



Regiospecifieke klimaatinformatie voor Haaglanden en Regio Rotterdam

Syntheserapport



Copyright © 2013

Nationaal Onderzoekprogramma Kennis voor Klimaat (KvK). Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd, in geautomatiseerde bestanden opgeslagen en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm, geluidsband of op welke andere wijze ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van het Nationaal Onderzoekprogramma Kennis voor Klimaat. In overeenstemming met artikel 15a van het Nederlandse auteursrecht is het toegestaan delen van deze publicatie te citeren, daarbij gebruik makend van een duidelijke referentie naar deze publicatie.

Aansprakelijkheid

Hoewel uiterste zorg is besteed aan de inhoud van deze publicatie aanvaarden de Stichting Kennis voor Klimaat, de leden van deze organisatie, de auteurs van deze publicatie en hun organisaties, noch de samenstellers enige aansprakelijkheid voor onvolledigheid, onjuistheid of de gevolgen daarvan. Gebruik van de inhoud van deze publicatie is voor de verantwoordelijkheid van de gebruiker.



Regiospecifieke klimaatinformatie voor Haaglanden en Regio rotterdam *Syntheserapport*

Auteurs: Dr. J. Bessembinder¹, Ir. D. Wolters¹, Dr. L.W.A. van Hove²



provincie **HOLLAND**
ZUID



Hoogheemraadschap van Delfland

¹) KNMI (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut)

²) WUR (Wageningen University and Research Centre)

KvK rapportnummer

101/2013

ISBN/EAN

978-94-90070-71-7

Met dank aan de klankbordgroep (TNO, Deltares, Hoogheemraadschap van Delfland, Hoogheemraadschap Schieland en Krimpenerwaard, Provincie Zuid-Holland), Luc Verkoelen (HetWeerActueel.nl), alle weeramateurs die hebben bijgedragen aan de metingen van het stadseffect, alle collega's van het KNMI, de WUR, Gemeentewerken Rotterdam en Waterkader Haaglanden voor hun bijdrage aan de uitwerking en review (zie annex).

Dit onderzoeksproject (projectnummer HSHL05/HSRR04: Regiospecifieke klimaatinformatie voor Haaglanden en Regio Rotterdam) werd uitgevoerd in het kader van het Nationaal Onderzoekprogramma Kennis voor Klimaat (www.kennisvoorklimaat.nl). Dit onderzoeksprogramma wordt medegefinancierd door het Ministerie van Infrastructuur en Milieu. Met dank aan de medefinanciering door de provincie Zuid-Holland, het Hoogheemraadschap van Delfland en Gemeentewerken Rotterdam.

Regiospecifieke klimaatinformatie



Inhoudsopgave

Samenvatting	7
Summary	12
1. Achtergrond en doelstelling van het project “Regiospecifieke klimaatinformatie voor Haaglanden en Regio Rotterdam”	18
2. Ruimtelijke verschillen in klimaat binnen Zuid-Holland	20
2.1 Achtergrond en onderzoeksvragen	20
2.2 Waardoor worden ruimtelijke verschillen in klimaat veroorzaakt?	21
2.3 Enkele voorbeelden van ruimtelijke verschillen in klimaat	22
2.4 Samenvatting belangrijkste ruimtelijke verschillen	24
2.5 Conclusies en discussie	26
2.6 Verder lezen.....	27
3. Extreme neerslag: regiospecifieke lange uurneerslagreeksen voor het huidige klimaat.....	28
3.1 Achtergrond en onderzoeksvragen	28
3.2 Enkele resultaten: verschillen in neerslagklimaat en trends	30
3.3 Methoden om lange uurneerslagreeksen te maken	31
3.4 Conclusies	33
3.5 Verder lezen.....	34
4. Extreme neerslag: neerslag per uur in de toekomst	35
4.1 Achtergrond en onderzoeksvraag.....	35
4.2. Wat weten we over de verandering van uurneerslag?.....	36
4.3. Uurtransformatie: enkele resultaten.....	37
4.4 Conclusies	38
4.5 Verder lezen.....	40
5. Stadsklimaat: wat kunnen we leren uit buitenlands onderzoek?	41
5.1 Achtergrond en onderzoeksvragen	41
5.2 Definitie van het UHI-effect.....	42
5.3 Historische en toekomstige trends.....	42
5.4 Invloed van stadseigenschappen op de grootte van het UHI	43
5.5 Hoe groot is het UHI in Europese steden?.....	45
5.6 Verder lezen.....	46

Regiospecifieke klimaatinformatie

6.	Stadsklimaat: schatting van het UHI op basis van metingen in Nederland	47
6.1	Achtergrond en onderzoeksvraag.....	47
6.2	Gebruikte metingen van weeramateurs.....	48
6.3	De grootte van het UHI-effect: enkele resultaten	49
6.4	Conclusies	51
6.5	Verder lezen.....	53
	Literatuurverwijzingen	54
	ANNEX 1. Samenstelling projectteam, klankbordgroep en reviewers	57



Samenvatting

Haaglanden en Regio Rotterdam zijn beide sterk verstedelijkte gebieden met een hoge economische activiteit in de Zuidvleugel van de Randstad. Door de sterke verstedelijking en de hoge economische activiteit is het gebied gevoeliger voor weersextremen. Die grote impact van weersextremen is in het huidige klimaat al te merken. Voor een goed functioneren, is het van belang dat dit gebied zo is ingericht dat de meeste extremen in het huidige en toekomstige klimaat goed kunnen worden opgevangen zonder grote ontwrichtingen. Goede klimaatinformatie voor de regio is hierbij van belang.

Samen met de hotspots Haaglanden en Regio Rotterdam is in dit project gekeken welke vragen er leven met betrekking tot beschikbare klimaatinformatie, nieuwe klimaatinformatie en nieuwe tools om die klimaatinformatie toe te passen. Hieronder staan deze vragen beschreven en het onderzoek dat is verricht om de vragen te beantwoorden.

Ruimtelijke verschillen in klimaat

De samenleving wordt op vele manieren beïnvloed door het klimaat (neerslag-extremen kunnen tot overlast op wegen leiden, het weer beïnvloedt de verkoop van bijvoorbeeld bier en ijs, maar ook of meer mensen de fiets nemen, naar het strand gaan of juist naar een stad, etc.). Ruimtelijke verschillen in klimaat kunnen hiervoor belangrijk zijn. Bij de stakeholders binnen de regio's leefden de volgende vragen daarover:

- Hoe groot zijn de verschillen in klimaat binnen de Zuidvleugel van de Randstad en worden deze allemaal weergegeven door de Klimaatatlas¹?
- Veranderen de ruimtelijke verschillen in klimaat als gevolg van klimaatverandering?

Op basis van een literatuuronderzoek is een overzicht gegeven van mogelijke ruimtelijke verschillen in temperatuur, neerslag, verdamping, wind, straling, luchtvochtigheid, etc. op meerdere ruimtelijke schalen. In het bijbehorende achtergrondrapport² zijn verscheidene voorbeelden van ruimtelijke verschillen binnen Zuid-Holland gegeven met een toelichting op de achterliggende oorzaak.

Verschillen in klimatologie binnen Nederland (hoofdstuk 2) worden veroorzaakt door:

- Relatief grootschalige processen als gevolg van o.a. land-zeeovergangen en hoogteverschillen. Deze verschillen zijn terug te vinden in de waarnemingen

¹ De Klimaatatlas, ofwel de Bosatlas van het Klimaat (2011) is ontstaan uit een samenwerking van het KNMI met Noordhoff. In de atlas wordt het klimaat in Nederland in de periode 1981-2010 beschreven. Deze periode wordt o.a. gebruikt bij weersverwachtingen om aan te geven wat normaal is voor de tijd van het jaar. Kaarten en getallen zijn te vinden via www.klimaatatlas.nl;

²Wolters, D., C. Homan, J. Bessembinder, 2011b. Ruimtelijke klimatologische verschillen – met speciale aandacht voor de regio's Haaglanden en Rotterdam. Rapport in kader van project "regiospecifieke klimaatinformatie voor Haaglanden en Regio Rotterdam" (KvK-project HSHL04/HSRR05). KNMI TR-323.

op KNMI-stations en staan weergegeven in de Klimaatatlas (www.klimaatatlas.nl). Zo is bijvoorbeeld de gemiddelde temperatuur in Zuid-Holland door de nabijheid van de zee hoger in de winter en lager in de zomer dan meer in het binnenland;

- Lokale oppervlakte-eigenschappen (op een schaal van meters tot enkele kilometers), zoals de aanwezigheid van gebouwen, vegetatie. Deze lokale eigenschappen zijn niet voor elke klimaatvariabele even belangrijk. Neerslag wordt veel minder door zeer lokale verschillen in oppervlakte-eigenschappen beïnvloed³ dan bijvoorbeeld temperatuur en wind.

De belangrijkste resultaten en conclusies zijn:

- Hoe groot zijn de verschillen in klimaat binnen de Zuidvleugel van de Randstad en worden deze allemaal weergegeven door de Klimaatatlas? De KNMI-waarnemingen geven veel van de ruimtelijke verschillen in klimaat binnen Nederland weer en deze worden beschreven in de Klimaatatlas. Echter, zeer lokale verschillen in oppervlakte-eigenschappen zoals de aanwezigheid van gebouwen of vegetatie, kunnen op korte afstanden (enkele meters tot kilometers) bij m.n. bij temperatuur en wind leiden tot aanzienlijke verschillen in klimaat (zie bij "stadseffect" verderop). Deze worden niet in de Klimaatatlas weergegeven, maar het achtergrondrapport over ruimtelijke verschillen² geeft de beschikbare informatie hierover;
- Veranderen de ruimtelijke verschillen in klimaat als gevolg van klimaatverandering? In de toekomst verandert het klimaat, maar veel van de oorzaken van ruimtelijke verschillen in het huidige klimaat veranderen niet of niet veel: bijv. hoogteverschillen, land-zeeovergangen. Daarom zullen grootschalige ruimtelijke patronen⁴ in het klimaat binnen Nederland niet veel veranderen: zo zal de gemiddelde temperatuur in de kustregio ook in de toekomst in de zomer lager en in de winter hoger zijn dan in het binnenland. Wel kan klimaatverandering de relatieve ruimtelijke patronen iets beïnvloeden: de gradiënt van de temperatuur vanaf de kust kan bijv. iets toenemen of afnemen en de gradiënt van extreme neerslag in de zomer in de kustregio kan versterkt worden. Ook veranderingen in lokale oppervlakte-eigenschappen (bijv. uitbreiding van steden, vernatting van natuurgebieden) kunnen de relatieve ruimtelijke patronen in het klimaat enigszins beïnvloeden.

Extreme neerslag in het huidige en toekomstige klimaat

Doordat de Zuidvleugel van de Randstad sterk is verstedelijkt, stroomt water sneller af. Bij hevige buien in met name het zomerhalfjaar leidt dit eerder tot wateroverlast. In het NBW Actueel is vastgelegd dat wateroverlast in stedelijk gebied niet vaker dan eens in de 100 jaar mag voorkomen. Waterschappen hebben dan ook lange neerslagreeksen op uurbasis nodig om de effecten van

³ Bovendien is er voor neerslag een veel fijnmaziger meetnetwerk, waardoor evt. ruimtelijke verschillen vrij goed worden gemeten;

⁴ Uiteraard veranderen de absolute waarden, maar de relatieve verschillen veranderen veel minder of nauwelijks. Zie ook bijv. het Klimaatschetsboek (2009; <http://www.knmi.nl/bibliotheek/knmipubmetnummer/knmipub223.pdf>).



hevige neerslag goed in te kunnen schatten. Er zijn echter geen lange meetreeksen (≥ 100 jaar) van urneerslag voor Zuid-Holland. Tot nu toe werd de meetreeks van De Bilt (midden Nederland, vanaf 1906) vaak gebruikt, opgehoogd met 10% vanwege het kusteffect (extreme dagneerslag in Zuid-Holland 8-14% hoger dan in De Bilt). Deze reeks geeft echter een aantal neerslagkarakteristieken van Zuid-Holland niet goed weer.

Volgens de KNMI'06 klimaatscenario's neemt in de toekomst de extreme neerslag op dagbasis toe als gevolg van klimaatverandering. Sinds 2007 is er een tool beschikbaar die neerslagreeksen op dagbasis voor de toekomst kan genereren. Voor analyses van het watersysteem in de toekomst werd tot nu toe de verandering op dagbasis ook toegepast op de urneerslag. Uit onderzoek aan waarnemingen weten we echter dat de extreme neerslag per uur in de zomer sneller stijgt met de temperatuur dan de extreme neerslag per dag. De tot nu toe gebruikte methode levert daarom mogelijk een onderschatting op van de kortdurende extreme neerslag in de toekomst en daarom mogelijk ook een onderschatting van de wateroverlast.

Bovenstaande leidde tot de volgende vragen:

- Ontwikkel een methode om lange neerslagreeksen op uurbasis voor het huidige klimaat te maken die het klimaat binnen Zuid-Holland beter weergeeft dan de huidige methode;
- Ontwikkel een methode om neerslagtijdreeksen op uurbasis voor het toekomstige klimaat te maken.

In dit project zijn verschillende methoden voor het maken van lange regiospecifieke tijdreeksen voor neerslag kwalitatief vergeleken (Hoofdstuk 3 en 4). Voor zowel het huidige als voor het toekomstige klimaat is telkens één methode verder uitgewerkt.

De belangrijkste resultaten en conclusies zijn:

- Ontwikkel een methode om neerslagreeksen op uurbasis voor het huidige klimaat te maken die het klimaat binnen Zuid-Holland beter weergeeft dan de huidige methode. De ontwikkelde methode voor het genereren van regiospecifieke lange neerslagreeksen op uurbasis voor het huidige klimaat (Hoofdstuk 3) gebruikt *dagneerslagreeksen* uit het gebied zelf en geeft daardoor de meeste neerslagkarakteristieken van het gebied beter weer dan de methode die tot nu toe werd gebruikt (De Bilt + 10%): jaarneerslag, jaarlijkse gang, lengte droge en natte perioden, meerdaagse extremen. Ook overschat de methode de extreme urneerslag minder dan de huidige methode, maar de extreme 24-uursneerslag wordt onderschat⁵;
- Ontwikkel een methode om neerslagtijdreeksen op uurbasis voor het toekomstige klimaat te maken. De ontwikkelde methode (Hoofdstuk 4) is vergelijkbaar en consistent met het de tool voor het genereren van tijdreek-

⁵ Zie voor meer informatie: Jilderda, R. & J. Bessembinder, 2013. Regiospecifieke lange neerslagtijdreeksen op uurbasis. Rapport in kader van project "regiospecifieke klimaatinformatie voor Haaglanden en Regio Rotterdam" (KvK-project HSHL04/HSRR05). KNMI TR-322.

sen op dagbasis. Ook neemt de methode het wetenschappelijk inzicht goed mee dat de extreme urenneerslag meer kan toenemen dan de extreme dagneerslag. Voorlopige schattingen voor onder- en bovengrenzen voor de verandering van de extreme urenneerslag binnen de KNMI'06 klimaatscenario's zijn aangegeven (rond 2100 in de zomermaanden een toename van 18-81%, in de wintermaanden van 13-46%), maar er is nog veel onzekerheid over hoeveel de extreme urenneerslag kan veranderen⁶.

Stadseffect op de temperatuur (UHI)

In steden is het gemiddeld warmer dan op het platteland (het UHI-effect). Dit zorgt voor meer problemen met hittestress (sterfte door hitte en verminderde productiviteit). Bij de start van dit project waren er weinig metingen beschikbaar van temperatuur in Nederlandse steden. Naar aanleiding daarvan werden de volgende vragen gesteld:

- Hoe groot is nu het UHI in Nederlandse steden?
- Geven gegevens uit het buitenland ook een goed beeld van de grootte van het UHI in Nederlandse steden?
- Neemt het UHI-effect toe in de toekomst als gevolg van klimaatverandering?

Voor het beschrijven van het UHI worden verschillende maten gebruikt: bijvoorbeeld het gemiddelde verschil in luchttemperatuur tussen stad en platteland (UHI_{gem}) of het grootste verschil op een dag of in een periode (UHI_{max}). Op basis van metingen van weeramateurs in Nederland is een schatting gemaakt van het UHI in Nederland. Deze zijn vergeleken met gegevens uit andere projecten en uit literatuur⁷. Vanwege de heterogeniteit van steden is het een uitdaging om goede en vergelijkbare metingen te verkrijgen.

