

Martin Dijkstra en Hugo Priemus

Klimaatbestendige stadsinrichting en infrastructuur in dialoog



Foto: Lars Böcker

Klimaatverandering heeft grote gevolgen voor het microklimaat in steden, het functioneren van vervoersystemen en het verplaatsingsgedrag van mensen. Beleidsmakers moeten klimaat-minded worden om steden en infrastructuur klimaatbestendiger te kunnen maken. Daartoe moeten zij doordacht gebruik maken van vegetatie, water, bouwhoogte en dichtheid om stadsgebruikers een aangenaam microklimaat te bieden. Interdisciplinair leren en een gemeenschappelijke taal leren spreken zijn hierbij noodzakelijke voorwaarden.

Dat het klimaat gaat veranderen wordt steeds meer als een voldongen feit gezien. Het laatste rapport van het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2013) onderstreept dit. De meteorologen van het KNMI verwachten de komende 35 jaar voor Nederland stijgende temperaturen en meer neerslag. Ook het aantal studies over effecten hiervan op steden en verkeer neemt toe. Hierbij gaat de meeste aandacht uit naar extreme weersituaties, zoals hitte en overvloedige neerslag. Betrekkelijk weinig aandacht is er nog voor de meer sluimerende, doch eveneens ingrijpende, weersveranderingen die de komende jaren op ons afkomen. Zowel de extreme als de geleidelijke klimaat- en weersveranderingen kunnen grote gevolgen hebben voor het functioneren van steden en vervoersystemen evenals het verplaatsingsgedrag van personen.

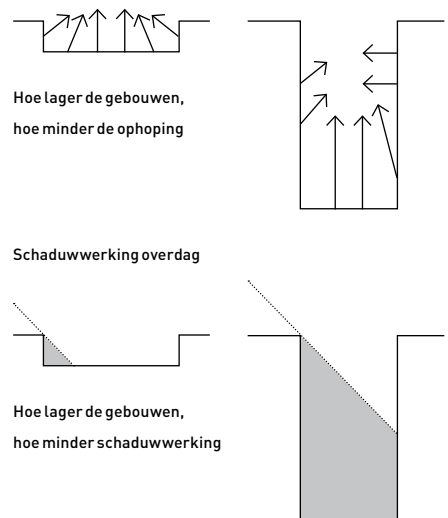
Stedelijk microklimaat

Steden hebben een microklimaat dat wezenlijk kan verschillen van de omliggende gebieden. Zo zijn verschillen in temperatuur tussen het platteland en de stad duidelijk zichtbaar op een dag met weinig wind en bewolking. Tegen de avond koelt de atmosfeer nabij het oppervlak af. Gebouwen houden de temperatuur lang vast en zorgen ervoor dat de stad nog lang relatief warm blijft. Intussen kan het in de nacht op het platteland al snel zes graden

koeler zijn. Dit temperatuurverschil staat bekend als het stedelijk warmte-eilandeffect (Theeuwes e.a., 2013; Steeneveld e.a., 2014). De sterkte van dit effect hangt af van het weer, maar ook de inrichting van de gebouwde omgeving. Zo leidt meer vegetatie in de stad doorgaans tot een kleiner temperatuurverschil met het platteland.

Figuur 1 De invloed van gebouwen: ophoping van warmte in de nacht en schaduwwerking overdag zijn tegen gestelde processen. Welk proces heeft nu onder welke omstandigheden de overhand? (bron: Theeuwes e.a. 2014)

Ophoping van warmte tussen gebouwen in de nacht



Een andere factor van belang voor Nederlandse steden is de ruime aanwezigheid van water. Water houdt de temperatuur lang vast. Hierdoor kunnen waterpartijen de omgeving niet alleen verkoelen maar ook verwarmen. Overdag blijven goed gemengde waterpartijen, zoals vijvers en andere vormen van open water, over het algemeen koeler dan de lucht waardoor deze de luchttemperatuur verlagen. Dit verbetert het thermisch comfort op een warme dag. In de avond en nacht hebben waterpartijen daarentegen een verwarmend effect op de omgeving als de temperatuur van het water hoger komt te liggen dan de luchttemperatuur. Een stad met waterpartijen blijft 's avonds warmer. Dit blijkt uit zowel een modelstudie (Theeuwes e.a., 2013) als uit waarnemingen (Steenefeld e.a., 2014).

