van de stadsdelen grenzend aan het water¹⁴⁵, afhankelijk van de ligging ten opzichte de windrichting bij hitte.

Straten (zonder verdere obstructie van luchtstroming door bomen en andere obstakels) hebben een optimale verhouding voor schaduw- én ventilatiewerking wanneer zij ongeveer even breed zijn als de gebouwen aan weerszijden hoog ($H/B=1$, met H de gebouwhoogte en B de straatbreedte, ook wel canyonbreedte genoemd). Bredere straten ventileren beter, maar bieden tegelijkertijd minder schaduw. Smalle straten ventileren minder, maar bieden relatief veel schaduw. Relatief smalle straten met hoge gebouwen blijven overdag koeler vanwege de schaduw, maar na zonsondergang blijft warmte die overdag (via multireflectie) is opgeslagen langer tussen de gebouwen hangen. De afkoeling via uitzending van infrarood (warmte)straling is minder en de onderste luchtlaag heeft weinig uitwisseling heeft met de laag erboven.¹⁴⁶ Ook oriëntatie van de straat ten opzichte van de windrichting is van belang voor ventilatie (en schaduwwerking). Bij totale herstructurering van wijken of bij de inrichting van nieuwe wijken kan het zinvol zijn rekening te houden met de overheersende windrichting bij hitte. Straten die met een oost-west oriëntatie worden aangelegd laten bij wind uit het oosten meer ventilatie toe en bieden aan de zuidkant schaduw rond het heetste moment van de dag. Nadeel is, dat ook bij extreme kou de overheersende windrichting vaak oost is en dat straten dan onaangenaam koud kunnen worden.

Maatregel	Hitte	Droogte	Effectiviteit	Haalbaar	Toelichting
Water-wegen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	+	G	Waterwegen zoals rivieren, kanalen en grachten vergroten in potentie de ventilatie, mits de oriëntatie op bij hittegolven overheersende windrichting is. Waterwegen zorgen aan weerszijden ook voor aanvulling van grondwater tijdens droogte.
Verkeers-wegen, open velden	<input checked="" type="checkbox"/>		+	G	Verkeerswegen vergroten in potentie de ventilatie, mits de oriëntatie op bij hittegolven overheersende windrichting is. Door haagbeuken of iepen aan de zuidzijde te plaatsen ten behoeve van de schaduwwerking, ontstaan groene corridors. Ook open groene gebieden zoals sportvelden en open parken vergroten de ventilatie. ¹⁴⁷
Oriëntatie en dichtheid van gebouwen	<input checked="" type="checkbox"/>		+	G	De verhouding tussen gebouwhoogte en straatbreedte beïnvloedt het transport van warmte binnen de straat. De optimale verhouding tussen gebouwhoogte en straatbreedte lijkt rond de 1 te liggen. ¹⁴⁸

Indicatie effectiviteit

Gevoelstemperatuur: In juli 2010 varieerde in Rotterdam de gemiddelde windsnelheid op 12 meetpunten, bepaald tussen 6 en 22 uur, tussen ongeveer 0.7 en 2.9 m/s. Over deze range en voor deze waarnemingstijden nam het percentage uren met kans op enige mate van hittestress ($PET > 23^{\circ}\text{C}$) lineair af van ongeveer 38% tot 18%, dus ongeveer 9 procentpunt per m/s.¹⁴⁹

Schaalniveau

gebouw straat wijk stad regio

A.2 Groene maatregelen

Groene maatregelen omvatten:

- Lage vegetatie / gras
- Verticale groene façade
- Bomenrij in straten of langs water
- Park

Toepassen van groene maatregelen helpt hitte tegen te gaan via **schaduw en verdamping**.

Schaduwwerking is uiteraard alleen relevant bij bomen en grote struiken. Schaduw werkt vooral lokaal en zorgt voor een forse **reductie van de gevoelstemperatuur** ten opzichte van een plek in de zon. Schaduw vermindert opwarming van wegen, water, gebouwen en grond door **afscherming voor directe zonnestraling**. Beschaduwing van water in de stad en op het platteland zorgt ervoor dat de watertemperatuur in sloten overdag minder oploopt. Mits de afkoeling in de nacht behouden blijft helpt schaduw zo het zuurstofgehalte op peil te houden en negatieve effecten op aquatische flora en fauna te beperken.

Verdamping van water door vegetatie helpt directe **opwarming van de lucht te voorkomen** mits voldoende water beschikbaar is. Het effect van verdamping wordt merkbaar bij toepassing van grote groenoppervlakken, dan wel veel bomen. Bomen kunnen water vasthouden tijdens buien. Meer water kan infiltreren bij halfopen verharding onder de boom en in onverharde, beplante bodems. Het bodemvochtgehalte neemt toe door verbeterde infiltratie in semi-verharde gebieden, wat helpt de verdamping op peil te houden.



Groenoppervlak. In Nederland geldt als vuistregel dat 10% groenoppervlak op de lokale tot regionale schaal overeenkomt met een reductie van het hitte-eiland met $\sim 0.6^\circ\text{C}$ op wijk- tot stadsschaal.¹⁵⁰ Zelfs een dergelijke kleine reductie kan van belang zijn omdat vooral nachttemperaturen van invloed zijn op slaapkwaliteit en daarmee op gezondheid en deels ook op arbeidsproductiviteit. Voor dit verdampingseffect lijkt het type groen tamelijk onbelangrijk, zolang het maar voldoende verdampt. Op microschaal is het verdampingseffect vaak miniem, maar grotere parken kunnen wel effectief zijn.¹⁵¹ Ook goed verdampende groene daken kunnen bijdragen aan verdampingskoeling op grote schaal. Op microschaal en op straatniveau is het effect van groene daken echter nauwelijks merkbaar.¹⁵²

Bomen zorgen voor verdamping én schaduw, mits goed verzorgd. Tijdens hitte en droogte verdampen bomen dankzij hun diepe wortels langer door dan lagere vegetatie¹⁵³ en ze blijven meestal schaduw bieden. Het kan verstandig zijn om droogteresistente boomsoorten te kiezen, vooral op plekken waar schaduwwerking in stand moet blijven.¹⁵⁴ In de droge zomer van 2018 moesten sommige bomen vanwege de droogte verdwijnen of verloren hun blad. Het verdampingseffect van één boom is ook lokaal nauwelijks meetbaar, maar veel bomen kunnen op grotere schaal een aanzienlijk bijdrage leveren.¹⁵⁵

Lage vegetatie/gras/bomen. Het verdampingseffect van lage en goed van water voorziene vegetatie zoals gras kan soms groter zijn dan van een boom, maar is desondanks op microschaal nauwelijks meetbaar¹⁵⁶. Uit metingen buiten stedelijk gebied is naar voren gekomen dat grasland hitte vooral aan het begin van een hete en droge periode beter dempt dan bomen, maar dat bomen dit effect in een later stadium overnemen.¹⁵⁷ Dit is vooral te danken aan de diepe beworteling van bomen. Of dat ook in een stad zo werkt moet nog onderzocht worden. Eventueel verstoorte bodemprofielen onder een stad kunnen het vermogen om water beschikbaar te houden aantasten¹⁵⁸ waardoor beworteling en watervraag mogelijk anders verlopen. Ook wordt de **beworteling van bomen** vaak fysiek beperkt op hun standplaats door de boomspiegel. Bij gras moet de vochtvoorziening op peil worden gehouden omdat gras niet diep wortelt (ca. 30 cm). Dit kan in tijden van droogte een probleem zijn. Een goede bodemopbouw met voldoende watervasthoudend vermogen kan helpen om langer in de waterbehoefte van gras en andere lage vegetatie te kunnen voorzien.

Het effect van verdamping op de luchttemperatuur wordt doorgaans pas merkbaar bij toepassing van veel groen. Microschaal effecten zijn vaak miniem. Belangrijker op die schaal is het schaduwseffect. Schaduw verlaagt de gevoelstemperatuur lokaal sterk en draagt zo bij aan de leefbaarheid.

Teveel bomen. Hogere en ruwere structuren kunnen wel de ventilatie belemmeren. Verder kunnen teveel boomkronen de nachtelijke afkoeling van een straat of plein door uitwisseling van warmtestraling verhinderen. Bij voldoende ruimte tussen de bomen blijven ventilatie en nachtelijke afkoeling door straling behouden. Dit komt ook ten goede aan de luchtkwaliteit.

Pergola's kunnen voor de beschaduwing net zo effectief zijn als bomen en zijn soms geschikt op plaatsen waar bomen minder gewenst zijn, bijvoorbeeld door een beperkte beschikbare ruimte of door het ongewenst zijn van hoge begroeiing bij zonnepanelen.

Beleving. Groen kan ook bijdragen aan verkoeling via een psychologisch effect. Mensen die naar groen kijken neigen de omgeving koeler te beoordelen, zelfs als er geen verkoeling meetbaar is. Afwisseling van groen kan dit psychologisch effect versterken en zorgt bovendien voor diversiteit in verkoelingsaanbod.¹⁵⁹

Richtlijnen voor een groene inrichting op het niveau van straten, parken en steden zijn te vinden in verschillende studies.¹⁶⁰

Maatregel	Hitte	Droogte	Effectiviteit	Haalbaar	Toelichting
Lage vegetatie / gras	<input checked="" type="checkbox"/>		+	G	De verdamping van lage vegetatie is in het voorjaar mogelijk groter dan van een boom. Bij gras moet de vochtvoorziening op peil worden gehouden. Een goede bodemopbouw is hierbij van belang. Effectiviteit geldt voor regionale (stadsschaal), dus ook voor toepassen vegetatie op die schaal.

Groene gevel / façade	<input checked="" type="checkbox"/>		+	G	Waarschijnlijk is het belangrijkste verkoelende effect van groene gevels gebaseerd op schaduw (zie ook A3), die de muren koel houdt. Dit principe draagt ook bij aan verlaging van het stedelijk hitte-eiland. Er lijkt echter geen merkbaar effect op de luchttemperatuur in het gebouw en een beperkt lokaal effect op de luchttemperatuur buiten. ¹⁶¹ De beleving van warmte wordt wel positief beïnvloed. ¹⁶²
Bomenrij in straten of langs water	<input checked="" type="checkbox"/>		++	S	Straten of water warmen minder sterk op waardoor minder warmte wordt opgeslagen. Een bomenrij verlaagt de luchttemperatuur een beetje. Vooral de gevoelstemperatuur verbetert sterk door schaduwwerking. Beleving verbetert mede door waardering van groen. Of er ruimte is voor bomenrijen hangt ook af van de ondergrondse infrastructuur (riolering, kabels, leidingen).
Park	<input checked="" type="checkbox"/>		++	S	Thermisch effect hangt vooral af van bedekking door boomkronen en bovenwindse groenfractie. Verdamping in parken vermindert opwarming van de omgeving. Bomen kunnen grondwater gebruiken voor verdamping en leveren schaduw. Bij verminderde beschikbaarheid van grondwater (droogte) neemt de verdamping van bomen af. De aanleg van een park hangt van de specifieke omstandigheden in een wijk af.
<p>Indicatie effectiviteit</p> <p><u>Groenoppervlak</u>: 10% groenoppervlak op de lokale tot regionale schaal overeenkomt met een reductie van het hitte-eiland met ~0.6°C (luchttemperatuur) op wijk- tot stadsschaal.</p> <p><u>Straatbomen</u>: uit simulaties in het stadscentrum van Arnhem werd een reductie in de gemiddelde en maximale luchttemperatuur van respectievelijk 0.6°C en 1.6°C berekend, in vergelijking met de situatie zonder bomen in de straat.¹⁶³ Bakfietsmeting in Utrecht toonden slechts een gering effect op de luchttemperatuur.¹⁶⁴ Simulaties laten zien dat lokaal, onder een boomkroon, een reductie van de gevoelstemperatuur, PET, tot 10 à 12°C mogelijk is op een zonnige, tropische dag.¹⁶⁵ Metingen op schaduwrijke plekken in Amsterdam laten hier en daar zelfs een reductie van PET tot 19°C zien.¹⁶⁶</p> <p><u>Park</u>: Op zomerse dagen kan het in een klein park 3 °C koeler zijn dan in het aangrenzende bebouwde gebied. De luchttemperatuur is daarmee gelijk aan de temperatuur buiten de stad. De invloed van het 'Park Cool Island' effect op de aangrenzende bebouwde omgeving is echter gering.¹⁶⁷</p> <p><u>Beleving</u>: Mensen vinden groene straten mooier, vooral door groen op ooghoogte en bij afwisselend groen, en hebben de neiging deze koeler te vinden.</p>					
<p>Schaalniveau</p> <p><input type="checkbox"/> gebouw <input checked="" type="checkbox"/> straat <input checked="" type="checkbox"/> wijk <input checked="" type="checkbox"/> stad <input type="checkbox"/> Regio</p>					