De belangrijkste resultaten en conclusies zijn (hoofdstuk 5 en 6):

- Hoe groot is het UHI in Nederlandse steden? Gedurende nachten met rustige weersomstandigheden (met helder weer en weinig wind) kan het UHI in de dichtstbevolkte buurten in Nederland (25.000 inwoners per km²) oplopen tot 8-10 °C, in woonwijken is dat meestal tot 5-7 °C. Gemiddeld is het UHI veel lager: in dit project is in woonbuurten met een bevolkingsdichtheid van ≥ 4000 personen per km² een daggemiddeld UHI in de zomer van 2010 gevonden van 0,6-1,1°C. Het UHI is in de zomer het sterkst, en in de winter veel minder of bijna afwezig. 's Nachts is het UHI sterker dan overdag. De stedelijke configuratie (o.a. bebouwingsdichtheid) heeft een duidelijke invloed op de grootte van het UHI. Bevolkingsdichtheid in een wijk

⁶ Zie voor meer informatie: Bessembinder, J., 2012. Genereren van urenneerslagreeksen in een toekomstig klimaat. Rapport in kader van project "regiospecifieke klimaatinformatie voor Haaglanden en Regio Rotterdam" (KvK-project HSHL04/HSRR05). KNMI TR-320;

⁷ Zie voor meer informatie de achtergrondrapporten: Van Hove, L.W.A., G.J. Steeneveld, C.M.J. Jacobs, B.G. Heusinkveld, J.A., Elbers, E.J. Moors, A.A.M. Holtslag, 2011a. Exploring the urban heat island intensity of Dutch cities: Assessment based on a literature review, recent meteorological observations and datasets provided by hobby meteorologists. Alterra report 2170, ISSN 1566-7197. 60 pp. en Wolters, D., J. Bessembinder & Th. Brandsma, 2011a. Inventarisatie urban heat island in Nederlandse steden met automatische waarnemingen door weeramateurs. KNMI rapport WR-2011-04.



geeft dan ook een betere relatie met de grootte van het UHI dan het totale inwoneraantal van een stad;

- Geven gegevens uit het buitenland ook een goed beeld van de grootte van het UHI in Nederlandse steden? De grootte van het UHI-effect in Nederland komt redelijk overeen met dat in andere Europese landen. Informatie over metingen in andere landen uit literatuur over de invloed van materialen, vegetatie en wateroppervlakken is te beperkt om binnen Nederland het effect van verschillende maatregelen kwantitatief te kunnen vergelijken;
- Neemt het UHI-effect toe in de toekomst als gevolg van klimaatverandering? Waargenomen positieve trends in het UHI-effect worden meestal toegeschreven aan toegenomen verstedelijking en hogere energieproductie door mensen. Veranderende weerpatronen kunnen mogelijk ook leiden tot een toename van het UHI-effect, maar het is niet duidelijk hoe. Door klimaatverandering zal het aantal dagen met hittestress in Nederlandse steden wel toenemen, en relatief sneller dan op het platteland (ook als het UHI-effect gelijk blijft), omdat de temperatuur in de steden nu al dichterbij fysiologisch kritische grenzen ligt.



Regio Rotterdam (links) en Haaglanden (rechts; foto's Noor van Mierlo@KvK).

Summary

Haaglanden and the greater Rotterdam area, in the “South Wing” of the Randstad (approximately the Province of Zuid-Holland), are both highly urbanised areas with high economic activity. Due to strong urbanization and high economic activity the area is more susceptible to weather extremes. In the current climate the large impact of weather extremes has already been noticed. To maintain the economic activities and secure their functioning, the spatial planning of the area should be such that extreme weather events in the current climate and future climate do not cause severe disruptions. To be able to adapt good quality and region specific climate information is needed.

Together with the hotspots Haaglanden and the greater Rotterdam area the most urgent questions were specified, related to the availability of climate information, required new climate information and tools to make the climate information suitable for use. Below these questions are described and the research conducted to answer the questions.

Spatial differences in climate

Society is affected in many ways by climate (rainfall extremes can cause nuisance on roads, weather affects sales of products such as beer and ice cream, weather may affect the transport mode of people or whether they go to the beach or to a city for leisure, etc.). Spatial differences in climate can also be important for this. The stakeholders within the hotspots asked the following questions about this subject:

- How large are the spatial differences in climate within the “South Wing” of the Randstad and are these all represented in the Climate Atlas⁸?
- Do spatial differences in climate change as a result of climate change?

On the basis of a literature review an overview is provided of possible spatial differences in temperature, rainfall, evaporation, wind, radiation, humidity, etc. at multiple spatial scales. In the corresponding background report⁹ several examples are given of spatial differences within the “South Wing” of the Randstad with an explanation of the underlying cause.

Differences in climatology within the Netherlands (chapter 2) are caused by:

- Relatively large scale processes due to, among others, land-sea gradients and differences in altitude. These differences are reflected in the observations at KNMI stations and are shown in the Climate Atlas

⁸ The Climate Atlas (Klimaatatlas), also called the “Bosatlas van het Klimaat” (2011) is a co-production of KNMI and Noordhoff. In the atlas the climate of the Netherlands for the period 1981-2010 is described. This period is used among other in weather forecasts to indicate whether the forecasts are “normal” (below are above the long term average) for the time of the year. Maps and data can be found through www.klimaatatlas.nl;

⁹ Wolters, D., C. Homan, J. Bessembinder, 2011b. Ruimtelijke klimatologische verschillen – met speciale aandacht voor de regio’s Haaglanden en Rotterdam. [Spatial climatological differences – with special attention for the regions Haaglanden and Rotterdam] Report for the project “regiospecifieke klimaatinformatie voor Haaglanden en Regio Rotterdam” (KvK-project HSHL04/HSRR05). KNMI TR-323.



(www.klimaatatlas.nl). For example, the average temperature in Zuid-Holland is lower in summer and higher in winter compared to inland regions of the Netherlands due to the proximity of the sea;

- Local surface characteristics (on a scale of meters to several kilometres), such as the presence of buildings, vegetation. These local characteristics are more important for some climate variables than for others. Rainfall¹⁰ is much less affected by local differences in surface properties than for example temperature and wind.

The main results and conclusions are:

- How large are the spatial differences in climate within the “South Wing” of the Randstad and are these all represented in the Climate Atlas? The KNMI observations provide many of the spatial differences in climate in the Netherlands and these are described in the Climate Atlas. However, very local differences in surface characteristics such as the presence of buildings or vegetation, can lead to substantial differences in climate at short distances (a few meters to kilometres) in particular in temperature and wind (see "Urban heat island effect" below). These spatial differences are not presented in the Climate Atlas, but the background report⁹ on spatial differences gives the available information on this;
- Do spatial differences in climate change as a result of climate change? In the future climate will change, but many of the causes of spatial differences in climate will not change or will not change much: for example differences in altitude, land-sea gradients. Therefore, large-scale spatial patterns¹¹ in climate in the Netherlands will not change much: also in the future the average temperature in the coastal zone will be lower in summer and higher in winter compared with inland regions. However, climate change may affect the relative spatial patterns somewhat: the temperature gradient from the coast may increase or decrease a little and the gradient of extreme summer rainfall in the coastal region could be strengthened. Also changes in local surface characteristics (for example expansion of cities, increasing groundwater levels in nature reserves) can affect the relative spatial patterns in climate somewhat.

Extreme rainfall in the current and future climate

Since the “South Wing” of the Randstad is strongly urbanized, water runs off faster. During heavy rain, particularly during the summer half year, this leads to waterlogging. The “NBW Actueel” states a maximum of once in 100 years waterlogging in urban areas. Therefore, water boards need long rainfall time series on hourly basis to estimate the impacts of heavy rainfall correctly. There are no long observational time series with hourly precipitation (≥ 100 years) in Zuid-Holland. Until now the time series of De Bilt (central Netherlands, from

¹⁰ Besides, for precipitation there is a much denser observation network, therefore possibly existing spatial differences can be measured;

¹¹ Of course, the absolute numbers will change, but the relative differences change far less or hardly. See also for example the “Climate sketchbook” (Klimaatschetsboek, 2009; <http://www.knmi.nl/bibliotheek/knmipubmetnummer/knmipub223.pdf>).

Regiospecifieke klimaatinformatie

1906 on) was often used, increased with 10 % to account for the “coastal effect” (extreme daily rainfall in Zuid-Holland 8-14% higher compared to De Bilt). The adapted time series of De Bilt does not represent all precipitation characteristics of Zuid-Holland very well.

In the future extreme daily precipitation can increase due to climate change according to the KNMI'06 climate scenarios. Since 2007 a tool is available that can generate future rainfall time series on a daily basis. Until now, for analyses of the water system in the future the change in daily precipitation was also applied to hourly precipitation. From research on observations we know that the extreme precipitation on hourly basis in summer increases faster with temperature than the extreme precipitation on daily basis. The current method may underestimate the effect of short extreme precipitation events in the future, and therefore also the chance of waterlogging.

The above led to the following questions:

- Develop a method to generate long hourly rainfall time series for the current climate that represents the characteristics of the climate in Zuid-Holland better compared to the current method;
- Develop a method to generate hourly rainfall time series for the future.

In this project several methods to generate long region specific time series on an hourly basis were explored qualitatively (chapters 3 and 4). For both the current and the future climate one method was further elaborated.

The main results and conclusions are:

- Develop a method to generate long hourly rainfall time series for the current climate that represents the characteristics of the climate in Zuid-Holland better compared to the current method. The developed method for generating region specific long rainfall time series on an hourly basis for the current climate (chapter 3) uses long daily rainfall time series from the region itself and thus provides most rainfall characteristics of the region better than the method that was used until now (De Bilt + 10%): annual precipitation, annual cycle, length of dry and wet periods, multi-day extremes. Also, the method overestimated the extreme hourly rainfall less than the current method, but the extreme 24-hour rainfall is underestimated¹²;
- Develop a method to generate hourly rainfall time series for the future. The developed method (chapter 4) is similar and consistent with the tool to generate time series on a daily basis. The method also takes into account the scientific insight that the extreme hourly rainfall may increase more than the extreme daily rainfall. Preliminary estimates for lower and upper limits for the change of the extreme hourly rainfall within the KNMI'06 climate scenarios are presented (around 2100 in the summer months an in-

¹²Jilderda, R. & J. Bessembinder, 2013. Regiospecifieke lange neerslagtijdreeksen op uurbasis [Region specific long precipitation time series on hourly basis]. Report for the project “regiospecifieke klimaatinformatie voor Haaglanden en Regio Rotterdam” (KvK-project HSHL04/HSRR05). KNMI TR-322.



crease of 18-81%, in the winter months of 13-46%). However, there is still much uncertainty about how much the extreme hourly rainfall can change¹³.

Urban Heat Island effect (UHI)

On average, cities are warmer than the surrounding rural areas (the UHI effect). This causes more problems with heat stress (premature mortality and reduced productivity). At the start of this project, only few measurements on temperatures in Dutch cities were available. In response, the following questions were posed:

- How large is the UHI in Dutch cities?
- Does information from abroad also give a good idea of the intensity of the UHI in Dutch cities?
- Will the UHI-effect increase in the future due to climate change?

To describe the UHI various measures are used: for example the average difference in air temperature between the city and the rural area (UHI_{avg}) or the maximum difference in temperature on a day or in a period (UHI_{max}). An estimate of the UHI effect in the Netherlands was made with the help of measurements of weather amateurs. These estimates are compared with data from other projects and from literature¹⁴. Due to the heterogeneity of cities it is a challenge to obtain good and comparable measurements.

The main results and conclusions are (chapters 5 and 6):

- How large is the UHI in Dutch cities? During nights with calm weather, with clear skies and hardly any wind, the UHI can reach up to 8-10 °C in the most densely populated neighbourhoods in the Netherlands (25.000 inhabitants per km²), in residential quarters it is mostly not higher than 5-7 °C. On average the UHI is much lower: in this project an average UHI in the summer of 2010 of 0.6-1.1 °C was found for residential areas with population densities of ≥ 4000 inhabitants per km². The UHI is strongest in summer, and less or almost absent in winter. During night time the UHI is stronger than during day time. The urban configuration (e.g. building density) has a clear influence on the intensity of the UHI. Therefore, population density in a neighbourhood shows a better relation with UHI intensity than the number of inhabitants of a city;
- Does information from abroad also give a good idea of the intensity of the UHI in Dutch cities? The intensity of the UHI effect in the Netherlands is more or less similar to that in other European countries. Information from

¹³ Bessembinder, J., 2012. Genereren van uurneerslagreeksen in een toekomstig klimaat [Generating hourly precipitation time series for the future climate]. Report for the project "regiospecifieke klimaatinformatie voor Haaglanden en Regio Rotterdam" (KvK-project HSHL04/HSRR05). KNMI TR-320;

¹⁴ Van Hove, L.W.A., G.J. Steeneveld, C.M.J. Jacobs, B.G. Heusinkveld, J.A., Elbers, E.J. Moors, A.A.M. Holtslag, 2011a. Exploring the urban heat island intensity of Dutch cities: Assessment based on a literature review, recent meteorological observations and datasets provided by hobby meteorologists. Alterra report 2170, ISSN 1566-7197. 60 pp. and Wolters, D., J. Bessembinder & Th. Brandsma, 2011a. Inventarisatie urban heat island in Nederlandse steden met automatische waarnemingen door weeramateurs [Inventory of the urban heat island in Dutch cities with automated observations of weather amateurs]. KNMI rapport WR-2011-04.

Regiospecifieke klimaatinformatie

literature on the influence of materials, vegetation and water surfaces is too limited to compare quantitatively the effect of various measures to reduce or limit the UHI in the Netherlands;

- Will the UHI-effect increase in the future due to climate change? Observed positive trends in UHI are usually attributed to increased urbanization and increased energy production by people. Changing weather patterns may possibly also lead to an increase in the UHI effect, but it is not clear how. Due to climate change, the number of days with heat stress in Dutch cities will increase, and relatively faster than in rural areas (even if the UHI intensity remains the same), because the temperatures in cities is already closer to critical physiological thresholds.



1. Achtergrond en doelstelling van het project “Regiospecifieke klimaatinformatie voor Haaglanden en Regio Rotterdam”

De hotspots Haaglanden en Regio Rotterdam binnen het onderzoeksprogramma Kennis voor Klimaat zijn beide sterk verstedelijkte gebieden met een hoge economische activiteit. Ze liggen in het westelijke deel van Nederland in de kustregio, en in de lagere delen van Nederland (de zuidvleugel van de Randstad). Veel van de economische activiteiten in deze gebieden worden op een of andere manier beïnvloed door het weer of het klimaat:

- Hevige neerslag kan zorgen voor wateroverlast op wegen, schade aan gewassen, infrastructuur en gebouwen;
- Een gebrek aan neerslag kan leiden tot uitdroging van veendijken en daarmee een verhoogde kans op dijkdoorbraak, tot lage rivierwaterstanden die de scheepvaart belemmeren en tot een daling van de waterkwaliteit. Voldoende zoetwatervoorziening is van belang om daling van de veenweidegebieden te voorkomen en om verzilting binnen de tuinbouw en natuurgebieden tegen te gaan;
- Hittegolven kunnen een negatieve invloed hebben op de productiviteit van werknemers, maar kunnen gunstig zijn voor de recreatie langs de kust.

Om deze economische activiteiten goed te laten functioneren en te behouden, is het van belang dat het gebied zo is aangepast dat de meeste extremen in het huidige en in het toekomstige klimaat goed kunnen worden opgevangen zonder grote ontwrichtingen (= klimaatrobuuste inrichting).



Regio Rotterdam (links) en Haaglanden (rechts) (foto's: Noor van Mierlo @KvK).

Veel economische sectoren zijn gevoelig voor weersextremen en maken veel gebruik van weers- en klimaatinformatie. Binnen de hotspots Haaglanden en Regio Rotterdam zijn enkele bijeenkomsten gehouden met vertegenwoordigers van verschillende sectoren. De benodigde klimaatinformatie verschilt sterk tussen sectoren en tussen belanghebbenden binnen die sectoren [Bessembinder et al., 2011]. Enkele voorbeelden:

- Temperatuur: verloop gedurende het jaar voor bijv. start en lengte van het hooikoortsseizoen en de planning van het groenbeheer in een stad; aantal vorstdagen en de variatie hierin tussen jaren i.v.m. de benodigde hoeveelheid strooizout;



- Neerslag: jaarlijkse neerslag en de variatie daarin rond 2030-2050 i.v.m. grondwaterbeheer; extreme uurneerslag rond 2050-2100 i.v.m. wateroverlast in steden en glastuinbouwgebieden en de vernieuwing van rioolbuizen;
- Wind: extreme windstoten nu en rond 2050 i.v.m. de constructie van gebouwen; jaarlijkse gang voor de komende 10 jaar voor windenergieproductie;
- Hagel: i.v.m. schade aan kassen nu en in de komende 10 jaar.

De gevolgen van extreem weer worden vooral lokaal gevoeld, vandaar dat men op zoek is naar lokale ofwel regiospecifieke klimaatinformatie.

Doelstelling

Het project “Regiospecifieke klimaatinformatie voor Haaglanden en Regio Rotterdam” heeft als doel meer regiospecifieke klimaatinformatie te verzamelen dan nu beschikbaar is in de Klimaatatlas (www.klimaatatlas.nl) en het Klimaat-schetsboek [KNMI, 2009a].

Het project is gericht op een brede groep gebruikers van klimaatinformatie. Bij de opzet is daarmee rekening gehouden:

- Het eerste onderdeel richtte zich op het in kaart brengen van wat er bekend is over ruimtelijke verschillen in allerlei klimaatvariabelen op de schaal van een gebied als Zuid-Holland, waarin de hotspots Haaglanden en Regio Rotterdam beide liggen (hoofdstuk 2);
- Daarnaast zijn twee onderwerpen, die binnen het gebied en verschillende sectoren veel aandacht krijgen, verder uitgediept. Het gaat hierbij om extreme neerslag (hoofdstuk 3 en 4) en het Urban Heat Island (UHI; het feit dat het in de stad meestal warmer is dan in het buitengebied; hoofdstuk 5 en 6).