De geometrie van straten heeft ook invloed op de stedelijke temperatuur en het stedelijk warmte-eilandeffect. Een nieuw conceptueel model laat zien dat de temperaturen in de straat een combinatie zijn van schaduw, zonnestraling en het vasthouden van thermische straling vanuit gebouwen. De verhouding tussen de hoogte van gebouwen en de breedte van straten (ook wel aspectratio genoemd) bepaalt hoeveel zonnestraling de straat inkomt en hoeveel thermische straling wordt vastgehouden (figuur 1). Bij hoge gebouwen en smalle straten kan er weinig thermische straling ontsnappen. Dit zorgt voor een hogere temperatuur. Anderzijds komt er ook weinig zonnestraling in deze straten, wat een verlagend effect heeft op de temperatuur (Theeuwes e.a., 2014). Daarom hangt het uiteindelijke effect van het aspectratio op het warmte-eilandeffect af van het seizoen. In de zomer hebben hogere gebouwen en

smallere straten een verlagend effect en in de winter juist een verhogend effect op de temperatuur in de straat.

Vanuit bovenstaande optiek zou het goed zijn in nieuwe ruimtelijke inrichtingsplannen zowel hoger als compacter te bouwen. Daarnaast kan in de gebouwde omgeving een goed doordacht groen- en waterplan ontwikkeld worden om de stedelijke temperaturen in zomer en winter binnen aanvaardbare dan wel gewenste bandbreedtes te houden.

Problemen in de zomer

Weersomstandigheden beïnvloeden niet alleen steden, maar ook de gesteldheid van de wegen- en spoorinfrastructuur. Automobilisten en treinreizigers ondervinden deze invloed in ieder seizoen, al kan dit per jaar en plaats verschillen. In de winter kunnen afwisselende vorst- en dooiperiodes schade aan het wegdek toebrengen en kunnen sneeuw en ijs wisselstoringen veroorzaken. In de zomer kunnen hoge temperaturen tot oververhitting van de spoorinstallaties leiden. Daarnaast kunnen in elk seizoen delen van het spoor- en wegennet geblokkeerd worden of onder water komen te staan door een hevige regenbui. Analyses laten zien dat de kans op storingen in het spoorwegennet toeneemt bij temperaturen boven twintig graden Celsius en onder nul graden Celsius, en bij meer dan tien millimeter sneeuw. De kans op schade op het wegennet neemt toe wanneer er meer dan twintig vorst-dooi-periodewisselingen per winter zijn (Oslakovic e.a., 2012; Kwiatkowski e.a., 2014).

Klimaatverandering zal naar verwachting als gevolg hebben dat de kans op schade en storingen in de winter afneemt door de

verwachte mildere temperaturen en in de zomer toeneemt door de verwachte hogere temperaturen. Hoewel weg- en spoorbeheerders op deze ontwikkelingen kunnen inspelen door bijvoorbeeld het afwateringsvermogen van drainagesystemen te verhogen, gaat de beoordeling van de weersgevoeligheid van de infrastructuur, en daarmee het nemen van hieraan gerelateerde investeringsbeslissingen, gepaard met grote onzekerheden. Naast het effect van de verschillende weersomstandigheden en de verwachte klimaatsverandering op storingen van en schade aan de bestaande wegen- en spoorinfrastructuur, worden deze ook beïnvloed door factoren als leef-tijd, toestand, materiaal, verkeersbelasting en verkeersintensiteit.

Voor beheerders van de wegen- en spoorinfrastructuur betekent dit vooral dat zij het management moeten inrichten als een leerproces, gekenmerkt door continue monitoren en een dynamisch evaluatie- en beslissingssysteem. Zij moeten risicolocaties die kwetsbaar zijn voor weersinvloeden en belangrijk voor de doorstroming en bereikbaarheid, kunnen identificeren. Op basis van een continue risico-inschatting kunnen zij dan maatregelen nemen die verder inzicht geven in weersinvloeden (bijvoorbeeld invloed van vorst op asfalt), die weersinvloeden op korte termijn kunnen verminderen (bijvoorbeeld door middel van een winterdienst) of die weersinvloeden op lange termijn voorkomen (bijvoorbeeld door gebruik van ander asfalt).