A.3 Schaduw

Maatregelen om schaduw te creëren zijn:

- Hoge gebouwen
- Laanbeplanting
- Textieldoeken en andere schaduwvormers

Schaduw is verreweg het belangrijkste verkoelende mechanisme op een heldere warme zomerdag. Het effect van schaduw op de luchttemperatuur is indirect en vrij klein, maar de gevoelstemperatuur wordt des te meer beïnvloed.¹⁶⁸ Schaduw heeft ook een belangrijk effect op de oppervlaktetemperatuur. Zo is aangetoond dat het verschil in oppervlaktetemperatuur door schaduw van bomen velen °C kan bedragen.¹⁶⁹ Ook dit draagt (in theorie) enigszins bij aan verlaging van de gevoelstemperatuur¹⁷⁰, maar dit effect is soms nauwelijks of niet meetbaar.¹⁷¹



Voor het effect van schaduw op gevoelstemperatuur lijkt het schaduwmechanisme in eerste instantie van ondergeschikt belang.¹⁷² Tot nu toe ongepubliceerd Amerikaans onderzoek laat echter verschillen zien tussen soorten schaduw. **Dikke structuren zoals bruggen en viaducten** blijven vooral in het begin van het zomerseizoen relatief koel, zodat de schaduw daar volgens (een beperkt aantal) metingen het beste lijkt te werken.¹⁷³ Later in de zomer zijn ook zulke structuren opgewarmd en is het effect mogelijk kleiner. Beschaduwden van straten met **doeken of andere schaduwvormers** kan ook tot een verlaging van de gevoelstemperatuur leiden. **Witte kleuren en dunne materialen** verdienen daarbij waarschijnlijk de voorkeur omdat die minder opwarmen dan donkere, wat dikkere doeken. De opwarming van materialen leidt tot extra infrarood straling. In die zin verdienen **bomen** wellicht de voorkeur omdat die via transpiratie hun eigen temperatuur relatief laag houden.¹⁷⁴ Daarnaast kan op sommige plekken schaduw gebruikt worden om kritische onderdelen van de infrastructuur te beschermen, bijvoorbeeld wissels en stukken van het wegdek. Smalle straten en **hoge gebouwen** hebben een groot effect op hitte via schaduwwerking.¹⁷⁵ De ventilatie in zulke straten is echter beperkt¹⁷⁶, evenals de afkoeling in de nacht.¹⁷⁷ Bovendien wordt in een land als Nederland het lichtklimaat in de winter ongunstig, wegens de laagstaande zon (in vergelijking met meer zuidelijke landen).

Maatregel	Hitte	Droogte	Effectiviteit	Haalbaar	Toelichting
Hoge gebouwen	<input checked="" type="checkbox"/>		+	G	Hoge gebouwen i.c.m. smalle straten schermen de muren van andere gebouwen af voor directe zonnestraling. Deze warmen daardoor minder op. ¹⁷⁸ Een nadeel van hoge gebouwen is, dat na zonsondergang de thermische uitstraling van gebouwen naar de atmosfeer ('long-wave trapping') wordt beperkt zodat het langer warm blijft. Ook obstructie van wind zorgt voor verminderde afkoeling. ¹⁷⁹
Laanbeplanting	<input checked="" type="checkbox"/>		++	G	Straatbomen zijn het meest effectief in het reduceren van hitte door het effect van schaduw op gevoelstemperatuur. Laanbeplanting zorgt er ook voor dat directe zonnestraling (water)wegen minder sterk opwarmt. Daardoor geven de (water)wegen 's nacht minder warmte af, zodat de omgeving beter kan afkoelen. Daarnaast draagt laanbeplanting bij aan (enige) verdampingskoeling.
Textieldoeken	<input checked="" type="checkbox"/>		+	G	Textieldoeken boven straten zorgen voor schaduw in de straat. Daardoor warmt het wegdek minder op en is het minder onaangenaam. 's Nachts moeten textieldoeken boven straten worden opgevouwen om afkoeling niet te hinderen. Textieldoeken kunnen ook worden toegepast voor beschaduwing van muren en daken.

Indicatie effectiviteit

Oppervlaktetemperatuur: in schaduw van bomen kan de oppervlaktetemperatuur van harde, niet-verdampende oppervlakken tot 20 °C lager zijn dan in de zon.¹⁸⁰

Gevoelstemperatuur: Volgens simulaties kan PET in de schaduw van een boom tot rond 10 °C lager zijn¹⁸¹, volgens metingen op schaduwrijke plekken in Amsterdam zelfs meer, tot bijna 20 °C.¹⁸²

Schaalniveau

- gebouw
 straat
 wijk
 stad
 Regio

A.4 Koelen van wegverharding

Maatregelen om wegverharding te koelen zijn:

- Half-open verharding
- Licht-gekleurde weg-verharding
- Water opbrengen

Koeling van wegverharding en andere objecten kan ook bijdragen aan hittestmitigatie. Verstening van steden is een van de belangrijkste oorzaken van de vorming van het stedelijk hitte-eiland.¹⁸³ Deze trend is zichtbaar in heel Europa.¹⁸⁴ Initiatieven als "Operatie Steenbreek" proberen de trend te keren en verdampend groen terug te brengen.



Bij gegeven verharding zijn er mogelijkheden om te koelen via het toepassen van **lichtere materialen**. Dit voorkomt opwarming van de materialen en daarmee een deel van de opbouw van het stedelijk hitte-eiland en reduceert bovendien uitzending van warmtestraling. Omdat de zonnestraling echter gereflecteerd wordt is er overdag mogelijk een negatief effect op de gevoelstemperatuur, dat de afkoeling van de luchttemperatuur en de vermindering van de warmtestraling overdag teniet kan doen.¹⁸⁵

Ook zijn er soms mogelijkheden om **half-open verharding** aan te brengen die groei van planten toelaat. Dit zorgt voor enige verdampingskoeling maar vooral voor verlaging van de oppervlaktetemperatuur. Het effect daarvan op de gevoelstemperatuur op enige hoogte boven het oppervlak is waarschijnlijk echter beperkt.¹⁸⁶

Verharding kan ook gekoeld worden door **water op te brengen**. Dit staat ook wel bekend als "Ichimizu", Japans voor "water gooien".¹⁸⁷ Voor een optimale verkoeling zonder onnodig waterverbruik is een goede timing gewenst.¹⁸⁸ Ook onder Nederlandse omstandigheden is verkoeling via deze techniek vastgesteld, maar het effect is wisselend en hangt af van de meteorologische omstandigheden en de hoeveelheid water die wordt opgebracht. In termen van gevoelstemperatuur wordt verkoeling van de lucht nauwelijks teniet gedaan door verhoging van de luchtvochtigheid.¹⁸⁹ In Nederland is nog te weinig ervaring opgedaan om over het netto effect an Ichimizu een gefundeerde uitspraak te kunnen doen. Verder vraagt deze maatregel mogelijk veel water, wat in tijden van droogte ongewenst kan zijn.¹⁹⁰

Maatregel	Hitte	Droogte	Effectiviteit	Haalbaar	Toelichting
Half-open verharding	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	+	G	Door verharding van wegen in stedelijk gebied semi-permeabel te maken kan meer regenwater infiltreren. Dit zorgt voor een hogere grondwaterstand in stedelijk gebied en lagere omgevingstemperaturen. Zie ook A6. Effect op gevoelstemperatuur is gering. ¹⁹¹
Licht-gekleurde weg-verharding	<input checked="" type="checkbox"/>		+/-	G	Reflectie van wegen vermindert warmte absorptie en daarmee is de warmteafgifte 's nachts geringer. EPA ¹⁹² stelt dat als de wegdek reflectie in een stad wordt vergroot van 10 naar 35% de luchttemperatuur potentieel met 0.6°C afneemt. Effect op gevoelstemperatuur is gering of negatief. ¹⁹³
Water opbrengen	<input checked="" type="checkbox"/>		+/-	S	In eerste instantie verkoeling van het oppervlak en afname van de oppervlaktetemperatuur. Effect dringt door tot op enige hoogte maar hangt sterk af van de omstandigheden. Door verdamping neemt luchtvochtigheid toe maar het effect op gevoelstemperatuur lijkt vooralsnog gering. ¹⁹⁴ Kost mogelijk veel water, netto effect in Nederland nog niet goed vastgesteld.

Indicatie effectiviteit

Oppervlaktetemperatuur: toename van de fractie totaal verhard oppervlak met 10% zorgt voor een gemiddeld 0.7°C hogere oppervlaktetemperatuur en een toename van de mediane luchttemperatuur met 0.25°C.¹⁹⁵

Schaalniveau

- gebouw
 straat
 wijk
 stad
 Regio

A.5 Waterelementen

Maatregelen om met oppervlaktewater te koelen zijn:

- Stadsbeek / gracht
- Vijver / waterplein
- Fontein / sprinklers

Onder waterelementen verstaan we hier relatief kleine waterlichamen die in principe in stedelijk ontwerp meegenomen kunnen worden en daarmee als maatregel kunnen worden beschouwd. Naast soms fysiek voelbare koeling kunnen waterelementen net als een boom "psychologische verkoeling" bieden.¹⁹⁶ In die zin dragen waterlichamen vooral bij aan leefbaarheid van de stad. Ze kunnen de waterbergingscapaciteit aanzienlijk vergroten en kunnen soms worden gebruikt voor de watervoorziening van het groen in de buurt.



In de stedelijke omgeving hebben **waterelementen zoals grachten en vijvers** nauwelijks invloed op de luchttemperatuur via het water zelf. Daarvoor zijn ze te klein. Dit betekent dat de verkoeling via het water overdag gering is, maar eventuele opwarming in de nacht (een vaak verondersteld negatief effect) ook.¹⁹⁷ De fysiek soms merkbare verkoeling overdag in de buurt van water hangt vooral samen met het feit dat **stadswater ruimte biedt voor ventilatie en het plaatsen van bomen voor schaduw**.¹⁹⁸ Een in 3D animaties gevatte Engelstalige beschrijving van verkoelende principes rond typisch Nederlandse stadswateren is te vinden via de website van Climatelier.¹⁹⁹

De sterkste verkoeling door water verloopt wellicht direct contact. Om direct contact te bevorderen kunnen waterlichamen zo ontworpen worden dat ze uitnodigen tot **pootje baden en zwemmen**, uiteraard mits de waterkwaliteit gewaarborgd is.²⁰⁰ **Fonteinen en sprinklers** hebben vooral lokaal een aantoonbaar verkoelend effect²⁰¹ en zijn soms ontworpen voor direct contact. Let ook hier bij toepassing op behoud waterkwaliteit ivm gezondheid.