In de volgende hoofdstukken worden enkele resultaten van de verschillende onderdelen beknopt beschreven. Uitgebreidere informatie is te vinden in de bijbehorende achtergrondrapporten, die in elk hoofdstuk onder de kop “Verder lezen” staan vermeld.

2. Ruimtelijke verschillen in klimaat binnen Zuid-Holland

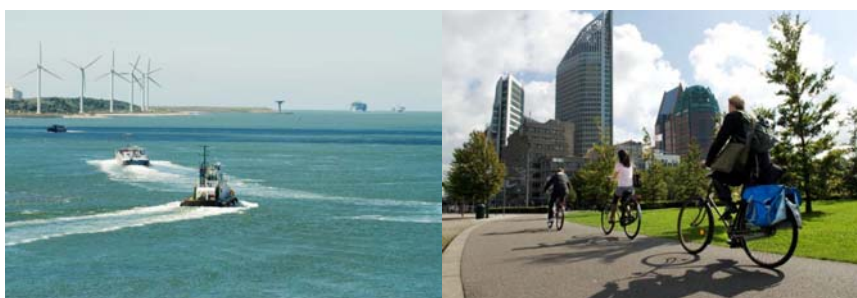
2.1 Achtergrond en onderzoeksvragen

Informatie over het weer en het klimaat¹⁵ wordt gebruikt in veel sectoren, o.a. binnen het waterbeheer, bij de bouw van huizen en in de luchtvaart. Weersinformatie is nodig voor operationele doeleinden; klimaatinformatie wordt gebruikt voor ontwerp, dimensionering en het opstellen van protocollen (wat te doen bij extreme situaties?).

Om goed en tijdig te kunnen reageren hebben gebruikers regiospecifieke klimaatinformatie nodig. Voor een klimaatrobuuste ruimtelijke inrichting en beheer is het van belang dat alle partijen van dezelfde kennisbasis uitgaan. Voor veel gebruikers is de veelheid aan informatie over klimaat en klimaatverandering die ze via verschillende bronnen krijgen verwarrend. Men heeft dan ook vaak behoefte aan een overzicht van wat er wel en niet wetenschappelijk bekend is. De provinciale klimaateffetschetsboeken [DHV/KNMI/Alterra, 2008] en het Klimaatschetsboek [KNMI, 2009a] droegen al bij aan zo'n gezamenlijke kennisbasis. De Hotspots Haaglanden en Regio Rotterdam hadden behoefte aan informatie over verschillen in klimaat op nog kleinere ruimtelijke schaal, aangezien de gevolgen van extremen vooral lokaal gevoeld worden.

Dit leidde tot de volgende onderzoeksvragen:

- Hoe groot zijn de verschillen in klimaat binnen de Zuidvleugel van de Randstad en worden deze allemaal weergegeven door de Klimaatatlas?
- Veranderen de ruimtelijke verschillen in klimaat als gevolg van klimaatverandering?



Regio Rotterdam (links) en Haaglanden (rechts) (foto's: Noor van Mierlo @KvK).

¹⁵ Weer = toestand van de atmosfeer op een bepaald tijdstip; klimaat = langjarige gemiddelden van de toestand van de atmosfeer en de kans op extremen.



2.2 Waardoor worden ruimtelijke verschillen in klimaat veroorzaakt?

Afhankelijk van de klimaatvariabele worden ruimtelijke verschillen in klimaat veroorzaakt door kleinschalige verschillen in oppervlakte-eigenschappen en/of door meer grootschalige processen.

Het KNMI doet waarnemingen op ruim 30 automatische weerstations en ruim 300 neerslagstations verspreid over Nederland. Deze stations liggen allemaal in het landelijk gebied en in open terrein, zodat de waarnemingen representatief zijn voor een groter gebied. Met deze stations zijn de ruimtelijke verschillen in klimaat veroorzaakt door o.a. de overheersende windrichting, de invloed van grote wateroppervlakten zoals de Noordzee en het IJsselmeer, verschillen in hoogte, de invloed van grote steden op de neerslag (bijv. voor Rotterdam) tot op zekere hoogte te meten. Deze ruimtelijke verschillen zijn weergegeven in de klimaatatlas over de periode 1981-2010 (www.klimaatatlas.nl). Daarin staan ook ruimtelijke verschillen in de jaarlijkse gang. Zo is het in de kustzone in de eerste helft van de zomer gemiddeld zonniger en droger dan meer landinwaarts.

De invloed van kleinschalige lokale eigenschappen (op een schaal van enkele meters tot enkele kilometers) worden in de klimaatatlas niet weergegeven. Voorbeelden zijn het effect van de aanwezigheid van gebouwen of bos op de lokale windsnelheid, de invloed van het type begroeiing op de verdamping en luchtvochtigheid, of de invloed van verhard oppervlak versus begroeiing op de temperatuur. Voor sommige klimaatvariabelen, zoals temperatuur en wind spelen deze lokale oppervlakte-eigenschappen een grote rol en kan het zeer lokale klimaat afwijken van wat is weergegeven in de klimaatatlas. Voor andere klimaatvariabelen spelen de lokale verschillen in oppervlakte-eigenschappen geen grote rol: zo wordt de neerslag niet duidelijk beïnvloed door de aanwezigheid van een klein dorp of een beekje. De mate van invloed van lokale oppervlakte-eigenschappen hangt vaak af van de weersomstandigheden:

- Bij een onbewolkte hemel en weinig wind, situaties die vaak bij hittegolven voorkomen, is het verschil in temperatuur tussen stad en platteland in de zomer meestal het grootst. Bij bewolkt weer en veel wind is dit UHI-effect grotendeels afwezig;
- Op de Noordzee ontstaat vaak mist in het zomerhalfjaar. Deze kan in situaties met zeewind deels het land optrekken. In situaties met een redelijke aflandige wind zal dit niet gebeuren.

Gevraagde mate van ruimtelijk detail

“Detail zo ver mogelijk opvoeren tot bijvoorbeeld wijkniveau (1 niveau dieper dan deelgemeente), voor zover dit wat onzekerheden betreft mogelijk is. Andere kaders voor het ruimtelijke detail zouden deelgemeente, maar ook peilgebieden/polders kunnen zijn.”

(KvK project HSRRO1, maart 2009)

“Neerslaggegevens op wijkniveau, Heat Island effect.”

(Ontwikkelbedrijf Rotterdam, december 2008)

“Extremen neerslag en temperatuur, zonuren, windverwachtingen”

(Groenservice Zuid-Holland, december 2008)

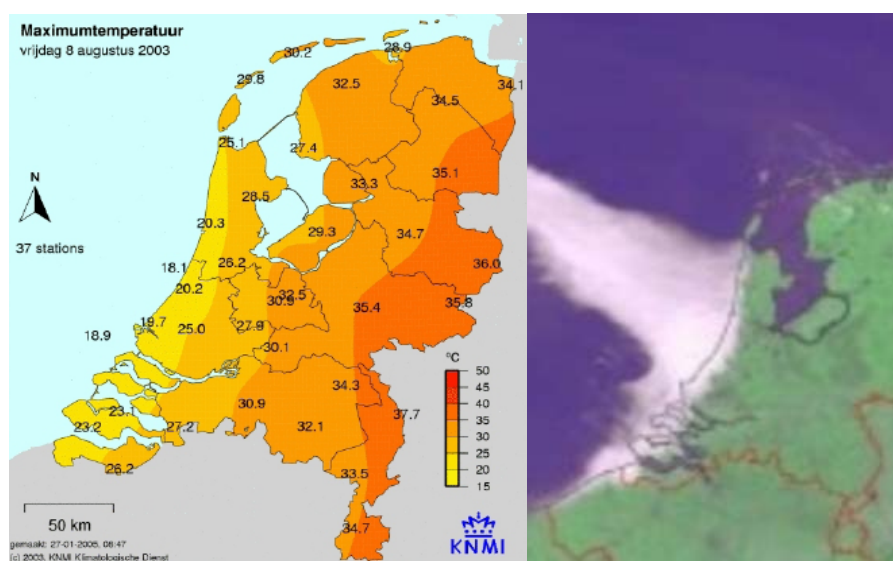
“Kusteffect, windinvloeden (bij rivier), neerslag en temperatuur. Locale verschillen (regio R'dam) t.o.v. landelijke verschillen.”

(HH Schieland en Krimpenerwaard, december 2008)

2.3 Enkele voorbeelden van ruimtelijke verschillen in klimaat

In het achtergronddocument over ruimtelijke verschillen in klimaat (zie par. 2.6) wordt voor de volgende klimaatvariabelen een overzicht gegeven van wat op basis van wetenschappelijke literatuur bekend is over ruimtelijke verschillen: 1. temperatuur, 2. straling en zonneschijn, 3. neerslag, 4. verdamping en neerslagtekort, 5. luchtvochtigheid en mist, 6. wind, en 8. onweer, hagel, sneeuw en ijzel. In dit achtergronddocument wordt kort ingegaan op de ruimtelijke verschillen die ook staan vermeld in de klimaatatlas. Daarna wordt ingegaan op de ruimtelijke verschillen door kleinschalige lokale oppervlakte-eigenschappen. In Tabel 2.1 wordt aangegeven welke aspecten per klimaatvariabele kunnen zorgen voor ruimtelijke verschillen. Hieronder worden 2 voorbeelden uitgelicht.

Figuur 2.1. Zeemist op de Noordzee en langs de Hollandse en Zeeuwse kust op 8 augustus 2003. Rechts: satellietbeeld; Links: maximumtemperaturen op die dag (Bron: AVHRR/DLR/KNMI)





Figuur 2.1. toont een situatie met zeemist op 8 augustus 2003. In een strook langs de kust van Zuid-Holland werd in de loop van de dag het zicht beperkt, maar ook de maximumtemperaturen waren die dag aanzienlijk lager langs de kust dan meer landinwaarts.



Mist in Rotterdam (foto: Erik de Haan).

Tabel 2.1. Inschatting van het relatieve belang van verschillende oorzaken van ruimtelijke verschillen in klimaat in Nederland. Bij lege vakjes is een significante beïnvloeding niet waarschijnlijk; bij één bolletje is er een geringe beïnvloeding; bij twee bolletjes is de invloed relatief groot.

	Kust-effect ^A /zee-wind	Stad/ru-raal	Vegetatie	Wateroppervlak	Bodemvocht	Hoogteverschillen	Luchtkwaliteit	Albedo	Ruwheid
Temperatuur	••	••	••	••	•	•	•	•	
Straling/zonneschijnduur ^B	••	•				•	•		
Neerslag	••	•	•			••	•		
Ref. gewasverdamping	••					•	•		
Potentieel neerslagtekort	••	•	•			••	•		
Actuele verdamping	••	••	••	••	••	•	•	•	
Luchtvochtigheid/mist	••	••	••	••	••	•	• ^C		
Wind	•• ^D	•• ^D	•• ^D	•• ^D					••
Sneeuw/ijzel	• ^E	• ^F	• ^F	• ^F		• ^F		• ^F	
Onweer/hagel	•								

^A Inclusief grote open wateroppervlakten;

^B Met uitzondering van het effect van lokale beschaduwing door gebouwen en vegetatie;

^C Geldt enkel voor mist;

^D Door effect op ruwheid;

^E Invloed op het optreden van sneeuwval en de vorming van ijzel;

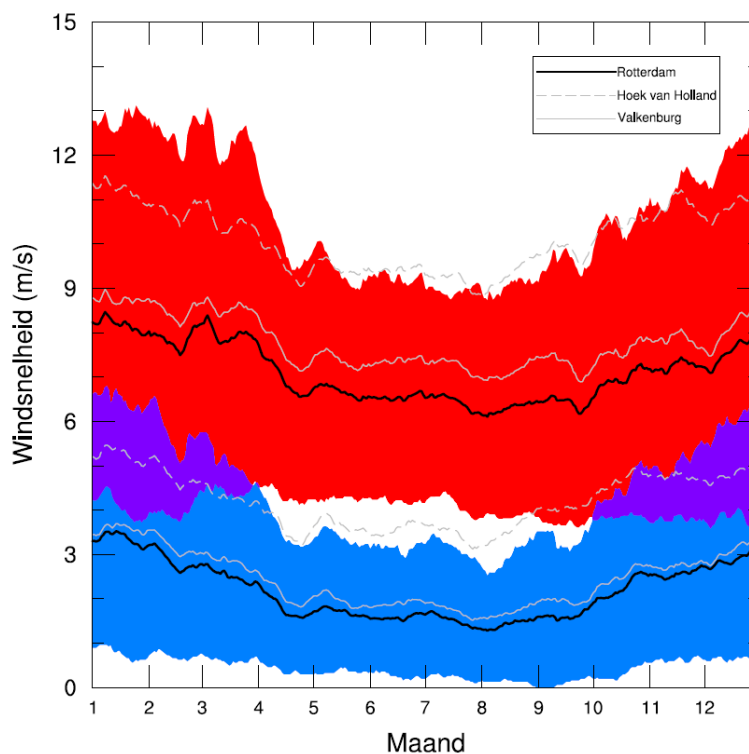
^F Invloed op het blijven liggen van sneeuw, en de vorming en het blijven liggen van ijzel.

Figuur 2.2 geeft de klimatologie voor minimum- en maximumwindsnelheden voor drie KNMI-stations in Zuid-Holland. De windsnelheden op station Hoek van Holland zijn het hoogst. Dit station staat op een pier in het water. Meer landinwaarts wordt de windsnelheid minder door de grotere "ruwheid" van het landoppervlak. Station Rotterdam, het meest landinwaarts gelegen, heeft dan ook de laagste windsnelheden van de drie stations. Ook op kleinere schaal bestaan er verschillen in windsnelheid (en in windrichting) door de aanwezigheid van bijvoorbeeld gebouwen en bomen.

Droogte en waterkeringen

"Delfland heeft veel droogtegevoelige regionale waterkeringen (veendijken). Bij een te groot neerslagtekort treedt een protocol in werking. Op basis van dit protocol inspecteert Delfland deze waterkeringen intensief. Voor Delfland is het van belang inzicht te hebben met welke frequentie, hoelang en in welke periode van het jaar een bepaald neerslagtekort wordt overschreden en hoe dit naar verwachting door klimaatverandering gaat veranderen."
(Hoogheemraadschap van Delfland)

Figuur 2.2. 15-daags doorlopende gemiddelde minimum (blauw) en maximum (rood) windsnelheid in Rotterdam, Hoek van Holland en Valkenburg (1981-2010) met voor Rotterdam de waarden die gemiddeld elke tien dagen over- of onderschreden worden (gekleurde vlakken).



2.4 Samenvatting belangrijkste ruimtelijke verschillen

Temperatuur: Binnen Zuid-Holland bestaan er ruimtelijke verschillen in temperatuur door de temperende werking van de Noordzee. Hierdoor is de dagelijkse en jaarlijkse gang in temperatuur in de kuststrook kleiner dan in het binnen-



land. Daarnaast hebben lokale oppervlakte-eigenschappen invloed op de energiebalans en daarmee op de lokale temperatuur. Het oppervlak in steden is heel anders dan op het platteland, wat een gemiddeld hogere temperatuur in steden veroorzaakt (hoofdstukken 5 en 6). In vochtige gebieden of gebieden met hoge grondwaterstanden kan er ook een temperend effect optreden door de aanwezigheid van veel vocht (en veel verdamping).

Straling: De hoeveelheid straling en de duur van de zonneshijn worden m.n. bepaald door de bewolking. Wolkenvorming is een relatief grootschalig proces. De aanwezigheid van de Noordzee heeft invloed op de wolkenvorming en de jaarlijkse gang in straling. Daarnaast wordt de hoeveelheid straling beïnvloed door mistvorming, welke vrij lokaal kan zijn (bijv. zeemist, slootmist). Ook (lokale) luchtvervuiling kan van invloed zijn op de hoeveelheid straling die het aardoppervlak bereikt.

Neerslag: Kleinschalige oppervlakte-eigenschappen hebben, i.t.t. bij temperatuur, weinig invloed op de lokale neerslag. Wel lijkt de aanwezigheid van steden en grote oppervlakken met bijv. bos effect te hebben. Binnen Zuid-Holland zijn de gemiddelde jaarneerslag en de extremen hoger ten noordoosten van Rotterdam dan in het omringende gebied. Hoogteverschillen hebben ook invloed op de neerslag, maar deze zijn binnen Zuid-Holland klein. In de kuststrook (tot 30-50 km landinwaarts) valt met name in de herfst, wanneer het zeewater relatief warm is, meer neerslag.



Grote hagelstenen (foto: Dirk Wolters).