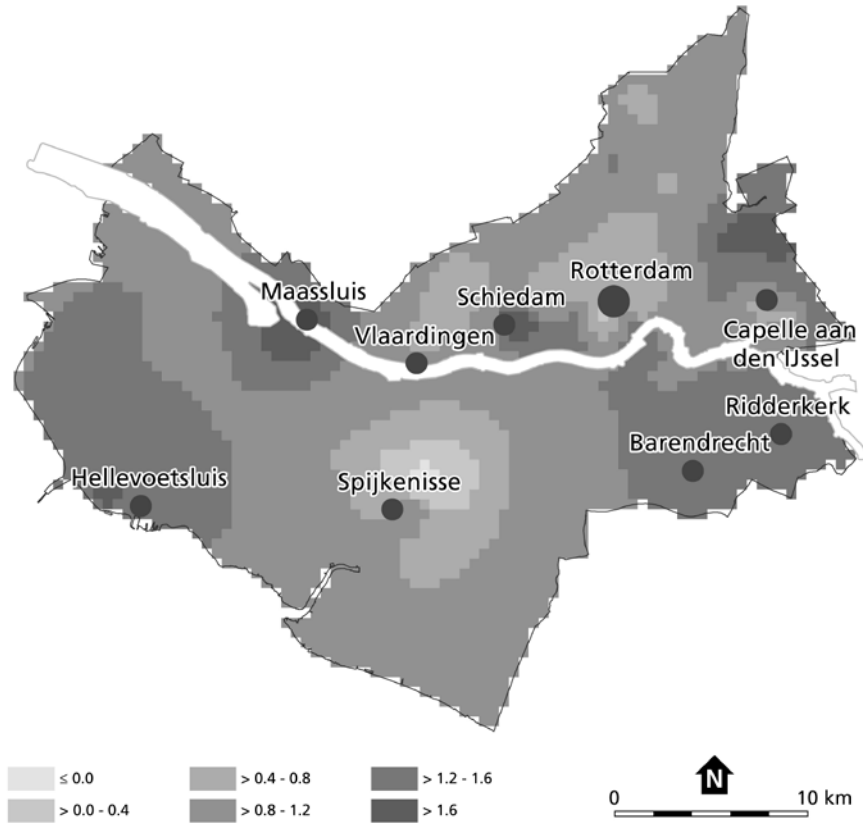
Om dit te kunnen bewerkstelligen is een professionalisering van het beheer en onderhoud bij publieke infrastructuurbeheerders nodig. Helaas zijn de verzamelde gegevens over klimaateffecten tot op heden

vaak incompleet, inconsistent en verre van actueel om dit mogelijk te maken. Daarnaast worden investeringsbeslissingen over wegen- en spoorweginfrastructuur nauwelijks op basis van een integrale benadering genomen. Een integrale benadering koppelt zowel de verschillende risicofactoren (weer en verkeer) als de effecten op infrastructuur (toestand en veroudering) en dienstverlening (bereikbaarheid en doorstroming) aan de totale infrastructu-rele levenscyclus. Klimaatbestendigheid zal als criterium deel moeten uitmaken van infrastructuur (her)ontwerp.

Fietsgedrag per seizoen

De effecten van de gebouwde omgeving op het stedelijk microklimaat werken door op de dagelijkse mobiliteit. Er is betrekkelijk weinig bekend over de gecombineerde effecten van stedelijke weersomstandigheden, de emotionele beleving van het weer en de effecten op verplaatsingsgedrag (Böcker e.a., 2013a). Klimaatverandering leidt op termijn (2050) mogelijk tot een significante toename van het jaarlijks fietsaandeel in de Randstad ten opzichte van de auto (Böcker e.a., 2013b).