Om de waterkwaliteit te waarborgen kan het helpen om de watertemperatuur laag te houden. In zoverre er sprake is van omgevingskoeling door het water zou dit ook helpen het potentieel hiervoor in stand te houden. Koeling van het water kan het beste gebeuren door **koel water van elders** aan te voeren of door **warmte rechtstreeks aan het water te onttrekken**, bijvoorbeeld voor energievoorziening (TEO, Thermische Energie uit Oppervlaktewater)²⁰². Verdiepen van waterlichamen heeft niet altijd het gewenste effect op de watertemperatuur. De dagelijkse gang van de watertemperatuur wordt weliswaar beperkt en leidt tot een verlaging van de maximum watertemperatuur, maar de minima blijven hoger. De gemiddelde temperatuur kan daardoor stijgen en de lengte van periodes met te warm water eveneens.²⁰³ Verbreden helpt weinig of niet omdat de energiehuishouding van het water – zonder aanvoer van water elders- vooral een functie is van diepte.²⁰⁴

Maatregel	Hitte	Droogte	Effectiviteit	Haalbaar	Toelichting
Stadsbeek / gracht	<input checked="" type="checkbox"/>		+/-	S	Niet via het water zelf. Biedt ruimte voor ventilatie en het plaatsen van bomen voor schaduw. Meestal minder geschikt voor direct contact.
Vijver / waterplein	<input checked="" type="checkbox"/>		+	S	Meestal niet via het water zelf. Direct contact met water ("pootje baden") is soms mogelijk. Verder mogelijkheid tot psychologische verkoeling (beleving). Omgeving biedt meestal wel ruimte voor ventilatie en het plaatsen van bomen voor schaduw.
Fontein / sprinklers	<input checked="" type="checkbox"/>		+	G	Effect is zeer lokaal, maar wel aanwezig. Direct contact met water (pootje baden) en enige psychologische verkoeling (beleving). Sprinklers kunnen worden ontworpen voor directe koeling.

Indicatie effectiviteit

Op microschaal is effectieve directe koeling via water vrijwel afwezig. Ondanks het lokaal geringe effect van water is het mogelijk dat veel kleine waterlichamen uiteindelijk wel bijdragen aan een vermindering van het stedelijk hitte-eiland²⁰⁵, maar hierover is nog veel onbekend. Verder is het mogelijk dat waterelementen zelf een luchtcirculatie op gang brengen en dus de ventilatie beïnvloeden.²⁰⁶ Ook hierover is echter weinig informatie beschikbaar in de literatuur.

Schaalniveau

- gebouw
 straat
 wijk
 stad
 Regio

A.6 Infiltratie en opslag van hemelwater

Maatregelen om hemelwater te infiltreren:

- Naar onverzadigde zone door half/zeer open verharding, infiltratieriolen/krachten, zakputten
- Naar onverzadigde zone door wadi's en bio-swales
- Direct naar het grondwater door infiltratieputten- of sleuven

Infiltratie van neerslag heeft tot doel de (piek)afvoer van het riool te beperken (ter voorkoming van wateroverlast), grondwater aan te vullen (waterbuffer ter voorkoming van droogte) en het gehalte bodemvocht te vergroten (ten behoeve van transpiratie door groen tegen hitte). Dit kan door hemelwaterafvoer van het riool af te koppelen. Regenwater kan op verschillende manieren geïnfiltreerd worden. Regenwater kan daarnaast ook bovengronds worden opgeslagen, bijvoorbeeld in bassins en regentonnen.

Een optimale grondwaterstand is belangrijk voor vitaliteit van bomen, verdamping (en daarmee koeling) door bomen en andere functies als het voorkomen van paalrot en zetting. Voor hittemitigatie is het doel om stedelijk gebied zó in te richten, dat infiltratie optimaal is zodat koeling door verdamping kan plaatsvinden bij een zo klein mogelijk waterverbruik.



Steden hebben vaak in beleid (hun waterplan) opgenomen dat maatregelen in de hele stad worden toegepast. Veel maatregelen worden echter op gebouw/straat/wijkniveau geïmplementeerd. Dit heeft te maken met lokale bodem- en grondwateromstandigheden en de transitie van regenwaterriool naar een ander hemelwaterverwerkingsstelsel (wat vaak wat grootschaliger moet worden opgepakt).

De effectiviteit van een **vergrote infiltratiecapaciteit** is doorgerekend in een gesimuleerd stedelijk waterbalansmodel in Amsterdam (Rivierenbuurt) en Arnhem Oost (zowel in het laag als hoog gelegen deel).²⁰⁷ Hieruit bleek een verdubbeling van de infiltratiecapaciteit in Arnhem Oost nauwelijks bijdraagt aan het verhogen van grondwaterstanden tijdens (extreme) droogte. Vermoedelijk komt dit doordat de wijk al redelijk klimaatbestendig is ingericht; een significant deel van de riolering is in de huidige situatie al afgekoppeld en aangesloten op infiltratievoorzieningen, en er is een relatief groot aandeel onverhard oppervlak in de wijk aanwezig. In Amsterdam had een verdubbeling van de infiltratiecapaciteit een beperkt maar niet verwaarloosbaar effect (10 cm hogere grondwaterstand). De keerzijde van infiltratie is dat in een natter klimaat ook de kans op grondwateroverlast kan toenemen. Te hoge grondwaterstanden kunnen ook voor bomen schadelijk zijn en leiden tot natte kruipruimten. Maatwerk, waarbij infiltratie wordt gecombineerd met drainage, is dan nodig.

Stedelijke wetlands of verbetering van de bodemstructuur vergroten de infiltratiecapaciteit. Een recente innovatie op dit gebied betreft het infiltreren van water via een helofytenfilter naar een ondergrondse opslagtank. Een voorbeeld hiervan is het project Urban Water Buffer in Rotterdam. In de wijk Spangen waar regelmatig wateroverlast optrad door het grote aandeel verhard oppervlak, is een gebied van 3 ha afgekoppeld. Hemelwater van dit oppervlak infiltreert via een helofytenfilter naar een ondergrondse buffer. Vervolgens gebruikt voetbalclub Sparta water uit deze buffer voor beregening van het veld. Hiervoor is jaarlijks ongeveer 10.000 m³ nodig. Naast hemelwater en oppervlaktewater (zie A7) kan ook **gezuiverd grijswater** worden geïnfiltreerd. Grijswater kan afkomstig zijn vanuit rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's), tuinbouw, industrie of uit kantoren en woningen. Het effluent van een rioolwaterzuivering heeft meestal een zodanige kwaliteit dat als het via een begroeid bodemfilter (bijvoorbeeld een helofytenfilter) toegevoerd wordt aan het gebied, het geen negatieve invloed heeft op de waterkwaliteit.²⁰⁸

Tot slot kan gedacht worden aan opslag van regenwater in **regentonnen, schuttingdelen of waterbassins**. In Delfland zetten glastuinders hun waterbassins²⁰⁹ optimaal in (lees: vol bij het begin van een droogte). Eventueel kan in noodgevallen water uit de bassins in het oppervlaktewater gelaten worden. Afhankelijk van de hoeveelheid glastuinbouw in Overijssel zou ook dit relevant kunnen zijn.

Maatregel	Hitte	Droogte	Effectiviteit	Haalbaar	Toelichting
Infiltratie naar grond-water met putten en sleuven		<input checked="" type="checkbox"/>	+/-	S	Regenwater komt direct ten goede aan grondwater, zodat in tijden van droogte door eerdere neerslagtekorten maximale aanvulling plaats vindt. Maar infiltratie heeft een beperkt effect in (extreem) droge perioden en kan in natte perioden ook tot ongewenst hoge grondwaterstanden leiden. Maatwerk is nodig.
Naar onverzadig-de zone: half / zeer open verharding	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	+/-	S	Een deel van het geïnfiltreerde water komt in de onverzadigde zone terecht, en een deel zal via percolatie aan het grondwater worden toegevoegd. Maar infiltratie heeft een beperkt effect in (extreem) droge perioden en kan in natte perioden ook tot ongewenst hoge grondwaterstanden leiden. Maatwerk is nodig Zie ook A7.
Naar onverzadig-de zone: wadi's, bio-swales en helofyten-filters	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	+	S	Wadi's en bio-swales zorgen voor een lagere oppervlaktetemperatuur. Bio-swales zijn ondiepe met kruiden en bloemen beplante greppels en vormen kleine ecosystemen voor bijvoorbeeld bijen.

Indicatie effectiviteit

Uit simulaties in Arnhem Oost (hooggelegen en klimaatbestendig ingericht) en Amsterdam (Rivierenbuurt) bleek een verdubbeling van de infiltratiecapaciteit beperkt bij te dragen aan het verhogen van grondwaterstanden tijdens (extreme) droogte (in Arnhem nauwelijks en in Amsterdam bijna 10 cm). Effect hangt af van de lokale situatie..

Schaalniveau

- gebouw
 straat
 wijk
 stad
 Regio

- Maatregelen** om grondwater te beheren:
- Aanvulling grondwater door peilbeheer oppervlaktewater
 - Actief grondwaterpeilbeheer door drainage-infiltratieleiding

Grondwater kan aangevuld vanuit oppervlaktewater, mits aanwezig en in voldoende mate beschikbaar. Een verhoging van het oppervlaktewaterpeil kan in meer of mindere mate invloed hebben op het grondwaterpeil in het omliggende gebied. Met actief grondwaterpeilbeheer is het mogelijk om zowel water aan als af te voeren en om zodoende een gewenst peil na te kunnen streven.



Stedelijk gebied heeft vaak een vast **oppervlaktewaterpeil** (winterpeil = zomerpeil), en het stedelijk watersysteem bestaat vaak uit meerdere peilvakken. Om een hoger grondwaterpeil in de zomer in periodes van droogte te kunnen realiseren is het nodig al in voorjaar het oppervlaktewaterpeil te verhogen. Het watersysteem en de bestaande bebouwing moeten dit wel toelaten. De effectiviteit van een verhoogd oppervlaktewaterpeil is afhankelijk van de grondsoort en bodemsamenstelling. In veen- en kleigebieden is de invloed beperkt, in zandgebieden groot. In stedelijk gebied, waarin de bodemsamenstelling vaak is gewijzigd is de invloed niet op voorhand aan te geven, maar afhankelijk van de plaatselijke omstandigheden.²¹⁰ Een verhoogd oppervlaktewaterpeil maakt wel het risico op wateroverlast groter, dus hier moet een optimum worden gevonden. De effectiviteit van oppervlaktewaterpeilbeheer via peilopzet is onderzocht.²¹¹ Hierbij is als scenario aangenomen dat gedurende het groeiseizoen het peil in de Rivierenbuurt in Amsterdam met 20 cm wordt verhoogd. Het effect hiervan op de grondwaterstand bleef beperkt tot enkele centimeters, en was minder effectiviteit dan de infiltratiemaatregel in A6 (peilopzet betrof een tijdelijk verhoging, terwijl infiltratie meer structureel is). Bovendien trad deze grondwaterstands-stijging alleen op wanneer vanaf het voorjaar al het peil verhoogd werd. Wanneer dit in de loop van de zomer gebeurt is er vrijwel geen effect. Voor het maximale effect zou dus vooral in de winter en het vroege voorjaar het peil moeten worden hooggehouden of verhoogd, dus precies in de periode met verhoogde kans op wateroverlast. Bovendien wordt het effect van deze maatregel kleiner wanneer ook de infiltratiecapaciteit van het stedelijk grondoppervlak wordt verhoogd (zie A6). Hoe hoger de grondwaterstand al is, hoe kleiner het hoogteverschil en dus hoe kleiner de aanvulling vanuit het oppervlaktewater zal zijn.