Verdamping en neerslagtekort: Ruimtelijke verschillen in referentiegewasverdamping¹⁶ worden vooral veroorzaakt door verschillen in temperatuur en straling. De referentiegewasverdamping is in het voorjaar en het eerste deel van de zomer hoger lang de kust dan meer landinwaarts. Dit wordt veroorzaakt door de grotere hoeveelheid straling in die periode in de kuststrook, en ondanks de wat lagere temperatuur. Vooral de temperatuur kan zorgen voor verschillen op

¹⁶Dit is de verdamping van gras dat goed voorzien is van water en nutriënten. Het is daarmee de maximale verdamping van een standaardgewas bij de weersomstandigheden op een bepaalde dag.

Regiospecifieke klimaatinformatie

kleine schaal in de referentiegewasverdamping. De actuele verdamping wordt sterk beïnvloed door nog andere kleinschalige lokale verschillen, zoals het type plant en de groeiomstandigheden (o.a. watervoorziening en bemesting). Het neerslagtekort wordt gebruikt als een maat voor droogte en is het verschil tussen de neerslag en de referentiegewasverdamping over een bepaalde periode. Ruimtelijke verschillen in neerslagtekort worden veroorzaakt door ruimtelijke verschillen in referentiegewasverdamping en neerslag.

Wind: De windsnelheid wordt sterk bepaald door de ruwheid van het landschap (langs de kust waait het harder, en bij veel bebouwing en bos is de windsnelheid geringer). Op zeer lokale schaal kan de aanwezigheid van individuele gebouwen en bomen ook invloed hebben op de windsnelheid en – richting. In Zuid-Holland kunnen ook ruimtelijke verschillen in windsterkte en -richting optreden in situaties met een zeewindcirculatie.

Luchtvochtigheid en mist: Luchtvochtigheid en mist kunnen sterk lokaal beïnvloed zijn. Deze ruimtelijke verschillen worden vooral veroorzaakt door verschillen in verdamping en temperatuur. De kans op mist is het grootst boven veenachtige en vochtige bodems en boven wateroppervlakken.

Onweer, hagel, sneeuw en ijzel: Onweer en hagel worden veroorzaakt door relatief grootschalige verschijnselen. Er zijn geen sterke verschillen in het voorkomen van onweer binnen Zuid-Holland. Ijzel is een verzamelterm voor neerslagsoorten die een ijslaag achterlaten op de ondergrond. Een eerste voorwaarde hiervoor is een koude, bij voorkeur bevroren ondergrond. Evt. ruimtelijke verschillen in het voorkomen van ijzel worden dan ook vooral veroorzaakt door verschillen in de temperatuur van de ondergrond.



Sneeuw in december 2010 in Rotterdam (foto: Erik de Haan).

2.5 Conclusies en discussie

De KNMI-waarnemingen geven veel van de ruimtelijke verschillen in klimaat binnen Nederland weer en deze worden beschreven in de Klimaatatlas. Echter, zeer lokale verschillen in oppervlakte-eigenschappen zoals de aanwezigheid van gebouwen of vegetatie, kunnen op korte afstanden (enkele meters tot kilometers) bij m.n. bij temperatuur en wind leiden tot aanzienlijke verschillen in



klimaat (zie bij “stadseffect” verderop). Deze worden niet in de Klimaatatlas weergegeven, maar het achtergrondrapport over ruimtelijke verschillen geeft de beschikbare informatie hierover.

Weinig kwantitatieve informatie over lokale ruimtelijke verschillen

Er is in het verleden weinig onderzoek gedaan naar zeer lokale ruimtelijke verschillen in klimaat binnen gebieden ter grootte van Zuid-Holland. Voor de klimaatvariabelen waarvoor wel iets meer bekend is, is er vaak niet voldoende informatie om de ruimtelijke verschillen goed te kwantificeren. Wel is uit de algemene meteorologische kennis af te leiden welke aspecten invloed hebben op ruimtelijke verschillen. Binnen Zuid-Holland zijn de ruimtelijke verschillen in klimaat door kleinschalige lokale oppervlakte-eigenschappen echter voor de meeste klimaatvariabelen niet erg groot t.o.v. de klimatologie weergegeven in de klimaatatlas (een uitzondering is bijv. het temperatuurverschil door het Urban Heat Island).

Belang van ruimtelijke verschillen voor gebruikers?

Veel gebruikers van klimaatinformatie zullen vermoedelijk voldoende hebben aan de algemene klimatologie zoals beschreven in de klimaatatlas. Meer informatie van gebruikers over het belang van kleinschalige ruimtelijke verschillen is nodig om dit goed te kunnen beoordelen. Als de lokale ruimtelijke verschillen belangrijk zijn, is mogelijk meer monitoring nodig.

Ruimtelijke verschillen in de toekomst

In de toekomst verandert het klimaat, maar veel van de oorzaken van ruimtelijke verschillen in het huidige klimaat veranderen niet of niet veel: bijv. hoogteverschillen, land-zeeovergangen. Daarom zullen grootschalige ruimtelijke patronen in het klimaat binnen Nederland niet veel veranderen: zo zal de gemiddelde temperatuur in de kustregio ook in de toekomst in de zomer lager en in de winter hoger zijn dan in het binnenland, en zal het in de kustregio in de tweede helft van de zomer relatief meer regenen dan landinwaarts. Wel kan klimaatverandering de relatieve ruimtelijke patronen iets beïnvloeden: de gradiënt van de temperatuur vanaf de kust kan bijv. iets toenemen of afnemen en de gradiënt van extreme neerslag in de zomer in de kustregio kan versterkt worden. Ook veranderingen in lokale oppervlakte-eigenschappen (bijv. uitbreiding van steden, vernatting van natuurgebieden) kunnen de relatieve ruimtelijke patronen in het klimaat enigszins beïnvloeden.

2.6 Verder lezen

Achtergrondrapport bij dit project:

Wolters, D., C. Homan, J. Bessembinder, 2011b. Ruimtelijke klimatologische verschillen – met speciale aandacht voor de regio’s Haaglanden en Rotterdam. Rapport in kader van project “regiospecifieke klimaatinformatie voor Haaglanden en Regio Rotterdam” (KvK-project HSHL04/HSRR05). KNMI TR-323.

3. Extreme neerslag: regiospecifieke lange urneerslagreeksen voor het huidige klimaat

3.1 Achtergrond en onderzoeksvragen

Binnen Haaglanden en Regio Rotterdam speelt wateroverlast (en in mindere mate watertekort) een grote rol [Nieuwkerk et al., 2010; Hoogvliet et al., 2011]. Door het grote percentage verhard oppervlak reageert het watersysteem in Zuid-Holland snel op neerslag. In het Nationaal Bestuursakkoord Water actueel is voor stedelijk gebied een norm vastgelegd die stelt dat er niet vaker dan eens in de 100 jaar wateroverlast mag optreden. Om de gevolgen van extreme neerslag in het huidige klimaat goed te kunnen inschatten heeft men regiospecifieke lange neerslagreeksen op uurbasis nodig (>100 jaar). Voor Zuid-Holland zijn twee urneerslagreeksen vanaf begin jaren '70 beschikbaar. Lange dagneerslagreeksen zijn wel voor meer stations beschikbaar.



Veel “verhard” oppervlak: glastuinbouw in Haaglanden (foto: Noor van Mierlo, @KvK).

Buishand et al. [2009] hebben de verschillen in dagneerslagextremen en meerdaagse neerslagextremen binnen Nederland gekwantificeerd. Met name in Zuid-Holland zijn de extreme neerslagsommen hoger dan in De Bilt (Tabel 3.1)¹⁷. De gedefinieerde neerslagregimes worden toegepast op de extreme waarden voor 1, 2, ..., 9 dagen. Voor extreme urneerslag zijn geen significante ruimtelijke verschillen aangetoond.

¹⁷ De hogere extreme dagneerslag in het westen van het land wordt ook vaak het “kusteffect” op de neerslag genoemd. Echter, ook het verschil in jaarlijkse gang met het binnenland wordt veroorzaakt door de overgang van zee naar land. De hogere gemiddelde neerslag en de hogere extreme neerslag in de kustregio worden waarschijnlijk deels veroorzaakt door de overheersende zuidwestelijke wind en de overgang van zee naar land. Ook de aanwezigheid van grote steden speelt een rol [Wolters et al., 2011a; hoofdstuk 2].



Binnen het Hoogheemraadschap Delfland gebruikt men tot nu toe voor impact-analyses de meetreeks van De Bilt (Midden-Nederland) als basis, met een op-hoging van 10% vanwege het kusteffect. De Bilt is de enige meetreeks op uur-basis in Nederland met 100 jaar aan waarnemingen. Daarbij wordt impliciet aangenomen dat deze reeks het huidige klimaat representeert. We weten echter dat de gemiddelde neerslag in de afgelopen eeuw is toegenomen. De voor Zuid-Holland aangepaste meetreeks van De Bilt onderschat en overschat mogelijk bepaalde neerslagextremen: de neerslagregimes bij Tabel 3.1 geven voor het grootste deel van Zuid-Holland een 8% hogere of 14% hogere extreme neerslag. Daarmee kan ook de kans op wateroverlast in de kustregio worden over- of onderschat.

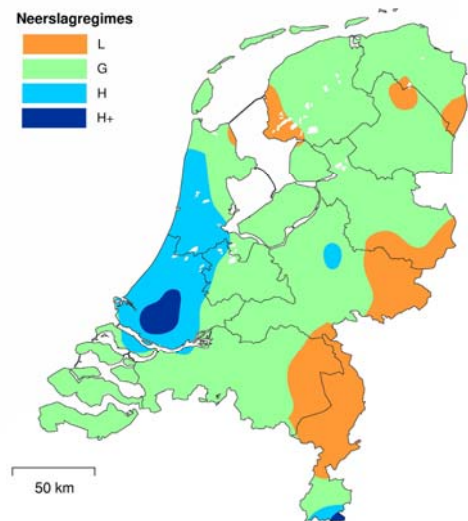
Inschatten wateroverlast

“Het voorkomen van wateroverlast is voor Delfland een van de kerntaken. Momenteel maakt Delfland hiervoor bij modelberekeningen gebruik van de neerslagtijdreeks van De Bilt en corrigeert deze voor het kusteffect. Als het mogelijk is een gebiedsspecifiekere reeks te hanteren kan het risico van wateroverlast nauwkeuriger worden beschreven. Hiermee wordt de werkelijkheid beter benaderd en verkleint de kans op over- en of onderinvesteren.”

(Hoogheemraadschap van Delfland)

Tabel 3.1: Neerslaghoeveelheid (mm) in 24 uur die eens per 10 jaar wordt overschreden voor het klimaat over de periode 1951-2005 voor de vier neerslag-regimes [Buishand et al., 2009].

Neerslag regime	1951-2005	Factor
L	50	0,93
G	54	1,00
H	58	1,08
H+	62	1,14



Bovenstaande leidde tot de volgende onderzoeksvragen:

- Hoe verschilt de neerslag in Zuid-Holland van de neerslag in De Bilt in het huidige klimaat en is de (extreme) neerslag in Zuid-Holland anders veranderd dan in de rest van Nederland?
- Ontwikkel een methode om lange neerslagreeksen op uurbasis voor het huidige klimaat te maken die het klimaat binnen Zuid-Holland beter weergeeft dan de huidige methode.

In dit hoofdstuk worden enkele resultaten getoond. Meer informatie is te vinden in het achtergrondrapport (zie par. 3.5).

3.2 Enkele resultaten: verschillen in neerslagklimaat en trends

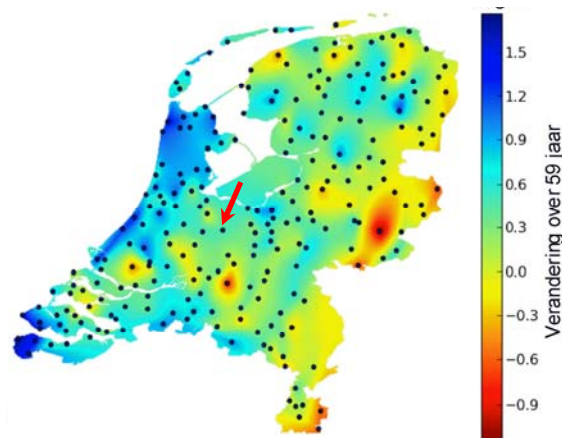
Tabel 3.2. laat een kort overzicht zien van een aantal karakteristieken van neerslag op verschillende plaatsen in Nederland. Het verschil in het aantal natte dagen (neerslag $\geq 0,1$ mm) kan de verschillen in jaarneerslag tussen locaties niet verklaren. De verschillen in gemiddelde jaarneerslag worden voor een aanzienlijk deel verklaard door de verschillen in gemiddelde neerslag op natte dagen. Die hogere gemiddelde dagneerslag wordt voor een aanzienlijk deel weer bepaald doordat het gemiddeld langer regent op natte dagen.

Uit onderzoek van Buisland et al. [2009] en Overeem et al. [2009] komt naar voren dat de neerslagextremen op dagbasis significant verschillen tussen De Bilt en het grootste deel van Zuid-Holland. Voor extreme neerslag per uur zijn er echter geen significante verschillen gevonden. Bij een neerslagduur vanaf ongeveer 4 uur beginnen er regionale verschillen op te treden.

Tabel 3.2: Karakteristieken van de jaarlijkse neerslag (00.00-24.00 UTC) voor de periode 1981-2010.

Locatie	Dagen per jaar met			Jaarlijkse hoeveelheid (mm)	Duur neerslag (uren; werkelijke duur)
	$\geq 0,3$ mm	$\geq 1,0$ mm	≥ 10 mm		
De Bilt	163	131	24	832,5	662,6
Rotterdam LH	164	131	25	855,6	679,4
Valkenburg VK	166	132	23	841,2	598,7

Figuur 3.1: Veranderingen in aantal dagen met meer dan 30 mm neerslag gedurende de periode 1951-2009. De 240 neerslagstations zijn aangegeven door zwarte punten [Buisland et al., 2011]. De locatie van De Bilt is met een rode pijl aangegeven.



Figuur 3.1 laat de trend in het aantal dagen per jaar met meer dan 30 mm neerslag zien op neerslagstations van het KNMI. Over de periode 1951-2009 is er in de kustregio voor de meeste plaatsen een grotere toename te zien dan in De Bilt. Door het verschil in trend tussen De Bilt en plaatsen in Zuid-Holland representeert een neerslagreeks die gebaseerd is op de reeks van De Bilt minder goed de afgelopen 100 jaar in Zuid-Holland.



3.3 Methoden om lange urneerslagreeksen te maken

In Zuid-Holland zijn geen lange gemeten tijdreeksen met neerslag per uur beschikbaar. Er zijn verschillende methoden, naast de huidige methode, om toch lange, synthetische tijdreeksen te maken (Tabel 3.3):

1. “transformatie” reeks van De Bilt: de verschillen in het huidige klimaat tussen De Bilt en Zuid-Holland (gemiddelden en extremen op dagbasis) worden gebruikt om de reeks van De Bilt aan te passen;
2. disaggregatie van dagwaarden¹⁸ van een lange tijdreeks op dagbasis in Zuid-Holland m.b.v. een kortere tijdreeks op uurbasis uit Zuid-Holland;
3. disaggregatie van dagwaarden van een lange tijdreeks op dagbasis in Zuid-Holland m.b.v. gegevens op uurbasis van De Bilt;
4. stochastische neerslaggenerator: een aantal statistische eigenschappen wordt bepaald m.b.v. de kortere urneerslagreeksen in Zuid-Holland om vervolgens lange synthetische reeksen van uurwaarden te genereren die voldoen aan deze statistische eigenschappen.

Tabel 3.3: Overzicht alternatieve methoden voor het genereren van regiospecifieke neerslagtijdreeksen op uurbasis: hoe goed kunnen ze de verschillende klimaatvariabelen weergegeven? ++ = exact weergegeven; + = redelijk weergegeven; o = enigszins aangepast voor de regio; - = niet/niet goed aangepast voor de regio.

	De Bilt+10% (huidige methode)	1. Transformatie	2. Disaggregatie met reeks Zuid-Holland	3. Disaggregatie met reeks De Bilt	4. Neerslag-generator
Gem. jaar-neerslag, jaarlijkse gang en aantal dagen met neerslag	+	++	++	++	++
Extreme dag-neerslag	+	+	++	++	+ / ++
Gem. aantal uren met neerslag	-	-	+	o	++
Extreme uur-neerslag	-	-	+	o	+ / ++ ^A
Lengte reeks	Ong. 100 jaar	Ong. 100 jaar	Ong. 100 jaar	Ong. 100 jaar	>> 100 jaar
Representatief voor ...	Ong. afgelopen 100 jaar, maar trend niet goed	Afgelopen 100 jaar	Afgelopen 100 jaar/afgelopen 30-100 jaar voor urneerslag	Afgelopen 100 jaar	Ong. afgelopen 30 jaar

^AOok met deze methode blijkt het niet eenvoudig heel extreme urneerslag goed te representeren.

Methode 4 lijkt op basis van een kwalitatieve vergelijking het meest veelbelovend, maar kon niet binnen de beschikbare tijd worden uitgewerkt. Methode 3 lijkt bijna even goed als methode 2 en daarnaast een veel sneller alternatief, met op een aantal punten een duidelijk betere weergave van de regiospecifie-

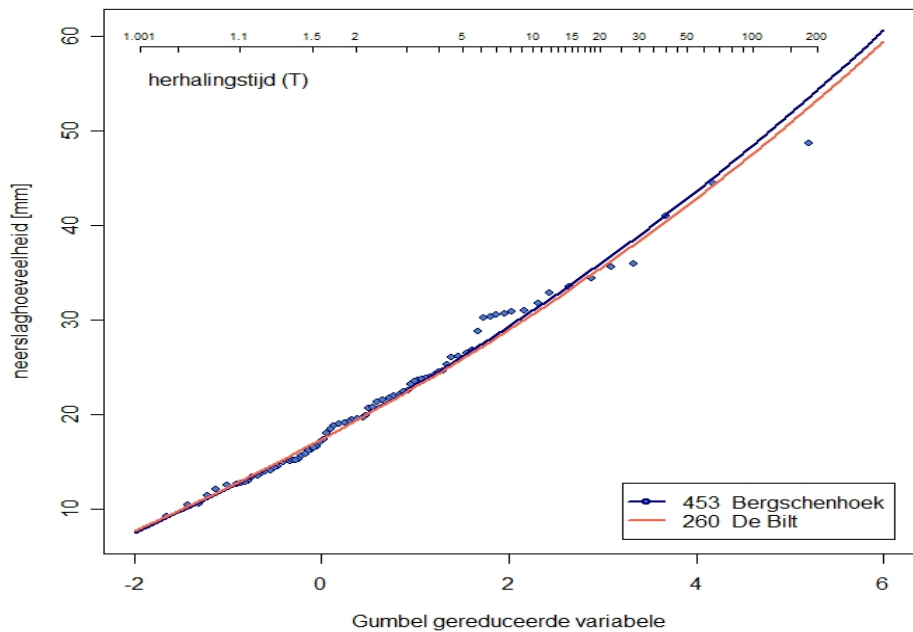
¹⁸ Disaggregatie = het opdelen van de dagneerslagsommen in urneerslagsommen.

Regiospecifieke klimaatinformatie

ke aspecten van neerslag dan de huidige methode, aangezien veel meer informatie uit de regio zelf wordt gebruikt. Deze methode is uitgewerkt en vergeleken met de methode die tot nu toe werd gebruikt.

Voor het demonstreren van de methode is één station gekozen in Zuid-Holland met een lange tijdreeks op dagbasis en vrij centraal gelegen, nl. Bergschenhoek.

Figuur 3.2: Herhalings-tijden (in jaren, bovenaan) voor extreme 2-uurlijkse neerslag voor de gegenereerde uur-neerslagreeks van Bergschenhoek over de periode 1909-2010 en op basis van de neerslagstatistiek van De Bilt [Smits et al., 2004].



Tabel 3.4.: Hoeveelheid neerslag die eens per jaar wordt overschreden voor de gedisaggregeerde neerslagreeks van Bergschenhoek voor de periode 1909-2010 en voor De Bilt [neerslagstatistiek: Smits et al., 2004¹; Buishand & Wijngaard, 2008; Overeem et al., 2008].

Duur (uren)	Bergschenhoek	De Bilt	Verhouding
1	14,9 ^A	14,4	1,02 ^A
2	18,1 ^A	17,4	1,04 ^A
4	21,4	20,8	1,03
6	23,7	23,3	1,02
8	25,5	24,7	1,04
12	28,1	27,5	1,02
24	34,1	33,2	1,03
48	43,3	41,0	1,06
96	57,7	52,3	1,10

^A Waarde na correctie: +13% voor een neerslagduur van 1 uur, en +4% voor een neerslagduur van 2 uur. De waarden voor De Bilt voor een neerslagduur van 1 uur en 2 uur zijn afgeleid uit neerslagduren korter dan 1 uur, de waarden voor Bergschenhoek konden alleen uit uurneerslagreeksen worden afgeleid.

Figuur 3.2. laat de herhalings-tijden van verschillende hoeveelheden neerslag per twee uur zien in de gegenereerde uurreeks voor Bergschenhoek met bovenstaande methode 3. De reeks wordt vergeleken met de reeks van De Bilt (bij een herhalings-tijd van 10 jaar hoort een hoeveelheid per 2 uur van ongeveer 30 mm). Tabel 3.4. laat zien hoeveel de uurlijkse en meeruurlijkse neerslag die gemiddeld eens per jaar wordt overschreden verschilt tussen deze uurneerslagreeks voor Bergschenhoek en de statistiek voor De Bilt.



Wateroverlast Coolingsel in Rotterdam (foto: Hilde Ongering).

3.4 Conclusies

Vergelijking van de methoden

De hier uitgewerkte methode voor het genereren van lange neerslagtijdreeksen op uurbasis (disaggregatie van dagneerslagreeksen uit de regio m.b.v. uurneerslagreeksen van De Bilt) geeft verschillende klimaatvariabelen exact of veel beter weer voor de regio (jaarneerslag, jaarlijkse gang, trend, meerdaagse extreme neerslag) en/of leidt tot minder overschatting (extreme uurneerslag) dan met de huidige methode (De Bilt + 10%). Alleen de 24-uurs extreme neerslag wordt meer onderschat dan in de huidige methode. Goede weergave van de extreme uurneerslag is vooral belangrijk voor stedelijk gebied en voor gebieden met veel glastuinbouw. Voor gebieden met veel grasland zijn extreme buien met een langere duur belangrijker.

Nadelen van beide methoden

Nadelen van zowel de hier uitgewerkte methode als de tot nu toe gebruikte methode:

- Ze geven mogelijk niet goed het huidige klimaat weer, vanwege de aanwezigheid van trends in de gebruikte historische reeksen. Dit leidt o.a. tot het onderschatten van de jaargemiddelde neerslag en van extreme neerslag;
- Eigenlijk zijn reeksen van ongeveer 100 jaar te kort voor het goed bepalen van lange herhalingscycli (100 jaar of meer).

Om de bovenstaande punten te overkomen zou het beter zijn een geheel andere methode te gebruiken voor het genereren van lange tijdreeksen op uurbasis. Uit de kwalitatieve vergelijking in Tabel 3.2. komt de "neerslaggenerator" als meest belovende methode naar voren.

Welke methode in de toekomst gebruiken?

Een vergelijkende studie tussen de huidige methode en de hier uitgewerkte methode kan laten zien of de hier uitgewerkte methode ook leidt tot andere conclusies m.b.t. het optreden van wateroverlast dan de tot nu toe gebruikte methode¹⁹. Het zou interessant zijn daarbij ook tijdreeksen gegenereerd met een neerslaggenerator betrekken.

De methode van disaggregatie van dagneerslagreeksen m.b.v. de urneerslagreeks van De Bilt is in dit project uitgewerkt voor één station. Het lijkt aannemelijk dat de methode voor andere stations vergelijkbare resultaten oplevert, maar dit moet verder onderzocht worden.

Wateroverlast en jaarlijkse gang in de neerslag

“Bij het voorkomen van wateroverlast zoekt Delfland samen met private partijen en gemeenten naar kosteneffectieve oplossingen. Een deel van de mogelijke oplossingen (bijvoorbeeld hemelwaterbuffering door tuinders) is waarschijnlijk in een bepaald deel van het jaar gemakkelijker te realiseren dan in andere delen van het jaar. Voor het goed doorlopen van gebiedsprocessen is er daarom behoefte aan inzicht in de risico's op wateroverlast in de verschillende perioden van het jaar. Inzicht in de verschillende kansen van neerslagextremen in de verschillende perioden van het jaar helpt daar bij.”
(Hoogheemraadschap van Delfland)

Naast een goede weergave van de neerslagextremen in de tijd binnen de regio is een goede weergave van de omvang van de buien ook van belang voor het inschatten van de kans op wateroverlast. De hier gepresenteerde methoden besteden hier geen aandacht aan. Overeem [2009] heeft onderzoek gedaan naar “gebiedsextremen” met behulp van 10 jaar radardata. Een langere reeks met waarnemingen en meer onderzoek is echter nodig voor een goede vertaling van puntwaarnemingen naar gebiedsneerslag.

3.5 Verder lezen

Achtergrondrapport bij dit project:

Jilderda, R. & J. Bessembinder, 2013. Regiospecifieke lange neerslagtijdreeksen op uurbasis. Rapport in kader van project “regiospecifieke klimaatinformatie voor Haaglanden en Regio Rotterdam” (KvK-project HSHL04/HSRR05). KNMI TR-322.

¹⁹ Hoes et al. [2005] laten zien dat tijdreeksen van verschillende stations in Nederland leiden tot verschillende waterstanden.



4. Extreme neerslag: neerslag per uur in de toekomst

4.1. Achtergrond en onderzoeksvraag

Het stedelijk en landelijk watersysteem in Zuid-Holland reageert snel op neerslag door het grote percentage verhard oppervlak. Om de gevolgen van de toename in hevige neerslag in de toekomst goed te kunnen inschatten heeft men klimatologische gegevens over de neerslag per uur in de toekomst nodig.

Voor de KNMI'06 klimaatscenario's [KNMI, 2009b] is er een programma voor het genereren van neerslagreeksen op dagbasis voor de toekomst beschikbaar [http://climexp.knmi.nl/Scenarios_monthly; Bakker & Bessembinder, 2012]. Dit programma genereert tijdreeksen voor de toekomst die passen bij één van de vier KNMI'06 klimaatscenario's voor een bepaalde tijdshorizon. Dit gebeurt door een verandering toe te passen op waargenomen tijdreeksen. Tot nu toe werd voor de neerslag per uur op een bepaalde dag meestal dezelfde verandering toegepast als volgt uit de transformatie van de dagwaarden. We weten echter dat de extreme urneerslag in de zomer sneller met de temperatuur kan veranderen dan de extreme dagneerslag [Lenderink et al., 2011]. De tot nu toe gebruikte methode onderschat daarom mogelijk de urneerslagextremen.



Wateroverlast in het centrum van Rotterdam (foto: Hilde Ongering).

Bovenstaande leidde tot het volgende onderzoeksvraag:

- Ontwikkel een programma dat neerslagtijdreeksen op uurbasis voor de toekomst kan genereren, die passen bij de KNMI'06 klimaatscenario's en de op basis van expertkennis mogelijk geachte verandering in urneerslag. Bovendien moeten de gegenereerde tijdreeksen op uurbasis consistent zijn met de neerslagtransformatie op dagbasis.

In dit hoofdstuk worden enkele resultaten getoond. Meer informatie is te vinden in het achtergrondrapport (zie par. 4.5).

Wateroverlast en jaarlijkse gang in de neerslag

“Wat betreft waterhuishoudkundige aspecten is voor Delfland vooral van belang om door dit onderzoek meer inzicht te krijgen in hoe het beste met de neerslagreeks kan worden gewerkt, zodanig dat regionale verschillen zoals het kusteffect zo goed mogelijk kunnen worden meegenomen. Dat geldt voor de huidige situatie, maar ook voor de klimaatscenario's.”

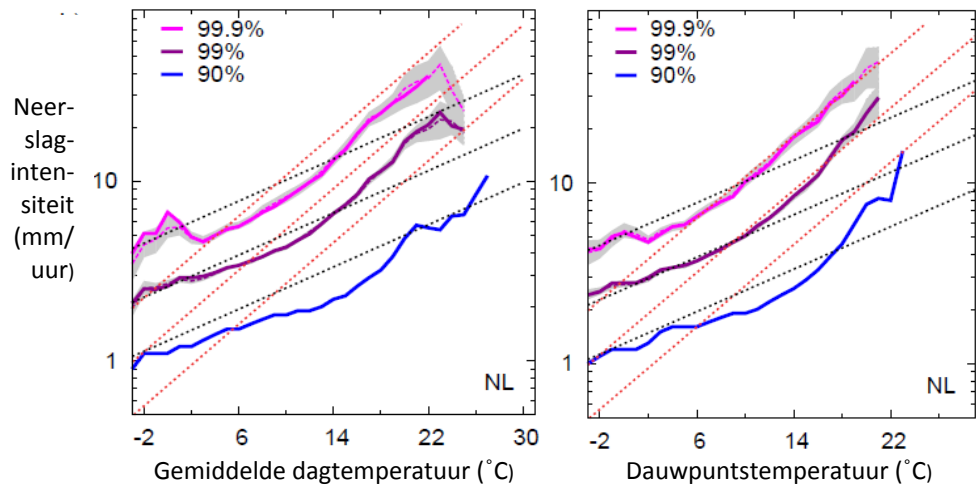
(Hoogheemraadschap van Delfland, juli 2009)

4.2. Wat weten we over de verandering van uurneerslag?

Onderzoek van Lenderink & van Meijgaard [2008] en Lenderink et al. [2011] aan waarnemingen laat zien dat tot een bepaalde temperatuur de extreme uurneerslagintensiteit toeneemt met ongeveer 7% per graad °C temperatuurstijging, zoals ook vaak bij dagextremen te zien is. Bij hogere temperaturen is de toename van de extreme neerslagintensiteit per uur echter sterker (tot ong. 14% per graad °C; Figuur 4.1).

Volgens de KNMI'06 klimaatscenario's stijgen de temperatuur en de extreme dagneerslag met een herhalingstijd van 10 jaar in de toekomst. De extreme neerslagintensiteit op uurbasis zal ook toenemen [Lenderink et al., 2011], maar er is weinig bekend over hoeveel de gemiddelde intensiteit zal toenemen en ook over de toename van extremen is maar beperkte informatie beschikbaar.

Figuur 4.1: Verband tussen extreme neerslagintensiteiten (voor het 90, 99 en 99,9 percentiel; y-as) en gemiddelde dagtemperatuur en dauwpuntstemperatuur (x-assen). Gebaseerd op 15 jaar data (1995-2011), 27 stations in Nederland. De zwarte gestippelde lijn geeft een stijging van 7% per °C aan, de rode gestippelde lijn 14% per °C [Lenderink et al., 2011].





Wateroverlast in Egmond aan Zee, augustus 2006 (foto's: Peter de Graaff).

Er zijn aanwijzingen dat de extreme neerslag in de zomer langs de kust sneller verandert dan meer landinwaarts [KNMI, 2009b]. De G en W klimaatscenario's bevatten voldoende marge om het effect van de warme Noordzee mee te nemen, maar bij gebruik van de G+ en W+ scenario's wordt de invloed van het warmer wordende zeewater op de neerslag in de kuststrook waarschijnlijk onderschat.

Klimaatverandering en ruimtelijke ordening

“De grenzen van de stedelijke uitbreiding zijn in Haaglanden ongeveer bereikt. Om economische groei en bevolkingsaanwas zich hierop aan te passen, kiezen partijen in Haaglanden de komende jaren voor herstructurering en verdichting van bestaand stedelijk- en glastuinbouwgebied. Deze opgave zal de komende jaren worden bemoeilijkt door de omvangrijke vraag naar ruimte voor water. Deze vraag hangt samen met klimaateffecten die ook op korte termijn al merkbaar zijn: extreme buien hebben reeds een aantal keren gezorgd voor wateroverlast en schade.”

(KvK Hotspot Haaglanden)

4.3. Uurtransformatie: enkele resultaten

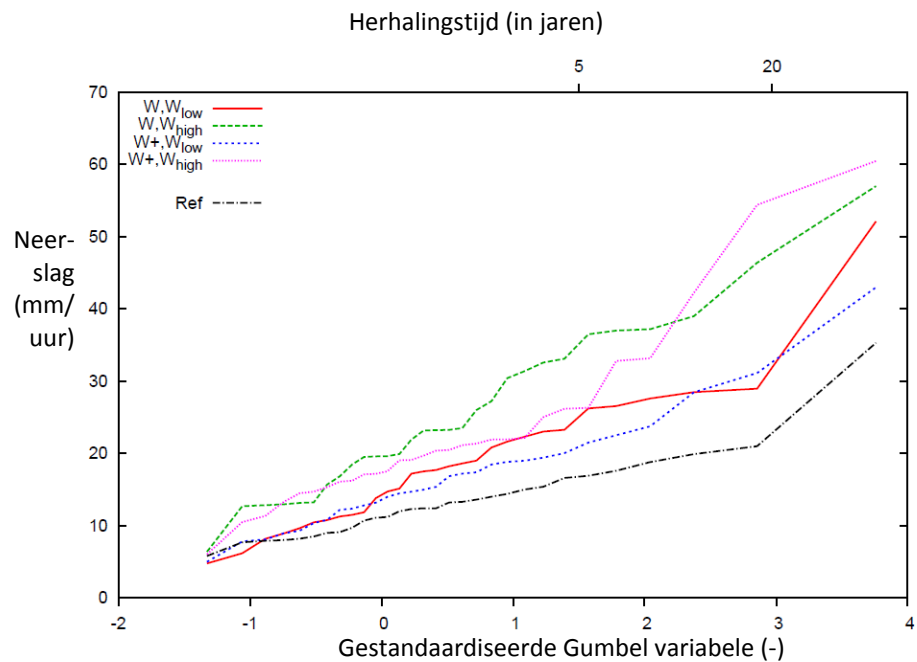
Om de consistentie met de getransformeerde dagneerslag te bewaren is de volgende methode toegepast:

- Sommeer de urneerslagsommen tot dagsommen;
- Transformeer de dagneerslagsommen naar de toekomst, m.b.v. het bestaande transformatieprogramma voor dagsommen;
- Transformeer vervolgens de historische urneerslagsommen zodanig dat de som op elke dag gelijk is aan de getransformeerde dagneerslagsom. Hiervoor is een methode gebruikt die vergelijkbaar is met de huidige dagtransformatie. Alleen de gewenste verandering in een bepaalde extreme neerslag (99-percentiel) wordt opgegeven. Het uurtransformatieprogramma bepaald hoeveel de andere percentielen moeten veranderen.