Actief grondwaterpeilbeheer in stedelijk gebied bevindt zich nog in de onderzoeksfase. Hiermee kan een gewenst grondwaterpeil ingesteld worden, om zowel grondwateroverlast als -onderlast (verzakkingen, funderingsschade, groenschade) te voorkomen of te beperken. De effectiviteit van actief grondwaterpeilbeheer via een combinatie van infiltratie en drainage is onderzocht.²¹² Met een drainage-infiltratieleiding die in directe verbinding staat met het oppervlaktewater kan een streefpeil worden ingesteld zodat water in droge perioden wordt aangevoerd en in natte perioden wordt afgevoerd. Private partijen kunnen, net als bij de regenwater- en afvalwaterriolering, een aansluiting aanvragen op het systeem zodat openbaar en privaat terrein worden gekoppeld. Actief grondwaterpeilbeheer heeft in Laag-Nederland in bodemdalingsgevoelige gebieden de meeste baten, maar kan in Hoog-Nederland bijdragen aan de beperking van hittestress en grondwateroverlast zonder dat dit in droge perioden te lage grondwaterstanden veroorzaakt. Een belangrijke voorwaarde daarbij is de mogelijkheid van wateraanvoer via het oppervlaktewater. Actief grondwaterpeilbeheer kan het beste worden overwogen bij rioolvervanging en nieuwbouw / herstructurering van wijken.

Maatregel	Hitte	Droogte	Effectiviteit	Haalbaar	Toelichting
Oppervlaktewaterpeil verhogen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	+/-	S	Grondwaterstanden kunnen worden aangevuld maar baten hiervan moeten worden afgewogen tegen verhoogd risico op wateroverlast.
Actief grondwaterpeilbeheer	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	+	S	Bedoeld om verzakkingen, funderingsschade, groenschade te beperken (mogelijk relevant in westen Overijssel) maar kan ook helpen tegen hittestress doordat water voor met name bomen beschikbaar blijft. Er moet oppervlaktewater aanvoer beschikbaar. Technologie nog in onderzoeksfase.

Indicatie effectiviteit

De effectiviteit van een verhoogd oppervlaktewaterpeil is afhankelijk van de grondsoort en bodemsamenstelling. In veen- en kleigebieden is de invloed beperkt, in zandgebieden groter. In stedelijk gebied, waarin de bodemsamenstelling vaak is gewijzigd, is de invloed niet op voorhand aan te geven, maar afhankelijk van de plaatselijke omstandigheden.²¹³ Modelberekeningen van de Rivierenbuurt in Amsterdam lieten zien dat peilopzet van 20 cm minder effectief is dan het verdubbelen van de infiltratiecapaciteit het van verharde oppervlak (aanvulling orde 10 cm, zie A6). Peilopzet is effectiever naarmate het moment van opzet vroeger in het jaar ligt. Risico op wateroverlast neemt dan toe.

Actief grondwaterpeilbeheer is naar verwachting kosteneffectief in bodemdalingsgebieden met een verhoogde kans op funderingsschade. Technologie nog in de onderzoeksfase

Schaalniveau

- gebouw straat wijk stad Regio

Factsheet B: Gebouwen

Op gebouwniveau zijn maatregelen ingedeeld in de volgende factsheets:

- B1. Ramen
- B2. Daken
- B3. Muren
- B4. Actieve koeling binnen

Bij de beoordeelde effectiviteit van deze maatregelen gaat het om de invloed op de binnentemperatuur en de buitentemperatuur. Het effect op de buitentemperatuur verlaagt in potentie het hitte-eiland effect of draagt anderszins bij aan het thermisch comfort.

B.1 Ramen

Maatregelen bij ramen of in relatie tot hun gebruik zijn:

- Zonwering buiten
- Passief koelen
- Overstek
- Oriëntatie ramen

Het aanbrengen van buitenzonwering en passief koelen door slim openen en sluiten van ramen zijn eenvoudige, snel te nemen en effectieve maatregelen door bewoners. Op de warmste dagen is het tussen ongeveer 11 en 23 uur buiten warmer dan binnen. Dan dus niet ventileren.²¹⁴

In de planfase kan een architect overstekken boven ramen projecteren en de oriëntatie van ramen t.o.v. wind en zon plannen: zo kan directe zonne-instraling in de zomer voorkomen worden en is optimale passieve ventilatie mogelijk.

Ramen moeten zo (ver) geopend kunnen worden dat gedurende de koelere nachten optimaal geventileerd kan worden.



Zowel passieve koeling als gebruik van zonwering geldt moeten correct gebeuren (gedrag). Oriëntatie van ramen en overstek wordt bepaald tijdens het bouwkundig ontwerp.

Ventilatiebeleid. Een woning kan passief en actief gekoeld worden. Passieve koeling vindt plaats door natuurlijke tochtopeningen, ventilatieopeningen/roosters en door opening van ramen en deuren. Het is hierbij de kunst ramen, deuren en ventilatieopeningen dicht te zetten dicht te houden wanneer het buiten warmer is dan binnen en pas te openen wanneer het buiten koeler is. In Rotterdam, Amsterdam, Arnhem, Den Haag, Groningen en Rotterdam deed deze mogelijkheid zich tijdens hittegolven voor vanaf 's avonds laat tot in de late ochtend/vroege middag.²¹⁵ Wanneer mensen strikt omgaan met deze mogelijkheden kan het aantal te warme uren in een woning naar bijna nul worden teruggebracht.²¹⁶ Dit vereist echter dat bewoners dit weten en hierin routine ontwikkelen. Bewoners houden hun ramen 's nachts vaak bewust gesloten vanwege inbraakrisico of geluidsoverlast. Ouderen zijn terughoudend met het openen van ramen omdat ze bezorgd zijn ziek te worden door tocht. Ventilatie heeft dus een belangrijke gedragsmatige component die de effectiviteit bepaalt.

Zonwering. Zonwering is zeer effectief wanneer een woning direct staat blootgesteld aan inkomende zonnestraling. Directe instraling heeft een grote invloed heeft op de binnentemperatuur en met name in goed geïsoleerde woningen. Door zonwering komt er minder warmte binnen, waardoor de opgave om te passief te koelen afneemt. Uit simulaties²¹⁷ is gebleken dat het aantal te warme uren tot een minimum kan worden beperkt bij vrijstaande en rijwoningen, en hoewel in mindere mate, ook bij appartementen zeer effectief is. Zonneschermen gaan vaak pas omlaag na werktijd/thuiskomst waardoor de ramen gedurende dag aan instraling zijn blootgesteld. Windvaste schermen of een overstek zijn constructief stabiel. Een overstek vereist geen menselijke handeling. Met een lamelrooster kan de hoge zon in de zomer worden geweerd en de lage zon in de winter worden doorgelaten. Daarnaast zijn er speciale raamfolies op de markt waarmee ultraviolet en infrarood licht worden gereflecteerd en zichtbaar licht wordt doorgelaten. Ook met bomen kan instraling van zonlicht worden voorkomen.

Oriëntatie. Met de oriëntatie van ramen kan alleen tijdens het ontwerp van woningen rekening worden gehouden. Ramen die georiënteerd zijn op het oosten en westen ontvangen veel zoninstraling gedurende de dag. Het is aan te bevelen slaapkamer ramen niet op het westen te oriënteren omdat ongehinderde instraling bij zonsondergang kan leiden tot een sterke temperatuurverhoging aan het begin van de nacht.²¹⁸

Maatregel	Hitte	Droogte	Effectiviteit	Haalbaar	Toelichting
Ramen openen	<input checked="" type="checkbox"/>		++	G	's Nachts kan de luchttemperatuur buitenshuis tot wel 10 °C lager zijn dan binnenshuis. ²¹⁹ Het openen van ramen wanneer het buiten kouder is dan binnen (vooral tussen 23-11 uur) is samen met zonwering de meest effectieve maatregel om de binnentemperatuur te verlagen. ²²⁰
Zonwering buiten	<input checked="" type="checkbox"/>		++	G	Als inkomende zonnestraling een gebouw niet kan binnendringen draagt het niet bij aan opwarming van een gebouw van binnenuit. Het is belangrijk dat zonwering correct wordt bediend (overdag op tijd dicht) om de zon te weren. Samen met het openen van ramen is zonwering de meest effectieve maatregel om de binnentemperatuur te verlagen. ²²¹
Overstek	<input checked="" type="checkbox"/>		+	G	Overstek heeft het zelfde effect als zonwering buiten, mits bij iedere zonnestand instraling wordt voorkomen. Een voordeel van overstek is dat het geen menselijk handelen vereist.

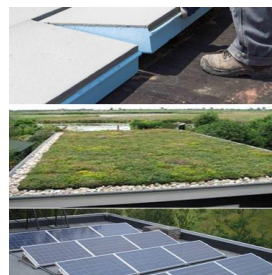
Oriëntatie ramen	<input checked="" type="checkbox"/>		+	C	Door de oriëntatie van ramen zo te kiezen dat directe zonne-instraling wordt verminderd, warmt een gebouw minder snel op. Een oriëntatie van de gevelopeningen op het noorden en zuiden zal leiden tot de minste oververhitting. ²²²
Indicatie effectiviteit De effectiviteit van 'ramen openen' en 'zonwering' hangen af van het type gebouw (vrijstaande woning, rijtjeswoning, appartement), de isolatiewaarde van het gebouw, de oriëntatie, en de correcte bediening. Bij correcte bediening kan het aantal 'overhittingsuren' in woon- en slaapkamers (uren waarin de temperatuur voor het thermisch comfort wordt overschreden) significant worden gereduceerd. We schatten de reductie gemiddeld (over bouwjaar en woningtype) op 75-95%, gebaseerd op. ²²³					
Schaalniveau <input checked="" type="checkbox"/> gebouw <input type="checkbox"/> straat <input type="checkbox"/> wijk <input type="checkbox"/> stad <input type="checkbox"/> Regio					

B.2 Daken

Maatregelen om daken beter hittebestendig te maken zijn:

- Reflectie
- Isolatie
- Groene daken
- Blauwe daken
- Zonnedaken

Een donker plat of schuin dak absorbeert veel zonnestraling en wordt daardoor heet. Met name platte bitumen daken absorberen veel warmte waardoor de ruimten onder het dak sterker opwarmen dan onder andere typen (platte) daken. In het Haagse Hitte onderzoek²²⁴ werden oppervlakte temperaturen gemeten tot 60 °C, door de lage albedo (reflectievermogen). In kamers onder het dak is het gemiddeld warmer dan op de begane grond.²²⁵



Reflectie. Een hoge albedo zorgt ervoor dat kortgolvlige zonnestraling wordt gereflecteerd. Albedo loopt van 0 (geen reflectie) tot 1 (maximale reflectie). Witte daken hebben een albedo van ongeveer 0,7. Het reflecterend maken van platte daken kan in de praktijk effectief zijn, mits dit geen nadelige effecten heeft voor omwonenden die daarop zicht hebben. Het effect op de binnentemperatuur is groter naarmate een dak/gebouw minder goed geïsoleerd is. Uit simulaties bleek dat het aantal te warme uren met 50% kon worden gereduceerd bij een rijtjeswoning en met 14% in een nieuwbouwwoning. De hoge albedo werd daarbij ook op de buitenmuren toegepast. In de winter heeft een hoog albedo een nadelig effect. Er zijn daarom hoog reflecterende isolerende klik-elementen op de markt die in de winter tevens bijdragen aan energiebesparing. Een hoog reflecterend dak draagt als onderdeel van maatregelen op straat- en wijkniveau ook bij aan het reduceren van hitte-eilanden.