De bovenstaande methode gebruikt alleen expliciet informatie over extreme urneerslag, waarover uit het onderzoek van o.a. Lenderink et al. [2011] wat

bekend is. Figuur 4.2 toont de herhalingstijden van uurneerslagsommen met verschillende herhalingstijden in de zomer²⁰ in het huidige klimaat van Rotterdam en rond 2100 voor de W en W+ scenario's. Met de beperkte kennis over de verandering van uurneerslag in de toekomst is een grove schatting van de boven- en ondergrens van de veranderingen gemaakt²¹. Deze is gebruikt in Figuur 4.2. In het hoogste geval in deze figuur (W_{high}) stijgt de uurneerslag die gemiddeld eens in de 100 uur met neerslag²² wordt overschreden rond 2100 bijna 80%, in het laagste geval (W_{low}) is dat 18%, ten opzichte van de periode 1976-2005.

Figuur 4.2: Extreme uurneerslag in de maanden juni-augustus, die eens in de zoveel jaar overschreden wordt (x-as, boven) voor het huidige klimaat (1976-2005= Ref) van Rotterdam en voor het W en W+ scenario rond 2100. Voor beide scenario's zijn telkens de boven (high) en ondergrenzen (low) van de mogelijke veranderingen van de extreme uurneerslag gebruikt.



4.4 Conclusies

Hoe werkt het uurtransformatieprogramma?

Met het hier uitgewerkte uurtransformatieprogramma is het mogelijk de uurneerslag sterker te laten veranderen dan de dagneerslag, zoals voor de toekomst waarschijnlijk is op basis van wetenschappelijk onderzoek [Lenderink et al., 2011]. Ook bij extreme situaties (bijv. W+ in de zomer rond 2100) werkt het huidige programma (de opgelegde verandering wordt in de getransformeerde

²⁰ De figuren 4.2 en 3.2 zijn niet eenvoudig met elkaar te vergelijken: Figuur 3.2 geeft herhalingstijden voor 2-uurlijkse neerslag, voor een langere periode, voor het hele jaar, voor andere stations en met een andere methode dan in figuur 4.2;

²¹ In het achtergrondrapport staat aangegeven hoe de ranges zijn bepaald. Ook wordt aangegeven waar deze ranges mogelijk te hoge of lange schattingen geven voor de verschillende klimaatscenario's;

²² Dit komt overeen met een herhalingstijd van ongeveer eens in de 1,5-1,7 jaar in de individuele zomermaanden.



reeks verwerkt) en de consistentie met de dagneerslagtransformatie blijft behouden.

Alternatieve methoden zijn overwogen, maar het leek het meest wenselijk om een methode te gebruiken die methodisch aansluit op het dagtransformatieprogramma, zoals de hier uitgewerkte methode.

Waarvoor kan het uurtransformatieprogramma gebruikt worden?

- De hier gepresenteerde methode is bedoeld voor gevoeligheidsanalyses m.b.t. waterbeheer in het toekomstig klimaat. Er bestaat nog veel onzekerheid over de waarden voor de veranderingen in uurneerslag. Voorlopige schattingen voor onder- en bovengrenzen voor de verandering van de extreme uurneerslag binnen de KNMI'06 klimaatscenario's zijn aangegeven in het achtergrondrapport (rond 2100 in de zomermaanden een toename van 18-81%, in de wintermaanden van 13-46%) voor gebruik in gevoeligheidsanalyses. Deze onder- en bovengrenzen zijn grove schattingen;
- In het uurtransformatieprogramma wordt geen rekening gehouden met ruimtelijke verschillen in veranderingen. Uit onderzoek is bekend dat er in het huidige klimaat wel significante ruimtelijke verschillen bestaan in extreme dagneerslag [Buishand et al., 2009], maar geen significante verschillen in extreme uurneerslag [Overeem et al., 2009] en dat in de kustregio de extreme neerslag anders kan veranderen dan in de rest van Nederland [KNMI, 2009b]. Aangezien dit niet expliciet in het uurneerslagtransformatieprogramma is verwerkt, kan dit programma niet met dezelfde onder- en bovengrenzen op grote schaal ingezet worden. Er is uit klimaatmodellen te weinig coherente informatie beschikbaar om de onder- en bovengrenzen van mogelijke veranderingen in uurneerslag ruimtelijk te differentiëren. Het wordt daarom aangeraden dit programma alleen voor individuele stations te gebruiken of voor enkele dicht bij elkaar gelegen stations (en ook niet voor stations in verschillende delen van Nederland indien de samenhang tussen die stations van belang is);
- Als men het uurtransformatieprogramma gebruikt om de uurneerslagreeksen gegenereerd met de methode uit hoofdstuk 3 te transformeren, komen dezelfde beperkingen terug in de tijdreeksen voor de toekomst: 1. bepaalde regiospecifieke neerslagkarakteristieken worden niet helemaal goed weergegeven, 2. De reeks onderschat mogelijk verschillende neerslagkarakteristieken voor de toekomst, vanwege de aanwezige trend in de historische reeks.

Verder onderzoek

Er is tot nu toe vrij weinig bekend over veranderingen in neerslag per uur in de toekomst. Voor simulatie van neerslag en neerslagextremen in de kustregio is een goede simulatie van de temperatuur van het Noordzee water van belang. Voor verdere ontwikkeling van het uurtransformatieprogramma is deze informatie nodig. In Thema 6 van KvK wordt hier enig verder onderzoek naar gedaan.

Regiospecifieke klimaatinformatie



Neerslag in Rotterdam (foto: Hilde Ongering).

4.5 Verder lezen

Achtergrondrapport bij dit project:

Bessembinder, J., 2012. Methode voor het genereren van uurneerslagreeksen in een toekomstig klimaat. Rapport in kader van project "regiospecifieke klimaatinformatie voor Haaglanden en Regio Rotterdam" (KvK-project HSHL04/HSRR05). KNMI TR-320.



5. Stadsklimaat: wat kunnen we leren uit buitenlands onderzoek?

5.1 Achtergrond en onderzoeksvragen

In de stad is het gemiddeld warmer dan op het platteland (Figuur 5.1). Dit wordt het Urban Heat Island (UHI) genoemd. In Nederland is aandacht voor dit UHI ontstaan na de hittegolven in 2003 en 2006 en in 2007 moest de marathon van Rotterdam worden afgelast vanwege de hitte. Uit onderzoek blijkt dat tijdens dit soort extreem warme perioden een aanzienlijk aantal mensen voortijdig overleden door hittestress [Haines et al., 2006]. Ook de arbeidsproductiviteit neemt duidelijk af bij hittestress.

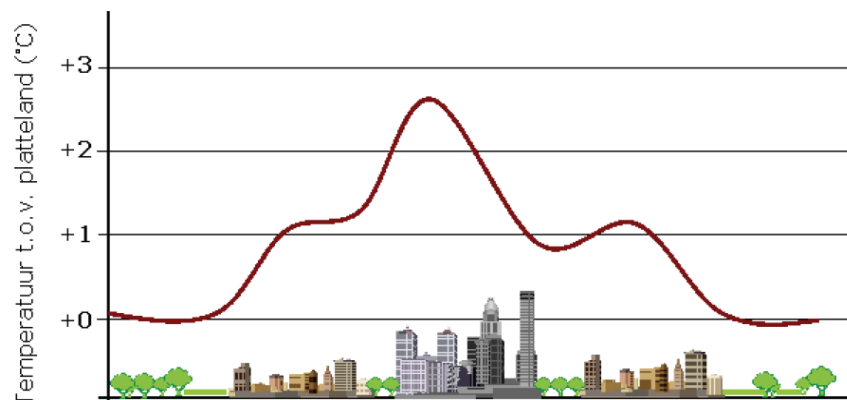
Bij het begin van dit project was het is niet goed bekend hoe groot het UHI-effect is in Nederlandse steden, aangezien er bijna geen temperatuurmetingen in Nederlandse steden waren waarmee de grootte van dit stadseffect kon worden bepaald. Informatie uit andere landen in Europa of daarbuiten is mogelijk bruikbaar om een schatting van dit stadseffect voor Nederland te maken.

Bovenstaande leidde tot de volgende onderzoeksvragen, die door middel van literatuuronderzoek zijn beantwoord:

- Wat is het UHI-effect?
- Neemt het UHI-effect toe in de toekomst als gevolg van klimaatverandering?
- Wat is de invloed van stadsgrootte, stadsconfiguratie en –morfologie op het UHI-effect?
- Hoe groot is het UHI-effect in andere Europese steden?

In dit hoofdstuk worden enkele resultaten getoond. Meer informatie en de gebruikte literatuur voor de onderstaande conclusies zijn in het achtergrondrapport te vinden (zie par. 5.6).

Figuur 5.1: Schematische weergave van het stadseffect op de luchttemperatuur, ofwel het UHI-effect.

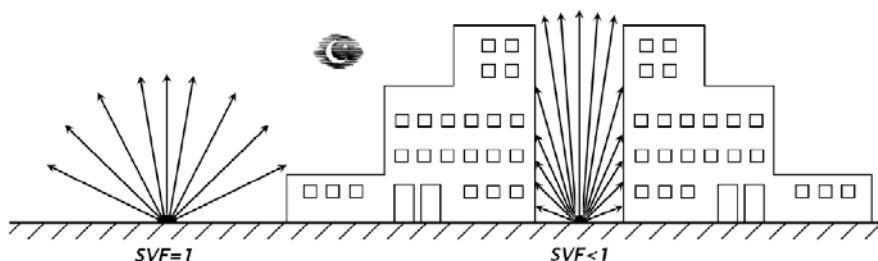


5.2 Definitie van het UHI-effect

In onderzoek wordt het UHI-effect²³ meestal bepaald door de luchttemperatuur in de stad te vergelijken met de luchttemperatuur op een dichtbij gelegen locatie in het buitengebied. Dit verschil in temperatuur is meestal het grootst gedurende de nacht, doordat de lucht in een stad minder efficiënt afkoelt dan op het platteland (Figuur 5.2). In de ochtend kan het effect vrijwel afwezig zijn (of zelfs licht negatief). Ook verschilt de sterkte van het UHI over het jaar. Het gemiddelde temperatuurverschil over het jaar zegt dus niet zoveel.

Omdat men in het UHI is geïnteresseerd vanwege hittestress, kijkt men vooral naar de maximale waarde van het UHI op een dag of in een bepaalde periode (UHI_{max}). Hoge waarden van het UHI treden meestal op tijdens de nacht, in situaties met weinig wind en weinig bewolking.

Figuur 5.2: Efficiëntere afkoeling in het buitengebied dan in de stad door een hogere "Sky View Factor" (SVF).



5.3 Historische en toekomstige trends

Er zijn trends waargenomen in het UHI. Deze meestal positieve trends worden toegeschreven aan toegenomen verstedelijking (o.a. bevolkingstoename en verdichting) en een hogere energieproductie door mensen. Er zijn ook aanwijzingen dat veranderende weerpatronen zouden kunnen leiden tot een toename van het UHI. Het is echter niet duidelijk welke aspecten van klimaatverandering hiertoe kunnen leiden.

Aangezien de temperatuur stijgt als gevolg van klimaatverandering door de toename van broeikasgassen, zal ook de temperatuur in steden stijgen. Door de toename van de verstedelijking en de klimaatverandering lijkt het zeer aannemelijk dat hittestress in de toekomst een groter probleem gaat worden [Nijhuis, 2011]. De gemiddelde maximum temperatuur in het buitengebied in de warmste maand (juli) ligt in Zuid-Holland tussen de 21 en 23 °C (1981-2010) en is rond Rotterdam wat hoger dan rond Den Haag. De KNMI'06 klimaatscenario's geven een gemiddelde temperatuurstijging van 0,9 tot 2,8 °C in de zomermaanden rond 2050 t.o.v. 1976-2005, maar de temperatuur van de warm-

²³ In het rapport van Klok et al. [2010] is gekeken naar de oppervlaktetemperatuur (Surface Heat Island) en niet naar het UHI, waarbij gekeken wordt naar de luchttemperatuur.



ste zomerdag per jaar stijgt met 1,0 tot 3,8 °C²⁴ [KNMI, 2009b]. De studie van Sterl et al. [2008] geeft ook aan dat de extreem hoge temperaturen sneller kunnen stijgen dan de gemiddelden in Nederland. Het aantal dagen met hittestress kan in steden relatief sneller toenemen dan op het platteland (ook als de temperatuurstijging gelijk is), omdat de temperatuur in steden nu al dichterbij fysiologisch kritische grenzen zit.



Water geeft verkoeling, Rotterdam (foto: Noor van Mierlo @KvK).

5.4 Invloed van stadseigenschappen op de grootte van het UHI

Stedelijke configuratie

De stedelijke configuratie is een belangrijke factor voor de sterkte van het UHI. Een afname van de "Sky View Factor" (Figuur 5.2), een maat voor de hoogte van gebouwen en hoe dicht ze op elkaar staan, gaat vaak samen met een toename van het UHI. Het UHI is over het algemeen het sterkst in die delen van een stad waar veel zonlicht komt, waar weinig wind is en weinig ruimte voor bomen. In Europese steden geldt dit het meest voor de centra van de steden. Ook modelstudies laten een invloed van de stedelijke configuratie op het UHI zien [van Hove et al., 2011b].

Tabel 5.1: Albedo van verschillende materialen die in steden worden gebruikt [van Hove et al., 2011a].

Materiaal		Albedo
Straten	asfalt	0,05-0,2
Muren	beton	0,10-0,35
	rode baksteen	0,20-0,30
geverfde oppervlakten	wit, whitewash	0,50-0,90
	zwart	0,02-0,15
andere oppervlakte	droog gras	0,30
	droog zand	0,20-0,30

²⁴ Rond 2100 is de stijging 2 maal zo groot in de KNMI'06 klimaatscenario's. De gemiddeld hoogste maximumtemperatuur in Rotterdam in de periode 1976-2005 is 31,0 °C [KNMI, 2009a].

Eigenschappen van materialen

De eigenschappen van materialen (thermische en stralingseigenschappen), die worden gebruikt in steden, zoals beton, asfalt, dakbedekking, hebben invloed op de intensiteit van het UHI. Tabel 5.1 geeft enkele voorbeelden van de albedo van verschillende materialen, een maat voor hoeveel zonlicht wordt teruggekaatst. Als er weinig zonlicht wordt teruggekaatst is er meer energie beschikbaar om de omgeving op te warmen. Steden hebben over het algemeen een lagere albedo dan het platteland. De grootte van het effect van de afzonderlijke materialen op het UHI is echter moeilijk vast te stellen, omdat in steden zo veel verschillende materialen door elkaar worden gebruikt.

Effect van vegetatie en water

Vegetatie heeft een verkoelend effect als de planten voldoende van water zijn voorzien. Voor kleine parken (< 3 ha) is een effect van 1 °C gerapporteerd. Grotere parken (>10 ha) kunnen een groter verkoelend effect hebben, dat bovendien ook door kan werken in het direct omringende bebouwde gebied.

Er is weinig kwantitatieve informatie beschikbaar over het verkoelende effect van water. Voorlopige resultaten geven aan dat het verkoelende effect vermindert gedurende de zomer, wanneer de watertemperatuur hoger wordt.



Verkoelend effect van vegetatie, Haaglanden (foto: Noor van Mierlo @KvK).

De huidige kennis over het verkoelende effect van verschillende typen vegetatie is beperkt. Het is dan ook niet goed mogelijk om specifieke aanbevelingen te doen over op welke manier meer groen in een stad kan worden opgenomen om het stadseffect zo veel mogelijk te beperken. Hetzelfde geldt voor de kennis over het effect van water op het UHI.

Kwantitatieve informatie over de relaties tussen de eigenschappen van de bebouwing en het UHI is nodig om afwegingen te kunnen maken m.b.t. de meest efficiënte adaptatiemaatregelen. Er is meer onderzoek nodig naar de invloed van de stedelijke configuratie en gebruikte bouwmaterialen op het UHI. Dit wordt o.a. gedaan binnen Thema 4 van het KvK-programma.