Isolatie kan een negatief effect hebben op hitte. Uit de eerder genoemde simulaties blijkt dat door het verhogen van de isolatiewaarde van een jaren '70 woning met lage thermische weerstand het aantal te warme uren 3 tot 5 keer zo hoog kan worden. Bij goed geïsoleerde woningen is het belang van goede zonwering des te groter. Isolatie is uiteraard wel van belang om in de winter energiekosten te besparen en CO₂ uitstoot terug te dringen.

Groene daken zijn er in veel soorten en maten. Een extensief groen dak is maximaal 15 cm dik, een intensief groen dak maximaal 30 cm. Uit simulaties²²⁶ blijkt dat groene daken met name bij goed geïsoleerde woningen nauwelijks effectief zijn om het aantal te warme uren binnenshuis te reduceren, en in sommige gevallen zelfs een negatief effect hebben (in de simulaties gebeurde dit in slaapkamers van appartementen met bouwbesluit 2012). Goed verdampende intensieve groene daken kunnen bijdragen aan verdampingskoeling op grote schaal. Er is continu water nodig om het koelend effect in stand te houden. Lokaal en op straatniveau is het effect van groene daken echter nauwelijks merkbaar.²²⁷ Groene daken hebben wel een gunstig effect op de mogelijkheden regenwater tijdelijk te bergen en op de biodiversiteit op wijkniveau.²²⁸

Zonnepanelen hebben als voordeel dat opgenomen zonne-energie in elektriciteit wordt omgezet. Studies naar het effect van zonnepanelen op de binnentemperatuur zijn niet gevonden.

Maatregel	Hitte	Droogte	Effectiviteit	Haalbaar	Toelichting
Reflectie	<input checked="" type="checkbox"/>		+	G	Weerkaatste inkomende zonnestraling draagt niet bij aan de opwarming van een gebouw. Voor platte daken zijn speciale reflecterende en isolerende elementen beschikbaar. Wit schilderen heeft als nadeel dat de verflaag na verloop van tijd afbladert en/of vervuild raakt door aanslag. Schuine daken zijn zichtbaar vanaf de straat en bestaan vaak uit dakpannen waardoor deze maatregel zich minder goed leent. Is binnen minder effectief bij goede isolatie.
Isolatie	<input checked="" type="checkbox"/>		+/-	S	Door verhogen van de isolatiewaarde kan de warmte binnen juist toenemen, vooral bij slecht of ontbrekend ventilatiebeleid en bij ontbreken of onjuist gebruiken van zonwering. ²²⁹ Isolatie is van belang om in de winter energiekosten te besparen. Dit geldt met name voor oudere woningen.
Groen dak	<input checked="" type="checkbox"/>		+/-	S	Uit simulaties ²³⁰ blijkt dat groene daken met name bij goed geïsoleerde woningen nauwelijks effectief zijn om het aantal te warme uren binnenshuis te reduceren, en in sommige gevallen zelfs een negatief effect hebben.
Blauwgroen dak	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	+	S	Berging van regenwater op daken zorgt voor vermindering en vertraging van de neerslagpiek bij hevige regenval. Verdamping van het water zorgt voor afkoeling. In eerste instantie leidt dit tot verlaging van de oppervlakte-temperatuur. Dit effect lijkt buiten snel uit te doven met toenemende afstand tot het dakoppervlak. ²³¹

Zonnepaneel	<input checked="" type="checkbox"/>		+/-	G	Zonnepanelen zorgen mogelijk voor verminderde opwarming van het dak door hun schaduwwerking en leveren tevens energie. ²³² Er zijn echter geen studies gevonden die dit onderbouwen.
Indicatie effectiviteit Het verhogen van de reflectiewaarde van de gebouwschil heeft is met name effectief voor minder goed geïsoleerde woningen. Het aantal 'oververhittingsuren' in woon- en slaapkamers (uren waarin de temperatuur voor het thermisch comfort wordt overschreden en het dus 'te warm is'), kan worden gereduceerd. Wanneer de reflectiewaarde (albedo) van de <i>gehele gebouwschil</i> wordt verhoogd van 0,3 (rode baksteen) tot 0,6 kan de reductie oplopen tot 10% voor minder goed geïsoleerde jaren 70 woningen en tot 50% voor goed geïsoleerde woningen, gebaseerd op simulaties. ²³³					
Schaalniveau <input checked="" type="checkbox"/> gebouw <input type="checkbox"/> straat <input type="checkbox"/> wijk <input type="checkbox"/> stad <input type="checkbox"/> Regio					

B.3 Opwarming via muren beperken

Maatregelen om de opwarming van muren te beperken zijn:

- groene gevels
- verhoogde reflectie
- schaduw (van bomen)
- isolatie (zie ook B2)

Net als daken absorberen ook muren veel zonnestraling. Opgeslagen warmte wordt na zonsondergang afgegeven aan de omgeving (stedelijk hitte eiland effect). Goed geïsoleerde woningen die eenmaal zijn opgewarmd, koelen ook minder af. In nieuwbouwwoningen is het aantal 'oververhittingsuren' waarin het te warm is, is 3 tot 5 maal hoger dan bij minder goed geïsoleerde jaren '70 woningen. Juist bij goed geïsoleerde woningen is nemen van maatregelen om opwarming van de gebouwschil te voorkomen van belang. Opwarming van muren kan worden beperkt door het toepassen van groene gevels, door de reflectiewaarde (albedo) te verhogen en te zorgen voor meer schaduw, bijvoorbeeld door middel van bomen. Volgens EPA²³⁴ is het effect van maatregelen aan buitenmuren - op de binnentemperatuur - kleiner dan het effect van maatregelen op daken.



Groene gevels kunnen de opwarming van het gebouw beperken. Het aanbrengen van beplanting tegen of voor een buitenmuur (groene façade) is een eenvoudige, snel te nemen maatregel. Beplanting bij muren zorgt voor schaduw en verdamping en daarmee verminderde opwarming van muren.²³⁵ Groene gevels hebben echter een beperkt effect op de temperatuur binnenshuis en buiten op straat.²³⁶ Er is een klein verkoelend effect voor slecht geïsoleerde woningen en een verwaarloosbaar effect voor goed geïsoleerde woningen.²³⁷ Buiten op straat zijn de effecten afhankelijk van het type groene gevel, waarbij een dikker substraat effectiever is. Het effect op de luchttemperatuur neemt bovendien snel af met de afstand van de gevel, variërend van 2 °C op 30 cm afstand²³⁸ tot enkele tienden °C in de straat.²³⁹ Groene gevels hebben wel een positief effect op de beleving van de omgeving en temperatuur²⁴⁰ en via een lagere oppervlaktetemperatuur dragen ze bij aan de beperking van het hitte-eiland effect.

Reflectie. Door de albedo van muren te verhogen via gebruik van lichte materialen/kleuren warmen gebouwen minder op. Uit simulaties²⁴¹ blijkt een positief effect bij toepassing van een hoger albedo op de hele gebouwschil (zie maatregel B2, reflectie bij daken). Echter, wanneer muren zonnestraling reflecteren wordt de warmte weerkaatst in de straat of tegen andere gebouwen die de warmte vervolgens opnemen.²⁴² De reflectie van straling naar de straat kan ook zorgen voor een hogere gevoelstemperatuur op straat.

Schaduw (van bomen). Dit is een effectieve manier om de hoeveelheid binnenkomende zonne-energie op een muur te verminderen en daarmee vooral de oppervlaktetemperatuur te verlagen (zie ook factsheet A3). Loofbomen laten 's zomers 10-30% van het zonlicht door en 's winters 50-80%; naaldbomen gedurende het hele jaar 10-30%.²⁴³ Loofbomen zijn dus een goede keuze wanneer in de zomer koeling nodig is en in de winter verwarming.

Isolatie kan een negatief effect hebben op hitte. Uit simulaties (zie ook B2) blijkt dat door het verhogen van de isolatiewaarde van een jaren '70 woning met lage thermische weerstand het aantal te warme uren 3 tot 5 keer zo hoog kan worden.

Maatregel	Hitte	Droogte	Effectiviteit	Haalbaar	Toelichting
Groene gevel / façade	<input checked="" type="checkbox"/>		+	G	Afname oppervlaktetemperatuur waardoor minder warmte wordt opgenomen. Draagt bij aan beperking hitte-eiland effect. Geen tot beperkt effect op luchttemperatuur overdag binnen en buiten.
Reflectie	<input checked="" type="checkbox"/>		+/-	G	Door gebruik van materialen met lichte kleuren wordt meer zonlicht gereflecteerd en warmen muren minder op, met positieve effecten op de hele gebouwschil. ²⁴⁴ Kan op straat nadelig uitpakken omdat gereflecteerde straling de gevoelstemperatuur verhoogt.
Schaduw (van bomen)	<input checked="" type="checkbox"/>		++	G	Voorkomt hoge oppervlaktetemperatuur door schaduwwerking. Kan ook functioneren als zonwering voor ramen (zie B1). Een boomkruin brengt bovendien verkoeling op straat en werkt positief voor de beleving. Zie ook A2 en A3.
Isolatie	<input checked="" type="checkbox"/>		+/-	S	Door verhogen van de isolatiewaarde kan de warmte binnen juist toenemen, zie B2. Isolatie is van belang om in de winter energiekosten te besparen. Dit geldt met name voor oudere woningen.

Indicatie effectiviteit

Isolatie en reflectie: zie B2. Groene gevel: zie A2. Bomen / schaduw: Simulaties laten zien dat lokaal, onder een boomkroon, een reductie van de gevoelstemperatuur, PET, tot 10 à 12°C mogelijk is op een zonnige, tropische dag.²⁴⁵ Metingen op schaduwrijke plekken in Amsterdam laten hier en daar zelfs een reductie van PET tot 19°C zien.²⁴⁶

Schaalniveau

- gebouw
 straat
 wijk
 stad
 Regio

B.4 Actieve koeling binnen

Maatregelen om woningen binnen actief te koelen zijn:

- airco/balansventilati
- vloer/muurkoeling
- regenwater tank onder gebouw
- aquifer warmtewisselaar

Wanneer gebouwen intern te sterk opwarmen (ondanks maatregelen uit B1-B3) kan overwogen worden om actieve koeling toe te passen. Actieve koeling betekent dat er energie wordt verbruikt om koeling tot stand te brengen. Mogelijke maatregelen zijn een airconditioner, balansventilatie, of vloer- en muurkoeling. De installatie van koeling met koud water uit de bodem is een ingrijpende maatregel en kan het best in het ontwerp van gebouwen worden ingepast.



Airconditioning. Hoewel zeer effectief om de binnenlucht te koelen dragen airconditioners ook bij aan het verwarmen van de buitenlucht (antropogene opwarming). Voor efficiënte airconditioning is goede dimensionering van belang. Een kleine eenheid die continue functioneert is efficiënter bij het ontvochtigen van lucht dan een grote eenheid die vaak aan en uit gaat. Een wat drogere lucht vergroot doorgaans het comfort.²⁴⁷ Mobiele airco's zijn relatief goedkoop in aanschaf.

Balansventilatie is een gesloten systeem voor mechanische ventilatie met waterterugwinning en wordt toegepast ten behoeve van luchtverversing.²⁴⁸ Er zijn systemen op de markt (bypass) waarmee de uitgaande vuile lucht eerst wordt gekoeld. Via een koudewisselaar wordt daarmee de temperatuur van de inkomende verse omlaag gebracht naar het gewenste niveau. Na zonsondergang is de buitenlucht koeler, en is koeling via balansventilatie effectief. Hiermee hoeven 's nachts minder ramen en deuren opengezet te worden, waardoor het inbraakrisico niet toeneemt.

Vloer- en muurverwarming kan ingezet worden voor koeling. Met name muurverwarming is geschikt om woningen te koelen door koud water door de buizen te laten stromen. Bij inzet van vloerverwarming voor koeling is er risico op condensvorming wanneer het temperatuurverschil te groot is.

Vanuit efficiëntie oogpunt is de combinatie met buitenzonwering voor bovengenoemde oplossingen van belang.

Onderzoek naar mogelijkheden voor aquathermie laat zien dat het in theorie mogelijk is om huizen te verwarmen en koelen met thermische energie uit oppervlaktewater (TEO) en afvalwater (TEA), in combinatie met opslag in aquifers om temporele onbalans tussen vraag en aanbod op te vangen.^{249, 250} Ervaring met kleinschalige toepassing op gebouwniveau is voor handen, en brede toepassing is onderwerp van discussie en onderzoek. Specifiek voor koeling is er al ervaring met grootschalige toepassing (bv., in Houthavens in Amsterdam).

Maatregel	Hitte	Droogte	Effectiviteit	Haalbaar	Toelichting
Air-conditioning	<input checked="" type="checkbox"/>		++	G	Effectieve koeling van de binnenlucht in een gebouw (kamer). Airco's kunnen ook later ingebouwd worden om een specifieke ruimte te koelen (bv. slaapkamer). Mobiele airco's hebben een lage aanschafprijs maar hoge(re) operationele kosten.
Balansventilatie	<input checked="" type="checkbox"/>		+	S	Balansventilatie wordt vaak standaard in nieuwbouwwoningen toegepast, en kan ook voor koeling worden ingezet. Bij bestaande woningen kan balansventilatie bij een verbouwing worden ingebouwd.
Vloer en muurverwarming/koeling	<input checked="" type="checkbox"/>		++	S	Met name muurverwarming is ook geschikt voor koeling. Warmte en koude worden egaal verspreid. Aanleg van muurverwarming in bestaande woningen is ingrijpend, maar wel mogelijk.

Indicatie effectiviteit

Er zijn geen vuistregels voor effectiviteit van deze oplossingen uit de literatuur afgeleid. Alle genoemde systemen zijn in principe effectief.

Schaalniveau

- gebouw
 straat
 wijk
 stad
 Regio

Factsheet C: Tuinen

Voor de tuin zijn maatregelen ingedeeld in de volgende factsheets:

- C1. Schaduw creëren
- C2. Verharding vervangen door groen
- C3. Infiltratiemaatregelen
- C4. Wateropvang

Tuinen staan meteorologisch, hydrologisch en ecologisch in directe verbinding met hun omgeving. Tuinen zijn echter te onderscheiden van de openbare ruimte op twee punten: ze zijn kleiner en worden ingericht en onderhouden door particulieren, zoals woningeigenaren, huurders en/of woningcorporaties. In Nederland zijn woningeigenaren verantwoordelijk voor het beheer van grondwater op hun eigen perceel. Vanuit de wet zijn er geen regels wat betreft de tuininrichting, zoals bijvoorbeeld in Vlaanderen, waar een verplichte installatie zoals een regenwaterput en infiltratiesysteem bij nieuwbouw en herbouw een voorwaarde is bij de bouwaanvraag.²⁵¹

Via Operatie Steenbreek worden eigenaren en huurders wel gestimuleerd om tuinen te vergroenen (steen eruit, plant erin). Veel gemeenten (en waterschappen) hebben hier subsidie voor beschikbaar en gaan de wijk in om bewoners via communicatie te stimuleren, zoals de 'natte sokken campagne' die het Hoogheemraadschap van Delfland in 2019 voerde in een aantal kernen.²⁵²

Bij de beoordeelde effectiviteit van deze maatregelen gaat het om vermindering van de luchttemperatuur en gevoelstemperatuur, de mate waarin water vast gehouden en geïnfiltreerd kan worden en de effectiviteit van communicatie en stimulering.

C.1 Schaduw creëren

Maatregelen om schaduw te creëren zijn:

- zonzeil, parasol
- boom
- begroeide pergola

Het verdampingseffect van groen in de tuin op de luchttemperatuur is ter plekke niet zo groot. Belangrijker is het schaduweffect. Schaduw verlaagt de gevoelstemperatuur op microschaal sterk en draagt bij aan de leefbaarheid. Directe zonnestraling is ongezond bij hitte en/of een hoge UV-index. Hoewel met schaduw direct zonlicht blokkeert, is in de schaduw in vergelijking met andere golf lengtes relatief veel UV licht aanwezig. Snelle en gemakkelijke maatregelen om schaduw te creëren zijn gebruik van een zonzeil en/of een parasol. Deze kunnen echter zelf opwarmen. Omdat een boom zelf relatief koel blijft²⁵³ en omdat groen een positieve psychologische beleving met zich meebrengt²⁵⁴ wordt schaduw onder een boom (waarschijnlijk) als prettiger ervaren. Pergola's kunnen voor de schaduw net zo effectief zijn als bomen en zijn soms geschikt op plaatsen waar bomen minder gewenst zijn, bijvoorbeeld door een beperkte beschikbare ruimte. Zie factsheets A2, A3.



Maatregel	Hitte	Droogte	Effectiviteit	Haalbaar	Toelichting
Zonzeil, Parasol	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	+	G	Door schaduw wordt een koele lokale omgeving gecreëerd. Wanneer ook planten beschaduwd worden, vermindert de verdamping in de tuin waardoor de droogte zich lokaal minder snel ontwikkelt. Sommige schermen warmen wel zelf op en doen zo een deel van het effect op de gevoelstemperatuur teniet. Genoemde maatregelen zijn eenvoudig en snel te realiseren.
Bomen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	++	S	Bomen zorgen voor een aangenaam verblijfsklimaat en warmen door de verdamping zelf minder op, waardoor het effect op de gevoelstemperatuur positiever is dan bij zonneschermen. Het schaduweffect van bomen is pas optimaal na enkele jaren en kan niet gericht worden (vaste plaats).
Begroeide Pergola	<input checked="" type="checkbox"/>		++	S	Een begroeide pergola zorgt dat een terras of geparkeerde auto minder opwarmt. Deze oplossing vergroot ook het leefcomfort in de tuin. Door groen toe te passen kan ook verdamping worden gestimuleerd.

Indicatie effectiviteit

Oppervlaktetemperatuur: in schaduw van bomen kan de oppervlaktetemperatuur van harde, niet-verdampende oppervlakken tot 20 °C lager zijn dan in de zon.²⁵⁵

Gevoelstemperatuur: Volgens simulaties kan PET in de schaduw van een boom tot rond 10 °C lager zijn²⁵⁶, volgens metingen op schaduwrijke plekken in Amsterdam zelfs meer, tot bijna 20 °C.²⁵⁷

Schaalniveau

gebouw straat wijk stad Regio

C.2 Verharding vervangen door groen

Maatregelen om te vergroenen zijn:

- Beplanting
- Bodembedekking
- Verticaal groen

Een kale bodem droogt sneller uit en verliest door de hardere korst het vermogen om water op te nemen. Hoe hoger de beplanting, des te dieper en beter de doorworteling van de bodem. De waterbuffering in de plant, op de plant en in de bodem is daardoor groter. Verticaal groen zoals klimplanten tegen een schutting of hagen vergroten de leefbaarheid in de tuin en bieden schaduw waardoor de temperatuur van het onderliggende oppervlak minder stijgt.

Bewoners en woningbouwcorporaties hebben vaak een voorkeur voor een 'nette tuin' en/of 'onderhoudsvriendelijke tuin'. Maar juist een afwisseling in vegetatiehoogte en losse bladeren bevorderen de biodiversiteit en vergroten de veerkracht van de tuin tijdens droogte.²⁵⁸



Maatregel	Hitte	Droogte	Effectiviteit	Haalbaar	Toelichting
Beplanting	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	+	G	Een beplante bodem warmt veel minder op in de zomer vergeleken met een verharde bodem. Vegetatie die goed tegen droogte kan vermindert de irrigatievraag. Een droogte bestendig type plant heeft vaak een dieper gaand wortelstelsel en een waslaagje om verdamping te beperken. ²⁵⁹ Door die laatste eigenschap is bijdrage aan verdampingskoeling minder; sommige planten verdampen vrijwel niets meer, of juist 's nachts (zoals sedum).
Bodembedekking		<input checked="" type="checkbox"/>	+	G	Verdamping van bodemwater rond de planten kun je tegengaan door bodembedekking (cacaoschillen, boomschors of stro). Hoe dikker de laag, hoe groter het effect. Met een laag van 5 à 10 cm blijft de bodem langer vochtig. De bodembedekking gaat ook ontwikkeling van onkruid tegen.
Verticaal groen	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	+	S	Schuttingen met klimplanten of hagen kunnen dienen als tuinafscherming en creëren schaduw. Klimop is een winterharde klimplant en goed bestand tegen droogte. Gevelbeplanting verfraait de omgeving en isoleert de achterliggende muur. Verdamping via de bladeren draagt bij aan verkoeling van de omgeving. Gevelbegroeiing bindt daarnaast fijnstof. ²⁶⁰

Indicatie effectiviteit

Hitte-eiland: 10% groenoppervlak op lokale tot regionale schaal zorgt voor een reductie van het hitte-eiland met ~0.6°C (luchttemperatuur) op wijk- tot stadsschaal.

Schaalniveau

gebouw straat wijk stad Regio

C.3 Infiltratie in de bodem

Maatregelen om water te infiltreren in de bodem zijn:

- infiltratiekrat, infiltratiegreppel, infiltratieput
- waterpasserende verharding (zeer open of halfopen)
- wadi's

Door water passerende verharding (open of half open) en infiltratiemaatregelen toe te passen infiltreert er meer regenwater in de bodem. Bij waterpasserende verharding komt het water in eerste instantie in de onverzadigde zone terecht. Een deel verdampt uit de bodem (al tussengroeiende vegetatie), en een deel komt via percolatie in het grondwater terecht. Bij infiltratiemaatregelen wordt het regenwater direct aan het grondwater toegevoegd.²⁶¹



Door toename van de infiltratiecapaciteit hoeft er minder water via het riool afgevoerd te worden. De kans op wateroverlast als gevolg van overstromende riolen af. Omdat in perioden met veel neerslag grondwaterstanden stijgen, kan infiltratie in gebieden met hoge grondwaterstanden ook leiden tot drassige tuinen en plasvorming. Tijdens droogte kan een toename van de infiltratie juist bijdragen aan het vochtgehalte in de onverzadigde zone en aanvulling van grondwaterstanden. De tuin is zo (in theorie) beter bestand tegen droogte. Echter, onderzoek duidt er ook op dat een hogere infiltratiecapaciteit een beperkt effect heeft op grondwateraanvulling in (extreem) droge perioden, zie factsheet A6 en A7.

In Vlaanderen is installatie van een regenwaterput en een infiltratiesysteem bij nieuwbouw en herbouw verplicht. Hiermee rekening houden is een voorwaarde bij de bouwaanvraag.²⁶²

Maatregel	Hitte	Droogte	Effectiviteit	Haalbaar	Toelichting
Naar verzadigde zone: Infiltratie-krat, -greppel, -put		<input checked="" type="checkbox"/>	+	S	Regenwater komt direct ten goede aan grondwater, zodat in tijden van droogte door eerdere neerslagtekorten maximale aanvulling plaats vindt. Andere oppervlakken (zoals daken, tuinhuis) kunnen worden gekoppeld aan de infiltratievoorziening om grotere volumes water te infiltreren. Infiltratie heeft een beperkt effect in (extreem) droge perioden en kan in natte perioden ook tot ongewenst hoge grondwaterstanden leiden. Maatwerk is nodig.
Naar onverzadigde zone: half / zeer open verharding	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	+	G	Infiltratie vergroot de waterbeschikbaarheid voor het groen in de tuin. Dit type verharding is geschikt voor een terras, oprit of tuinpaden. Water passerende verharding met groen tussen de harde structuren zorgt voor verlaging van de oppervlaktetemperatuur.
Wadi's en bio-swales	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	+	G	Wadi's en bio-swales zorgen voor een lagere oppervlaktetemperatuur. Bio-swales zijn ondiepe met kruiden en bloemen beplante greppels en vormen kleine ecosystemen voor bijvoorbeeld bijen.