Grootte van het stedelijk hitte eiland effect

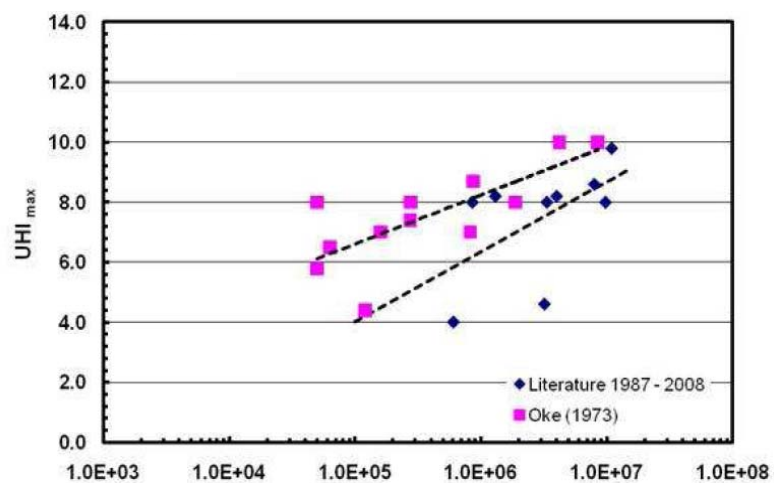
“Vanuit het Rotterdam Climate Proof programma is de vraag gesteld in hoeverre Rotterdam als gevolg van klimaatverandering (en geplande ontwikkelingen in de stad) last (of profijt) gaat krijgen van het stedelijk hitte eiland effect.”
(in Nijhuis, 2011. *Hittestress in Rotterdam*)

“Het gebied klimaatbestendig en tegelijkertijd optimaal aantrekkelijk te maken voor werken en wonen.”
(doelstelling KvK hotspot Rotterdam)

5.5 Hoe groot is het UHI in Europese steden?

Figuur 5.3. geeft een overzicht van gevonden UHI_{max} waarden in Europese steden uit verschillende onderzoeken. De relatie tussen UHI_{max} en het inwoneraantal van een stad, zoals gerapporteerd door Oke [1973], wordt niet bevestigd door recent onderzoek. Waarschijnlijk zijn andere factoren, zoals de bevolkingsdichtheid en karakteristieken van een buurt (o.a. de stedelijke configuratie, gebruikte materialen en de hoeveelheid groen en water²⁵) meer bepalend voor de intensiteit van het UHI.

Figuur 5.3: UHI_{max} (°C) gemeten 's nachts tijdens helder en kalm weer in Europa, uitgezet tegen het inwoneraantal van steden (x-as), uit verschillende literatuurbronnen [van Hove et al., 2011a].



De UHI_{max} waarden in Nederlandse steden (zie Hoofdstuk 6) zijn vergelijkbaar met de UHI_{max} waarden gevonden in andere Europese steden. De UHI_{max} waarden in Noord-Amerikaanse steden zijn hoger dan die in Europa. Waarden in Japan zijn vergelijkbaar, en die in Zuid-Korea zijn lager dan in Europa.

²⁵ Klok et al. [2010] vonden een duidelijke invloed van m.n. de albedo en de emissiviteit op de oppervlaktetemperatuur, maar ook de Sky View Factor heeft een invloed.



Invloed materialen op UHI-effect, Haaglanden (foto: Noor van Mierlo @KvK).

5.6 Verder lezen

Achtergrondrapport bij dit project:

Van Hove, L.W.A., G.J. Steeneveld, C.M.J. Jacobs, B.G. Heusinkveld, J.A., Elbers, E.J. Moors, A.A.M. Holtslag, 2011a. Exploring the urban heat island intensity of Dutch cities: Assessment based on a literature review, recent meteorological observations and datasets provided by hobby meteorologists. Alterra report 2170, ISSN 1566-7197. 60 pp.



6. Stadsklimaat: schatting van het UHI op basis van metingen in Nederland

6.1 Achtergrond en onderzoeksvraag

Bij de start van dit project in 2009 waren er weinig metingen van de luchttemperatuur in bebouwd gebied beschikbaar om de grootte van het UHI-effect in Nederland te kunnen bepalen. In Nederland zijn veel weeramateurs actief, mensen die als hobby metingen doen aan het weer, vaak met semi-professionele apparatuur. Een groot aantal van deze weeramateurs woont en meet bovendien in steden. Veel van deze weeramateurs geven hun actuele metingen door aan de website www.hetweeractueel.nl. Deze website archiveert de metingen echter niet of nauwelijks.

Voor dit project is een samenwerking aangegaan met de weeramateurs via de bovenstaande website, waarbij het KNMI de metingen archiveerde en extra informatie verzamelde over de meetlocaties. De metingen zijn vervolgens geanalyseerd om de volgende onderzoeksvragen te beantwoorden:

- Hoe sterk is het UHI in Nederlandse steden?
- Hoe varieert het UHI in Nederlandse steden als functie van de typologie van de bebouwing, de tijd (van het jaar en van de dag), en de weersituatie?
- In hoeverre geven schattingen en relaties uit de internationale wetenschappelijke literatuur ook een goed beeld van de grootte van het UHI in Nederlandse steden?



Deelnemende weeramateurs (foto: Karin Broekhuijsen).

Sinds 2008 en de start van dit project in 2009 zijn er ook metingen binnen Nederland verzameld in andere projecten met behulp van metingen per fiets [KNMI in Utrecht: Brandsma, 2010; WUR in Rotterdam en Arnhem: van Hove et al., 2011a], via enkele nieuwe meetstations in Rotterdam [WUR in Rotterdam: Van Hove et al., 2011b] en op basis van metingen van weeramateurs [WUR: Steeneveld et al., 2011]. In 2009 heeft Wageningen Universiteit and Research Centre (WUR) ook meetgegevens van een 19-tal weeramateurs verzameld en

geanalyseerd. Er is daarbij gebruik gemaakt van door weeramateurs zelf gearchiveerde metingen variërend van 6 maanden tot 10 jaar in de periode 1999-2009. Resultaten van bovenstaande onderzoeken worden in dit hoofdstuk ook aangehaald en vergeleken met een aantal analyses uit dit project. In dit hoofdstuk worden enkele resultaten getoond. Meer informatie is in het achtergrondrapport te vinden [Wolters et al., 2011a].



KNMI-weerstation Rotterdam (links) en meetapparatuur bij een weeramateur (rechts; foto: Z. de Boer).

6.2 Gebruikte metingen van weeramateurs

Het UHI-effect in Nederland is in dit project onderzocht aan de hand van automatische temperatuurwaarnemingen uit het jaar 2010 afkomstig van weeramateurs. Na een selectie op basis van verschillende criteria voor de kwaliteit, vergelijkbaarheid en de beschikbaarheid van de gegevens, bleven 19 stations over in landelijk en in verschillende mate verstedelijkt gebied. De selectie is zo uitgevoerd dat zeer lokale effecten zijn uitgesloten (bijv. invloed van de nabijheid van een muur of weinig wind door een beschutte plek)²⁶. Het UHI-effect is telkens bepaald door de gemeten temperatuur te vergelijken met het dichtstbijzijnde KNMI-station in het buitengebied. Dit station bevond zich in alle gevallen op minder dan 15 km afstand van het onderzochte weeramateurstation.

Met behulp van de locatie en CBS-gegevens is bepaald wat de bevolkingsdichtheid is in de buurt waarin elke meetlocatie zich bevindt. Zes stations bevinden zich in buurten met een bevolkingsdichtheid van meer dan 4000 personen per km². In en rond Den Haag zijn minder weeramateurs actief. Bovendien is daar door het kusteffect op de temperatuur geen geschikt KNMI-station voorhanden om het UHI te bepalen.

²⁶ In dit onderzoek zijn niet dezelfde 19 weeramateurstations gebruikt als in Steeneveld et al. [2011].



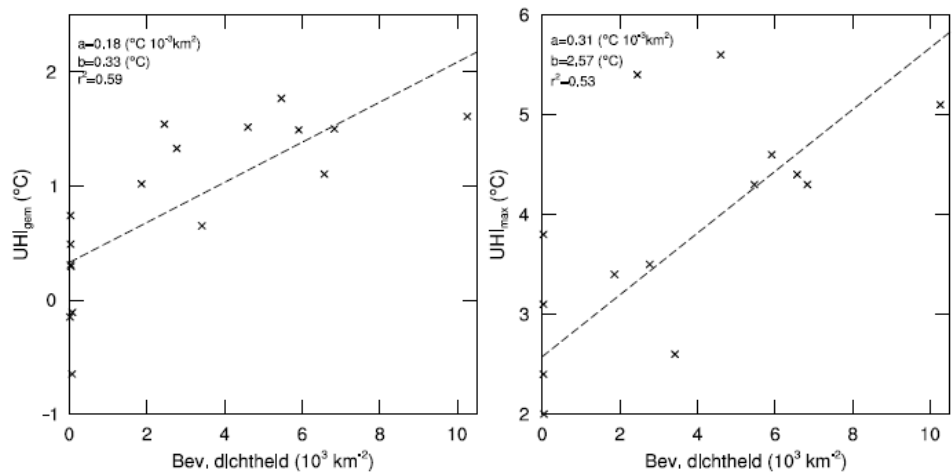
Leefbaarheid

“Met Rotterdam Climate Proof wordt niet alleen een duurzame en klimaatbestendige stad gerealiseerd, maar ook een aantrekkelijke stad met een sterke economie. Het fysieke klimaat in Rotterdam is daarvoor een van de bepalende factoren. Hoe het klimaat ook verandert, door in te spelen op de klimaatverandering kan tegelijk de leefbaarheid van de stad worden bevorderd en de ontwikkeling gestimuleerd.”

(website Rotterdam Climate Initiative)

49

Figuur 6.1: Relatie tussen het UHI_{gem} en UHI_{max} en de bevolkingsdichtheid, van 23:00 t/m 5:00 lokale tijd in de periode van 24 juni tot en met 23 juli 2010.



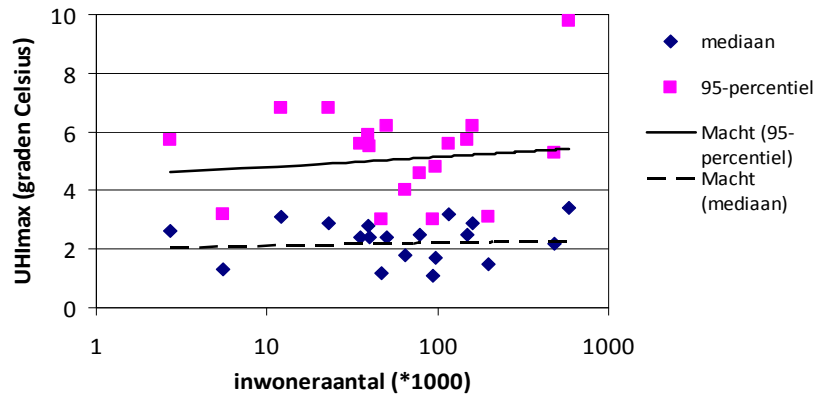
6.3 De grootte van het UHI-effect: enkele resultaten

Invloed stedelijke configuratie

In hoofdstuk 5 is geconstateerd dat het inwoneraantal van een plaats geen goede relatie vertoont met UHI_{max} . De bevolkingsdichtheid vertoont wel een sterkere relatie met de stedelijke configuratie. Figuur 6.1 toont de relatie tussen het UHI 's nachts in een warme periode in 2010 en de bevolkingsdichtheid, op basis van metingen in dit project. De relatie tussen het gemiddelde UHI in de nacht en de bevolkingsdichtheid is iets beter dan die met de UHI_{max} . Steeneveld et al. [2011] vonden op basis van metingen van weeramateurs over de periode 1999-2009 dat de relatie tussen UHI_{max} en bevolkingsdichtheid beter was dan tussen UHI_{max} en het inwoneraantal. Figuur 6.2. toont UHI_{max} waarden uit het onderzoek van de WUR met weeramateurgegevens uit de periode 1999-2009 [Van Hove et al., 2011a]. De hoogste waarden voor UHI_{max} in Figuur 6.1. zijn wat lager dan die in Figuur 6.2. Dit kan komen doordat niet dezelfde perioden met metingen zijn gebruikt. Maar waarschijnlijk komt het ook doordat de stations uit Figuur 6.1 aan wat strengere selectiecriteria zijn onderworpen om zeer lokale effecten uit te sluiten.

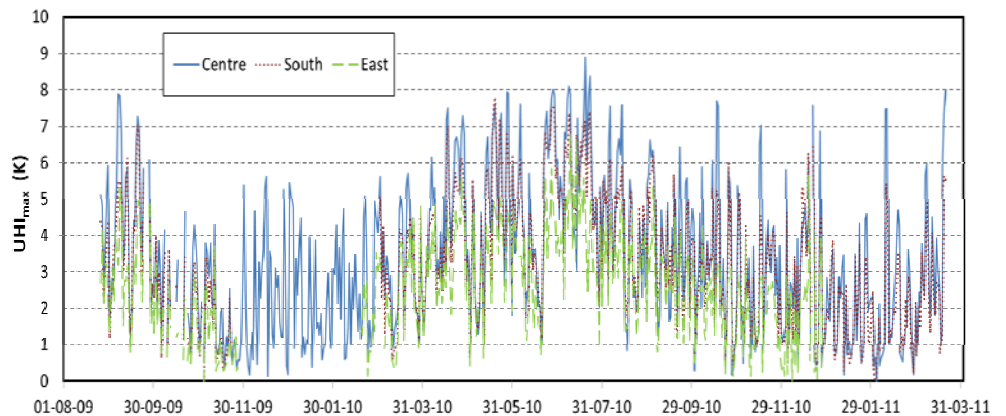
Regiospecifieke klimaatinformatie

Figuur 6.2: Relatie tussen de mediane UHI_{max} en het 95-per-centiel en het inwoneraantal op basis van weeramateurgegevens uit Van Hove et al. [2011a; zie hoofdstuk 5].



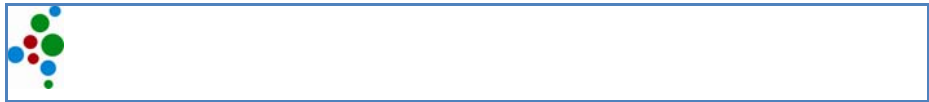
Geen van de weeramateurs in dit onderzoek meet in het centrum van een stad; de meesten meten in woonwijken, waar we verwachten dat het UHI iets minder is. Door de WUR zijn in 2009 in Rotterdam m.b.v. enkele weerstations metingen verricht, ook in het stadscentrum. Figuur 6.3. laat hiervan resultaten zien. Het UHI is sterk afhankelijk van de karakteristieken van de bebouwde omgeving: de locaties “Centrum” en “Zuid” hebben een hogere bebouwingsgraad dan de locatie “Oost”. De hoogste waarde van UHI_{max} in Figuur 6.1 is inderdaad wat lager dan die in Figuur 6.3 voor het centrum van Rotterdam, maar de hoogste waarden voor UHI_{max} uit Figuur 6.1 zijn wel vergelijkbaar met de waarden uit Figuur 6.3 voor “Oost”, welke locatie een vergelijkbare configuratie heeft als de locaties waarop de meeste weeramateurs meten.

Figuur 6.3: Gemeten maximaal verschil per dag in luchttemperatuur met het platteland (y-as; UHI_{max} in °C) in de periode september 2009 tot maart 2011 op de locaties Centrum, Zuid en Oost in Rotterdam [van Hove et al., 2010].

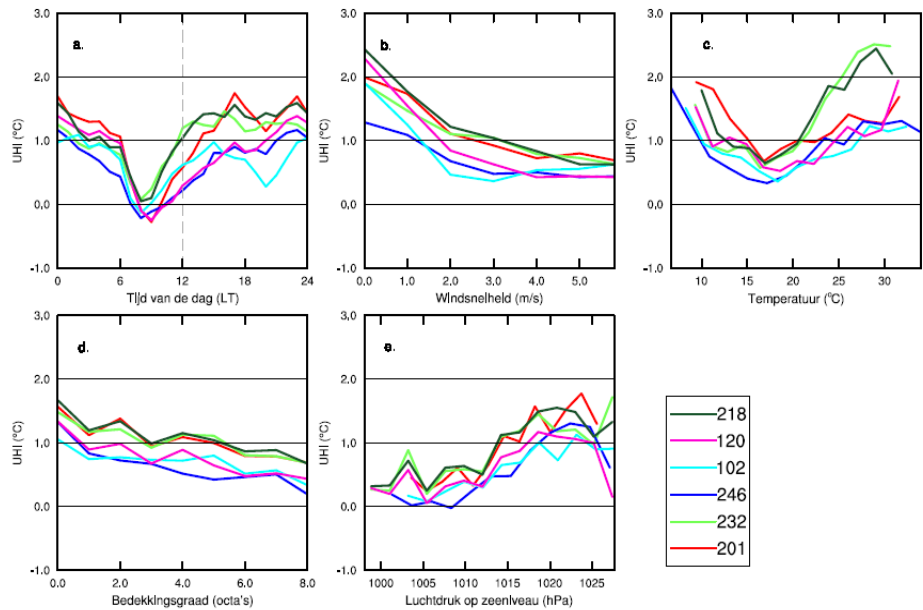


Invloed weersomstandigheden

De intensiteit van het UHI wordt beïnvloed door de weersomstandigheden. Figuur 6.4 laat zien voor de 6 stations in sterk stedelijk gebied wat de relatie is van het gemiddelde UHI met de windsnelheid, temperatuur, tijd van de dag en bewolgingsgraad. Zoals eerder aangegeven en ook te zien in de onderstaande figuur is het UHI het grootst tijdens nachten met weinig wind en weinig bewolking, dus bij rustig weer. Hetzelfde is ook gevonden door Koopmans [2010] en Van Hove et al. [2010].