Indicatie effectiviteit

Effectiviteit voor beperken wateroverlast, droogte en hitte hangt af van de specifieke, lokale situatie. Zie ook A6

Schaalniveau

- gebouw
 straat
 wijk
 stad
 Regio

C.4 Wateropvang

Maatregelen om water op te vangen zijn:

- Regenton
- Vijver
- Regenwater opvangsysteem

Met een regenton, ander regenmeubilair of grootschalige regenwateropvangsysteem kan duurzaam gebruik van water worden gestimuleerd. In droge tijden kan het opgevangen water worden gebruikt om de tuin te irrigeren. Ander hergebruik kan gerealiseerd worden met een regenwater opvangsysteem waarbij een zuiveringstap kan wordt toegepast.

In de stedelijke omgeving of tuin hebben waterelementen nauwelijks invloed op de luchttemperatuur in de omgeving via het water zelf. Een vijver of ander klein waterelement heeft een verwaarloosbaar effect op de luchttemperatuur²⁶³ maar verbetert wel de beleving.²⁶⁴ Veel gemeenten en waterschappen hebben een subsidieregeling voor de opvang van hemelwater.



Maatregel	Hitte	Droogte	Effectiviteit	Haalbaar	Toelichting
Regenton		<input checked="" type="checkbox"/>	+	G	Een regenton of vijver installeren is eenvoudig en goedkoop maar heeft een beperkte capaciteit. Het opgeslagen water in de tuin kan gebruikt worden voor het besproeien van planten.
Vijver	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	+	G	Wateropvang alleen helpt niet tegen de hitte. Een belangrijk aspect is dat de aanwezigheid van oppervlaktewater in de tuin (vijver) de beleving van hitte kan verminderen. ²⁶⁵
Regenwater opvangsysteem		<input checked="" type="checkbox"/>	++	S	Wanneer er tijdens droge periodes vanuit de leverancier minder water beschikbaar is kan geput worden uit een grote hoeveelheid in het opvangsysteem opgeslagen water in het opvangsysteem. Dit water kan verschillende gebruikdoeleinden dienen (irrigatie, grijs water spoeling). Een installatie van een regenwateropvangsysteem bestaat uit verschillende (dure) onderdelen en wordt aantrekkelijk met een subsidieregeling.
Indicatie effectiviteit					
Effectiviteit voor beperken wateroverlast, droogte en hitte hangt af van de lokale situatie. Zie ook A6.					
Schaalniveau					
<input checked="" type="checkbox"/> gebouw <input type="checkbox"/> straat <input type="checkbox"/> wijk <input type="checkbox"/> stad <input type="checkbox"/> Regio					

Factsheet D: Sociale en bestuurlijke maatregelen

De **implementatie van maatregelen** kan worden bevorderd door:

- Subsidie en regelgeving
- Samenwerking: burgerparticipatie en overheidsparticipatie
- Communicatie: informeren, bewustzijn en gedrag

Bij de implementatie van maatregelen uit de voorgaande factsheets is het van belang te bedenken welke rol verschillende actoren daarbij hebben. Afhankelijk van waar het initiatief ligt kan er onderscheid gemaakt worden tussen burgerparticipatie (overheid betreft bewoners) en overheidsparticipatie (bewoners betrekken overheden). De effectiviteit van communicatie en participatie hangt af van de doelen die daarmee worden nastreeft. Dit kan per initiatief verschillen. Overheden hebben verder de mogelijkheid om regels te stellen of subsidies te verstrekken, en bewoners te informeren over problemen en oplossingen en hen daarin te stimuleren met behulp van communicatiecampagnes. Operatie Steenbreek²⁶⁶ ('tegel eruit, plant erin') is een initiatief waarbij gemeenten zich kunnen aansluiten. Via communicatie, acties zoals wijkbezoeken en workshops, en subsidies worden bewoners gestimuleerd hun tuin te vergroenen. Ook Provincie Overijssel en een vijftal Overijsselse gemeenten is hiervan momenteel lid.²⁶⁷



Belevingsonderzoek²⁶⁸ in drie Rotterdamse wijken richtte zich op de bereidheid van bewoners om te participeren in initiatieven om regenwater op te vangen in de buurt of eigen terrein (dak, tuin). Hoewel de resultaten (n=300) met enige voorzichtigheid moeten worden geïnterpreteerd, kan indicatief gesteld worden dat de volgende factoren motiverend werkten: Leeftijd 31 - 45 jaar, commitment (identificatie met milieu), engagement (contact willen met anderen, actief zijn voor buurt), sociale druk (positief voorbeeld gedrag van anderen), push (gevraagd worden door bekenden), faciliteren (wegnemen van barrières door gemeente, waterschap, woningcorporatie). Een set andere factoren bleek niet motiverend te werken, danwel het motiverende effect kon niet worden aangetoond: positieve emotie (plezier), opkomen voor eigen belang (voordeel), waardering (goedkeuring willen krijgen), wet- en regelgeving (beperkend of stimulerend), een hoog opleidingsniveau, bewustzijn (van klimaatverandering), ervaring hebben (met wateroverlast), competent zijn. Onderzoek in Pijnacker-Nootdorp²⁶⁹ heeft laten zien dat een meerderheid van de respondenten (n=100) aangeeft dat 'niets' hen kan overhalen om de tuin te vergroenen. Er was geen statisch verband met het aandeel groen of verharding dat mensen reeds in de tuin hadden. Een beperkt aantal respondenten gaf aan dat meer informatie en voorbeelden, subsidie of lagere belasting hen zou motiveren. Toch was er wel belangstelling voor acties zoals een open-tuin-dag of informatieavond.

Maatregel	Hitte	Droogte	Effectiviteit	Haalbaar	Toelichting
Subsidie en regelgeving	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	+	G	Subsidies kunnen bewoners helpen te vergroenen. Iemand dient dan wel reeds gemotiveerd te zijn om te vergroenen of water op te vangen. De subsidie verlaagt vervolgens de financiële drempel, maar de mate waarin dit gebeurt verschilt tussen personen.
Participatie van overheid en burger	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	+	S	Motieven van mensen om te participeren in buurtinitiatieven hebben vaak een sociale dimensie, naast het specifieke doel van een initiatief zoals het opvangen van regenwater of vergroenen van de buurt.
Beïnvloeding van bewustzijn en gedrag	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	+	S	Operatie Steenbreek is een landelijk initiatief waar veel gemeenten zich bij hebben aangesloten. Dit vergroot de bekendheid en het bereik, en heeft daarom meer invloed op bewustwording. Werkelijke gedragsverandering is echter een stuk complexer, omdat daarbij (veel) meer factoren een rol spelen.)

Indicatie effectiviteit

Het is redelijk om te veronderstellen dat communicatie, participatie en subsidie/regelgeving bijdragen een toename in de implementatie van maatregelen door burgers om hitte, droogte of andere klimaat gerelateerde risico's te beperken. Een beperkte zoekactie leverde enkele afstudeeronderzoeken op waaruit indicatief kan worden afgeleid welke factoren motiverend werken. Er is geen eenduidige maat om de effectiviteit van communicatie, participatie en subsidie/regelgeving te duiden.

Schaalniveau

- gebouw
 straat
 wijk
 stad
 Regio

Bijlage 2: Noten

- ¹ Provincie Overijssel, 2017
- ² Braak et al., 2019; <https://www.wdodelta.nl/@25839/evaluatie-droogte>
- ³ KNMI, 2014.
- ⁴ Rovers et al., 2014.
- ⁵ European Environment Agency, 2012.
- ⁶ Döpp et al., 2011.
- ⁷ Voogt en Oke, 2003.
- ⁸ Höppe, 1999.
- ⁹ Hoeven en Wandl, 2018.
- ¹⁰ Hove et al., 2011.
- ¹¹ Noordhoff/KNMI, 2011.
- ¹² Brandsma en Wolters, 2012; Theeuwes et al., 2017.
- ¹³ Oke et al., 2017.
- ¹⁴ Höppe, 1999.
- ¹⁵ Rovers et al., 2014; Gehrels et al., 2016; Oke et al., 2017.
- ¹⁶ Hove et al., 2011; Oke et al., 2017.
- ¹⁷ Maat et al., 2013.
- ¹⁸ Steeneveld et al., 2011.
- ¹⁹ Rovers et al., 2014.
- ²⁰ Steeneveld et al., 2011.
- ²¹ http://www.bom.gov.au/info/thermal_stress
- ²² <https://ruimtelijkeadaptatie.nl/voorbeelden/@168824/hittestress-zeeland>
- ²³ Steeneveld et al., 2011.
- ²⁴ Heusinkveld et al., 2014.
- ²⁵ Hove et al., 2015.
- ²⁶ Hove et al., 2015.
- ²⁷ Oke et al., 2017.
- ²⁸ Theeuwes et al., 2014.
- ²⁹ Steeneveld et al., 2011.
- ³⁰ Brandsma et al., 2019.
- ³¹ Heusinkveld et al., 2014; Hove et al., 2015.
- ³² Theeuwes et al., 2014.
- ³³ Oke et al., 2017.
- ³⁴ Droste A.M., Steeneveld G.J., Holtslag A.A.M., 2018.
- ³⁵ Hove et al., 2015.
- ³⁶ Hove et al., 2015.
- ³⁷ <https://ruimtelijkeadaptatie.nl/voorbeelden/@168824/hittestress-zeeland/>
- ³⁸ Jacobs et al., 2008.
- ³⁹ Noordhoff/KNMI, 2011.
- ⁴⁰ Klok et al., 2019; Jacobs et al., 2019.
- ⁴¹ Theeuwes et al., 2017.
- ⁴² Klok et al., 2019.
- ⁴³ Gomez et al., 2015.
- ⁴⁴ Solcerova et al., 2018.

-
- ⁴⁵ Oke et al., 2017
- ⁴⁶ Rovers et al., 2014.
- ⁴⁷ Rovers et al., 2014. Slingerland, J., 2012.
- ⁴⁸ Gehrels et al., 2016.
- ⁴⁹ Meer et al., 2012.
- ⁵⁰ Le Grand et al., 2014.
- ⁵¹ Hoeven en Wandl, 2014.
- ⁵² Le Grand et al., 2014.
- ⁵³ Le Grand et al., 2014.
- ⁵⁴ Hoeven en Wandl, 2014.
- ⁵⁵ Rovers et al., 2014.
- ⁵⁶ Hoeven en Wandl, 2014; Le Grand et al., 2014.
- ⁵⁷ Rovers et al., 2014.
- ⁵⁸ Hooff et al., 2014.
- ⁵⁹ Le Grand et al., 2014.
- ⁶⁰ Website NKWK.
- ⁶¹ Beekman en Calje, 2018.
- ⁶² NHI, 2018.
- ⁶³ Bruin en Stricker, 2000.
- ⁶⁴ Jacobs et al., 2009.
- ⁶⁵ <https://www.knmi.nl/kennis-en-datacentrum/uitleg/droogte>
- ⁶⁶ Hoogvliet et al., 2012.
- ⁶⁷ Beersma et al., 2018.
- ⁶⁸ Persoonlijke communicatie met deskundigen H.Hakvoort (HKV Lijn in water) en R.Hurkmans (HKV Lijn in water en KNMI)
- ⁶⁹ KNMI, 2014.
- ⁷⁰ Interview met G. Lenderink, KNMI
- ⁷¹ Daniels et al. 2016
- ⁷² Rovers et al., 2014.
- ⁷³ Zarea et al., 2018.
- ⁷⁴ Blazejczyk et al., 2012.
- ⁷⁵ Matzarakis et al., 2008.
- ⁷⁶ <https://ruimtelijkeadaptatie.nl/stresstest/bijsluiter/hitte/>
- ⁷⁷ Daanen et al., 2010.
- ⁷⁸ Factsheet Climate Proof Cities.
- ⁷⁹ Daanen et al., 2010.
- ⁸⁰ Huynen et al., 2001.
- ⁸¹ Meer et al., 2012.
- ⁸² Daanen et al., 2010.
- ⁸³ EEA, 2017
- ⁸⁴ Kovats en Hajat, 2008
- ⁸⁵ Huynen et al., 2001.
- ⁸⁶ Rovers et al., 2014.
- ⁸⁷ Huynen et al., 2001.
- ⁸⁸ Schram, 2015.
- ⁸⁹ CBS, 2018.
- ⁹⁰ Kjellstrom et al., 2016.

-
- ⁹¹ Cedeño et al., 2018.
- ⁹² Kjellstrom et al., 2016.
- ⁹³ Obradovichet al., 2017.
- ⁹⁴ Seppanen et al., 2004.
- ⁹⁵ Rovers et al., 2014.
- ⁹⁶ Budd, 2008.
- ⁹⁷ Federale Overheidsdienst Werkgelegenheid, Arbeid en Sociaal Overleg, 2019.
- ⁹⁸ Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, 2019.
- ⁹⁹ Ministerie van Sociale zaken en Werkgelegenheid, 2018.
- ¹⁰⁰ Nikolopoulou, 2011.
- ¹⁰¹ Nikolopoulou, 2011.
- ¹⁰² Teli et al., 2012.
- ¹⁰³ Bowler et al., 2010.
- ¹⁰⁴ Klemm et al, 2015a.
- ¹⁰⁵ Klemm et al, 2015b.
- ¹⁰⁶ Wang et al., 2017.
- ¹⁰⁷ Franck et al., 2013.
- ¹⁰⁸ Artikel in voorbereiding.
- ¹⁰⁹ Brink, 2013.
- ¹¹⁰ Konings, 2011.
- ¹¹¹ Rietkerk et al., 2016.
- ¹¹² Mees et al., 2016.
- ¹¹³ Nieuwsbrief Operatie Steenbreek, december 2018.
- ¹¹⁴ <https://www.rivm.nl/hitte/wat-doet-rivm>
- ¹¹⁵ <https://www.rivm.nl/hitte/kinderdagverblijven-en-scholen>
- ¹¹⁶ Antwoord van staatssecretaris Van Rijn (Volksgezondheid, Welzijn en Sport) op gestelde vragen, juli 2013.
- ¹¹⁷ Slimen et al., 2016.
- ¹¹⁸ PWVE, 2018.
- ¹¹⁹ <https://www.gddiergezondheid.nl/hittestress-rundvee>, bezocht in december 2018.
- ¹²⁰ <https://www.levendehave.nl/dierenwikis/algemeen/wat-hittestress>, bezocht in december 2018.
- ¹²¹ Feenstra, 2017.
- ¹²² NVWA, 2018.
- ¹²³ <https://www.wur.nl/nl/artikel/aanhoudende-droogte.htm>
- ¹²⁴ Brolsma et al., 2012.
- ¹²⁵ Hooimeijer, 2011.
- ¹²⁶ Brolsma et al., 2012
- ¹²⁷ Brolsma et al., 2012
- ¹²⁸ Hoogvliet et al., 2012; Leusink E., 2018.
- ¹²⁹ STOWA, 2017.
- ¹³⁰ STOWA, 2017.
- ¹³¹ Canadell et al., 1996.
- ¹³² Hoogvliet et al., 2012.
- ¹³³ Helpdesk Water, 2018.

-
- ¹³⁴ Lurling et al., 2010.
¹³⁵ Klemm et al, 2018.
¹³⁶ Klok en Kluck, 2018.
¹³⁷ Wuijts et al., 2014.
¹³⁸ Klok en Kluck, 2018.
¹³⁹ Vliet et al, 2016.
¹⁴⁰ Linden, 2018.
¹⁴¹ KWR, 2014.
¹⁴² <http://spei.csic.es/home.html>
¹⁴³ Rovers et al., 2014.
¹⁴⁴ Ren et al., 2010; Ren et al., 2011.
¹⁴⁵ Hove et al, 2015; Ronda et al., 2017
¹⁴⁶ Oke et al., 2017
¹⁴⁷ Brink M., 2013.
¹⁴⁸ Rovers et al., 2014
¹⁴⁹ Hooff et al., 2014
¹⁵⁰ Rovers et al., 2014; Gehrels et al., 2016.
¹⁵¹ Bowler et al., 2010
¹⁵² Solcerova et al., 2017; Gromke et al., 2015.
¹⁵³ Teuling et al., 2010.
¹⁵⁴ Hiemstra, 2018.
¹⁵⁵ Rovers et al., 2014; Gehrels et al., 2016; Klemm, 2018.
¹⁵⁶ Klemm, 2018; Armson et al., 2012.
¹⁵⁷ Teuling et al., 2010.
¹⁵⁸ Damm, 2013.
¹⁵⁹ Klemm et al., 2018.
¹⁶⁰ Rovers et al., 2014; Gehrels et al., 2016; Damm, 2013.
¹⁶¹ Rovers et al., 2014.
¹⁶² Gehrels et al., 2016.
¹⁶³ Gromke et al., 2015.
¹⁶⁴ Klemm, 2018.
¹⁶⁵ Jacobs et al., 2019.
¹⁶⁶ Klok et al., 2019.
¹⁶⁷ Rovers et al., 2014; Slingerland, 2012.
¹⁶⁸ Klok et al., 2019; Jacobs et al., 2019.
¹⁶⁹ Armson et al., 2012.
¹⁷⁰ Höppe, 1999.
¹⁷¹ Armson et al., 2012.
¹⁷² Klok et al., 2019.
¹⁷³ Hagen en Middel, 2018; pers. mededeling A. Middel, 2018.
¹⁷⁴ Shashua-Bar et al., 2011.
¹⁷⁵ Klok et al., 2019.
¹⁷⁶ Rovers et al., 2014.
¹⁷⁷ Theeuwes et al., 2014.
¹⁷⁸ Rovers et al., 2014.
¹⁷⁹ Theeuwes et al., 2014.
¹⁸⁰ Armson et al., 2012; Shashua-Bar te al., 2011.

-
- ¹⁸¹ Jacobs et al., 2019.
- ¹⁸² Klok et al., 2019.
- ¹⁸³ Oke et al., 2017.
- ¹⁸⁴ EEA, 2012.
- ¹⁸⁵ Taleghani en Berardi, 2018.
- ¹⁸⁶ Armson et al., 2012; Klemm, 2018.
- ¹⁸⁷ Solcerova et al., 2017.
- ¹⁸⁸ Hendel et al., 2015.
- ¹⁸⁹ Solcerova et al., 2017
- ¹⁹⁰ Cosoveanu, 2016.
- ¹⁹¹ Armson et al., 2012.
- ¹⁹² EPA, 2012.
- ¹⁹³ Telaghani en Berardi, 2018.
- ¹⁹⁴ Solcerova et al., 2017.
- ¹⁹⁵ Rovers et al., 2014.
- ¹⁹⁶ Klemm et al., 2015.
- ¹⁹⁷ Jacobs et al., 2019.
- ¹⁹⁸ Hove et al., 2015; Cortesão et al., 2018.
- ¹⁹⁹ <http://climatelier.net/projects/research/realcool-really-cooling-water-bodies-in-cities/>
- ²⁰⁰ Cortesão et al., 2018.
- ²⁰¹ Gomez et al., 2013.
- ²⁰¹ Xue et al., 2015.
- ²⁰² Kleiwegt en Co, 2018.
- ²⁰³ Wilschut et al., 2018
- ²⁰⁴ Jacobs et al., 2009.
- ²⁰⁵ Theeuwes Net al., 2013.
- ²⁰⁵ Gunawardena et al., 2017.
- ²⁰⁶ Gunawardena et al., 2017.
- ²⁰⁷ Hoogvliet et al., 2013.
- ²⁰⁸ <https://nl.urbangreenbluegrids.com/measures/flexible-water-level-management-2/>
- ²⁰⁹ KWR, 2013.
- ²¹⁰ <https://nl.urbangreenbluegrids.com/measures/flexible-water-level-management-2/>
- ²¹¹ Hoogvliet et al., 2013.
- ²¹² Buma et al., 2017.
- ²¹³ <https://nl.urbangreenbluegrids.com/measures/flexible-water-level-management-2/>
- ²¹⁴ Hoeven en Wandl, 2014.
- ²¹⁵ Le Grand et al., 2014; Hoeven en Wandl, 2014.
- ²¹⁶ Hooff et al., 2014.
- ²¹⁷ Hooff et al., 2014.
- ²¹⁸ Rovers et al., 2014
- ²¹⁹ Hoeven en Wandl, 2014.
- ²²⁰ Hooff et al., 2014.
- ²²¹ Hooff et al., 2014.

-
- 222 Hooff et al., 2014.
- 223 Hooff et al., 2014.
- 224 Hoeven en Wandl, 2018.
- 225 Le Grand et al., 2014
- 226 Hooff et al., 2014.
- 227 Gromke et al, 2015.
- 228 WUR (Wageningen University and Research), 2017.
- 229 Hooff et al., 2014.
- 230 Hooff et al., 2014.
- 231 Solcerova et al., 2017.
- 232 Hoeven, Wandl, 2014.
- 233 Hooff et al., 2014.
- 234 <https://www.epa.gov/heat-islands>
- 235 Cameron et al., 2014.
- 236 Rovers et al., 2014.
- 237 Hooff et al., 2014.
- 238 Wong en Kwang Tan, 2010.
- 239 Gromke et al., 2015.
- 240 Klemm et al, 2013.
- 241 Hooff et al., 2014.
- 242 EPA, 2018; Interview Van der Hoeven, TU-Delft.
- 243 Oke et al., 2017.
- 244 Hooff et al., 2014.
- 245 Jacobs et al., 2019.
- 246 Klok et al., 2019.
- 247 www.energy.gov/energysaver/room-air-conditioners
- 248 <https://www.mijnbalansventilatie.nl/over-mijnbalansventilatie-nl/>
- 249 Brolsma et al., 2013.
- 250 Kleiwegt en Coo, 2018.
- 251 CIW (Coördinatiecommissie Integraal Waterbeleid), 2014.
- 252 <https://www.hhdelfland.nl/inwoner/natte-sokken-2019>
- 253 Shashua-Bar et al., 2011.
- 254 Klemm et al., 2015a.
- 255 Armson et al., 2012; Shashua-Bar et al., 2011.
- 256 Jacobs et al., 2019.
- 257 Klok et al., 2019.
- 258 Interview met C. van der Weyde en I. Klein, 2018.
- 259 <https://www.huisjeboompjebeter.nl/>
- 260 Kuypers en Vries, 2007.
- 261 <https://www.huisjeboompjebeter.nl/>
- 262 CIW, 2014.
- 263 Klok et al., 2019; Jacobs et al., 2019.
- 264 Klemm, 2018.
- 265 Klemm, 2018.
- 266 <https://www.operatiesteenbreek.nl/>
- 267 <https://www.operatiesteenbreek.nl/overijssel-ook-bij-operatiesteenbreek/>

²⁶⁸ Sijsenaar, 2016.

²⁶⁹ Drooghmans et al., 2017.



Hoofdkantoor

HKV lijn in water BV
Botter 11-29
8232 JN Lelystad

Nevenvestiging

Informaticalaan 8
2628 ZD Delft

0320 294242

info@hkv.nl

www.hkv.nl