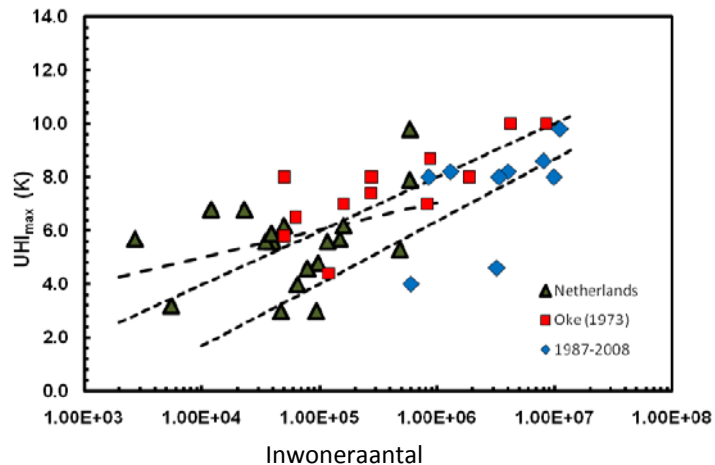
Figuur 6.4: Gemiddeld verloop van het UHI in de zomer van 2010 als functie van de tijd van de dag (a), gemeten windsnelheid (b), temperatuur (c), wolkenbedekkinggraad (d) en luchtdruk (e), voor alle weer-amateurstations in stedelijk gebied (218=Oud Beijerland; 120 en 232=Capelle a/d IJssel; 102=Houten; 246=Assen, 201=Spijkensisse.



Vergelijking met UHI in Europese steden

De waarden van UHI_{max} in Nederlandse steden gemeten door weeramateurs uit de periode 1999-2009 en in dit project zijn vergelijkbaar met de waarden gevonden in andere Europese steden (Figuur 6.5).

Figuur6.5: Relatie tussen UHI_{max} (95-percentiel) en het inwoneraantal van steden: voor Nederland (weeramateurdata), Europa (uit literatuur 1987-2008) en volgens Oke [1973] [van Hove et al., 2011a].



6.4 Conclusies

Hoe sterk is het UHI in Nederlandse steden?

- In dit project is op de stations in woonbuurten met een bevolkingsdichtheid van 4000 personen per km^2 of meer een daggemiddeld UHI in de zomer van 2010 gevonden van 0,6-1,1°C en een hoogste UHI_{max} van 4,6-5,9 °C (gemiddelde UHI in nachten in warme periode in 2010 van 1,2-1,8°C). Van Hove et al. [2010] vonden voor een woonwijk in Rotterdam een hoogste UHI_{max} van

Regiospecifieke klimaatinformatie

6,7 °C (gemiddeld in zomerhalfjaar 3,4 °C) en voor het centrum van Rotterdam van 8,9 °C (gemiddeld 4,6 °C). Het verschil zou kunnen komen doordat de stations in dit project zo zijn geselecteerd dat zeer lokale effecten in de UHI-waarden zoveel mogelijk zijn uitgesloten;

- In stadscentra met een hogere bevolkingsdichtheid en bebouwingsgraad is het UHI_{max} hoger dan in woonwijken. Van Hove et al. [2010] vonden een UHI_{max} (95-percentiel) van ong. 8 °C voor het centrum van Rotterdam. Op basis van dit onderzoek komen we op een geschatte maximale UHI_{max} van ongeveer 8-10 °C voor de dichtstbevolkte stadswijken in Nederland (25.000 inwoners per km²);
- 's Nachts is het UHI sterker dan overdag. Na zonsopkomst is er een 'dip' zichtbaar in het gemiddelde UHI tot ongeveer 0 °C, waarna het UHI gedurende de rest van de ochtend en middag toeneemt, en gedurende een groot deel van de nachts gemiddeld min of meer stabiel blijft;
- In dit project vonden we een sterke jaarlijkse gang in het UHI: 's zomers is deze het sterkst, terwijl het UHI in de maanden november t/m februari in de gemeten periode rond 12.00 uur UTC rond 0 °C (-0,4 tot +0,3) lag en rond 24:00 uur UTC tussen 0 en 0,5 °C. De resultaten van Van Hove et al. [2010] geven ook een sterke jaarlijkse gang voor stations in Rotterdam, maar suggereren dat er in het winterhalfjaar toch nog een aanzienlijk UHI effect is: de mediane UHI_{max} in het centrum lag iets boven de 2 °C en in de woonwijk tussen 1,4 en 2,0 °C. De getallen van Van Hove et al. [2010] lijken wat hoger dan in dit project, maar zijn moeilijk te vergelijken, omdat niet dezelfde periode van het jaar is genomen.



Invloed materialen op UHI-effect, Haaglanden (foto: Noor van Mierlo @KvK).

Hoe varieert het UHI met de bebouwingsdichtheid en de weersituatie?

- Het UHI is het sterkst bij rustige weersomstandigheden, met helder weer en weinig wind (zoals die o.a. vaak optreden tijdens hittegolven). Dit verband is 's nachts sterker dan overdag;
- De stedelijke configuratie is een belangrijke verklarende factor voor de grootte van het UHI. De bevolkingsdichtheid is een betere maat voor de



stedelijke configuratie en bebouwingsdichtheid dan het inwoneraantal van een stad (meer verharding en minder groen en water leidt tot een hoger UHI);

- Uit onderzoek in Utrecht blijkt dat het nachtelijk UHI toeneemt als de Sky View Factor afneemt (meer hoge gebouwen en dichter op elkaar) [Brandsma & Wolters, 2012; Yamashita et al., 2003; van Hove et al., 2010].

In hoeverre zijn schattingen en relaties uit ander Europese steden bruikbaar voor Nederland?

- De gevonden grote van het UHI en de relaties in de onderzoeken in Nederland zijn redelijk in overeenstemming met de wetenschappelijke literatuur over andere Europese steden (hoofdstuk 5). Verschillen tussen Nederlandse en buitenlandse steden worden waarschijnlijk vooral veroorzaakt door de verschillen in het klimaat en de manier van bouwen;
- In literatuur is weinig kwantitatieve informatie te vinden over de invloed van materialen, vegetatie en wateroppervlakken. Voor het beoordelen van verschillen in effectiviteit van maatregelen is het zeer zinvol om over metingen hieraan in Nederland zelf te beschikken. Vanwege de heterogeniteit van steden is het een uitdaging om goede en vergelijkbare metingen te verkrijgen [Van Hove et al., 2011b].



Maastoren in Rotterdam (foto: Erik de Haan).

6.5 Verder lezen

Achtergrondrapport bij dit project:

Wolters, D., J. Bessembinder & Th. Brandsma, 2011a. Inventarisatie urban heat island in Nederlandse steden met automatische waarnemingen door weeramateurs. KNMI rapport WR-2011-04.

Literatuurverwijzingen

Bakker., A. & J. Bessembinder, 2012. Time series transformation tool: description of the program to generate time series for the KNMI'06 climate scenarios. KNMI, WR-326.

Bessembinder, J., 2012. Genereren van urneerslagreeksen in een toekomstig klimaat. Rapport in kader van project "regiospecifieke klimaatinformatie voor Haaglanden en Regio Rotterdam" (KvK-project HSHL04/HSRR05). KNMI TR-320.

Bessembinder, J.; B. Overbeek & G. Verver, 2011. Inventarisatie van gebruikerswensen voor klimaatinformatie - Inventory of user requirements concerning climate information. Technical report TR-317, KNMI.

Brandsma, T., 2010. Warmte-eilandeffect van de stad Utrecht. *Zenit*, 2010, 37, 11, 500-504.

Brandsma, Th. & D. Wolters, 2012. Measurement and statistical modelling of the urban heat island of the city of Utrecht (the Netherlands). *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, [doi:http://dx.doi.org/10.1175/JAMC-D-11-0206.1](http://dx.doi.org/10.1175/JAMC-D-11-0206.1).

Buishand, A., Th. Brandsma, G. de Martino & H. Spreeuw, 2011. Ruimtelijke verdeling van neerslagtrends in Nederland in de afgelopen 100 jaar. *H2O*, 44, 24, 31-33.

Buishand, T.A., R. Jilderda & J.B. Wijngaard, 2009. Regionale verschillen in extreme neerslag. KNMI-publicatie: WR-2009-01, 3/3/2009, pp. 47.

Buishand, T.A. & J.B. Wijngaard, 2008. Statistiek van extreme neerslag voor het stedelijk waterbeheer. *H2O*, 41, 8, 28-30.

DHV/KNMI/Alterra/VU, 2008. Klimateffectschetsboek Zuid-Holland.

Haines, A., R.S. Kovats, D. Campbell-Lendrum, & C. Corvalan, 2006. Climate change and human health: impacts, vulnerability, and public health. *Lancet*, 367, 2101-2109.

Hoes, O., J. Biesma, K. Stoutjesdijk & F. van Kruiningen, 2005. Invloed van de zee op de neerslagverdeling en de frequentie van wateroverlast. *H2O*, nr. 1, pp. 32-34.

Hoogvliet et al., 2011. Brede, gebiedsspecifieke verkenning van effecten van klimaatverandering, in samenhang met toekomstscenario's en trendmatige ontwikkelingen. Managementsamenvatting. KvK rapportnummer: KvK/030B/2010.

Jilderda, R. & J. Bessembinder, 2013. Regiospecifieke lange neerslagtijdreeksen op uurbasis. Rapport in kader van project "regiospecifieke klimaatinformatie



voor Haaglanden en Regio Rotterdam” (KvK-project HSHL04/HSRR05). KNMI TR-322.

Klok, L., H. ten Broeke, T. van Harmelen, H. Verhagen, H. Kok & S. Zwart, 2010. Ruimtelijke verdeling en mogelijke oorzaken van het hitte-eiland effect. TNO-rapport TNO-034-UT-2010-01229_RPT-ML.

KNMI, 2009a. Klimaatschetsboek Nederland – het huidige en toekomstige klimaat. KNMI report 223.

KNMI, 2009b. Aanvullingen op de KNMI’06 klimaatscenario’s voor Nederland. Brochure KNMI.

Koopmans, S., 2010. First assessment of the urban Heat island effect in the Netherlands. Exploring urban heat and stress in the Netherlands, using observations from hobby meteorologists. BSc thesis Wageningen University.

Lenderink, G. & E. van Meijgaard, 2008. Increase in hourly precipitation extremes beyond expectations from temperature changes. *Nature Geoscience* 1, 8, pp. 511-514, [doi:10.1038/ngeo262](https://doi.org/10.1038/ngeo262).

Lenderink, G., H. Y. Mok, T. C. Lee & G. J. van Oldenborgh, 2011. Scaling and trends of hourly precipitation extremes in two different climate zones – Hong Kong and the Netherlands. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 8, 4701–4719

Nieuwkerk, E. van, R. Trouwborst, S.J. Junier, E. Mostert, M.M. Rutten, J. Nederlof, M. Maarleveld, J. Geerse, 2010. Klimaatverandering en het Rotterdamse stedelijk watersysteem: Verkennende studie en agenda voor vervolg. KvK rapportnummer KvK/020/2010.

Nijhuis, E.W.J.T., 2011. Hittestress in Rotterdam. Eindrapport project HSRR05. Gemeentewerken Rotterdam/TNO/WUR/Alterra/Deltares/SBR/GGD Rotterdam, KvK rapport KvK/039/2011.

Oke, T.R., 1973. City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment* 7: 769– 779.

Overeem, A., 2009. Climatology of extreme rainfall from rain gauges and weather radar. PhD Thesis Wageningen University.

Overeem, A., T.A. Buishand & I. Holleman, 2009. Extreme rainfall analysis and estimation of depth-duration-frequency curves using weather radar. *Water Resour. Res.*, 2009, 45, W10424, [doi:10.1029/2009WR007869](https://doi.org/10.1029/2009WR007869)

Overeem, A., T.A. Buishand & I. Holleman, 2008. Rainfall depth-duration-frequency curves and their uncertainties. *J. Hydrol.*, 348, 1, 124-134, [doi:10.1016/j.jhydrol.2007.09.044](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.09.044).

Smits, I., J. Wijngaarden, R. Versteeg & M. Kok, 2004. Statistiek van extreme neerslag in Nederland. Rapport nr. 26. STOWA, 95 pp.

Regiospecifieke klimaatinformatie

Steenefeld, G.J., S. Koopmans, B.G. Heusinkveld, L.W.A. van Hove & A.A.M. Holtslag, 2011. Quantifying urban heat island effects and human comfort for cities of variable size and urban morphology in the Netherlands. *J. Geophys. Res.* 116, D20129, 14pp., doi: 10.1029/2011 JDO15988.

Sterl, A., C. Severijns, H. Dijkstra, W. Hazeleger, G.J. van Oldenborgh, M. van den Broeke, G. Burgers, B. van den Hurk, P.J. van Leeuwen & P. van Velthoven, 2008. When can we expect extremely high surface temperatures? *Geophysical Res. Letters*, Vol. 35, L14703, doi:10.1029/2008GL034071.

Van Hove, L.W.A., G.J. Steeneveld, C.M.J. Jacobs, B.G. Heusinkveld, J.A., Elbers, E.J. Moors, A.A.M. Holtslag, 2011a. Exploring the urban heat island intensity of Dutch cities: Assessment based on a literature review, recent meteorological observations and datasets provided by hobby meteorologists. Alterra report 2170, ISSN 1566-7197. 60 pp.

Van Hove, L.W.A., G.J. Steeneveld, C.M.J. Jacobs, H. ter Maat, B.G. Heusinkveld, J.A., Elbers, E.J. Moors & A.A.M. Holtslag, 2011b. Modelling and observing urban climate in the Netherlands KvR report: KvR 020/11 ISBN/EAN 978-90-8815-020-3. 48 pp.

Van Hove, B., J. Elbers, C. Jacobs, B. Heusinkveld & W. Jens, 2010. Het stadsklimaat in Rotterdam. Een eerste analyse van de meetgegevens van het meteorologisch meetnet. WUR rapport. Wageningen, 29 pp.

Wolters, D., J. Bessembinder & Th. Brandsma, 2011a. Inventarisatie urban heat island in Nederlandse steden met automatische waarnemingen door weeramateurs. KNMI rapport WR-2011-04.

Wolters, D., C. Homan, J. Bessembinder, 2011b. Ruimtelijke klimatologische verschillen – met speciale aandacht voor de regio's Haaglanden en Rotterdam. Rapport in kader van project "regiospecifieke klimaatinformatie voor Haaglanden en Regio Rotterdam" (KvK-project HSHL04/HSRR05). KNMI TR-323.

Yamashita S., K. Sekine, M. Shoda M, K. Yamashita & Y. Hara, 2003. On relationships between heat island and sky view factor in the cities of Tama River Basin, Japan. *Atmospheric environment* 20,4: 681-686.



ANNEX 1. Samenstelling projectteam, klankbordgroep en reviewers

Projectteam

Beersma, Jules	KNMI
Bessembinder, Janette	KNMI
Brandsma, Theo	KNMI
Buishand, Adri	KNMI
Holtslag, Bert	WUR
Homan, Carine	KNMI
Hove, Bert van	WUR
Jilderda, Rudmer	KNMI
Leander, Robert	KNMI
Lenderink, Geert	KNMI
Sluijter, Rob	KNMI
Steenefeld, Gert Jan	WUR
Streng, Jos	Gemeentewerken Rotterdam
Wolters, Dirk	KNMI
Burger, Jorien	Waterkader Haaglanden/HH Delfland
Martin Paasman (vervanging Jorien Burger)	Waterkader Haaglanden/Gemeente Den Haag
Carl Paauwe (vervanging Jorien Burger)	Waterkader Haaglanden/HH Delfland

Klankbordgroep: vertegenwoordigers van potentiële stakeholders, die regelmatig geconsulteerd zijn tijdens het project.

Daanen, Hein	TNO
Haan, Erik de	Provincie Zuid-Holland
Hoogvliet, Marco	Deltares
Woerden, Fincent van	HH Delfland
Paauwe, Carl	HH Delfland, Waterkader Haaglanden
Osorio, Adriana	HH Schieland en Krimpenerwaard
Klerk, Suzanne	HH Schieland en Krimpenerwaard

Anderen die bij hebben gedragen aan de review van het eindrapport of de achtergrondrapportages:

Rob Ammerlaan (HH van Delfland), Erik van der Wal (Provincie Zuid-Holland), Arno Lammers (Stadsgewest Haaglanden), Gerard van der Schrier (KNMI), Kim van Nieuwaal (KvK).



Ontwikkelen van wetenschappelijke en toegepaste kennis voor een
klimaatbestendige inrichting van Nederland en het creëren van een
duurzame kennisinfrastructuur voor het omgaan met klimaatverandering

Contactinformatie

Programmabureau Kennis voor Klimaat

Secretariaat:

p/a Universiteit Utrecht

Postbus 80115

3508 TC Utrecht

T +31 88 335 7881

E office@kennisvoorklimaat.nl

Communicatie:

p/a Alterra, Wageningen UR

Postbus 47

6700 AA Wageningen

T +31 317 48 6540

E info@kennisvoorklimaat.nl

www.kennisvoorklimaat.nl