Er bestaan echter grote verschillen tussen zomer en winter. Waar mildere temperaturen gecombineerd met een lichte toename in neerslag in de winter leiden tot een hoger fietsaandeel ten opzichte van vooral de auto, leidt hittetoename in de zomer juist tot een daling van het fietsgebruik. Daarnaast zijn er gevolgen voor bestemmingskeuze, met name voor vrijetijdsactiviteiten. Mildere winters kunnen leiden tot een verschuiving van binnen- naar buitenvrijetijdsactiviteiten zoals wandel- en fietstochten, terwijl hetere zomers juist leiden tot een omgekeerde verschuiving.



Figuur 2 Ruimtelijke verschillen in de effecten van luchttemperatuur op recreatief fietsgedrag in Groot Rotterdam (bron: Helbich e.a. te verschijnen)

Legenda: Donker = hoge parametercoëfficiënt = sterk temperatuureffect. Dus: Recreatief fietsgedrag in open perifere gebieden, zoals aan de kust bij Hellevoetsluis, wordt sterker beïnvloed door luchttemperatuur dan in compacte centrale gebieden zoals de binnenstad van Rotterdam.

In Rotterdam hadden neerslag en windsnelheid een lineair negatief effect op fietsen ten opzichte van vooral het gebruik van de auto. Het effect van temperatuur op fietsen blijkt juist non-lineair: tot een dagelijkse maximum luchttemperatuur van 25 graden Celsius leidt een toename in temperatuur tot een toename in fietsen; daarboven neemt het fietsen juist af (Böcker & Thorsson, te verschijnen).

De effecten van weersomstandigheden op fietsgedrag lopen sterk uiteen tussen verschillende gebieden in en rondom

Rotterdam (Helbich e.a., te verschijnen). Effecten blijken relatief klein onder inwoners van dichtbebouwde centrale gebieden, terwijl het weer een belangrijkere rol lijkt te spelen in meer afgelegen dun bebouwde gebieden (figuur 2). Mogelijke oorzaken zijn de relatief korte afstanden en hogere mate van beschutting in de (binnen)stad. Een opvallende uitzondering zijn de relatief sterke negatieve windeffecten op het fietsen in het centrum van Rotterdam, die mogelijk voortkomen uit onaangename windturbulentie rondom vrijstaande hoge gebouwen.

Böcker e.a. (2014) hebben een nieuw conceptueel model ontworpen dat inzicht geeft in de complexe samenhang tussen objectief gemeten weersomstandigheden, weerbeleving, vervoermiddelkeuze en emoties tijdens de reis. Uit dit model blijkt dat veel neerslag, wind, bewolking, alsmede lage temperaturen of hitte, leiden tot een negatievere beleving van emoties onderweg. Daarnaast blijkt dat voetgangers en voornamelijk fietsers minder thermisch comfort beleven dan de sterk beschutte automobilist. Deze relatie tussen weer en emotionele reisbeleving is van direct belang voor beleid gericht op een leefbare stad, zeker met het oog op een toekomstig klimaat waarin hitte en extreme neerslag mogelijk een belangrijke rol gaan spelen. Ontwerpers van stedelijke openbare ruimten en belangrijke fietsroutes kunnen op de genoemde samenhangende weerelementen inspelen, bijvoorbeeld door middel van het toepassen van bedekkende vegetatie die op de juiste momenten verkoeling en beschut-

ting kan geven. Naast het verbeteren van emotioneel welbevinden kan dit ook leiden tot een toename in het gebruik van actieve vervoerswijzen. Een goede afstemming met eerder genoemde planontwikkeling ten behoeve van een aanvaardbaar, dan wel gewenst, stedelijk microklimaat is vereist.

Klimaatkennis in planning

Kennis over klimaateffecten op stedelijk microklimaat, infrastructuur en verplaatsingsgedrag moet in beleidsprocessen geïntegreerd worden. Ondersteunende planningsinstrumenten zijn primair bedoeld om beleidsmakers daarin te ondersteunen, niet om de werkelijkheid zo goed mogelijk na te bootsen. Het lijkt een open deur, maar Pelzer e.a. (te verschijnen) laten zien dat hier nog veel valt te winnen. Uit deze studie naar zogenaamde Planning Support Systems (PSS) komt naar voren dat de quick wins voor beleid niet zozeer liggen in meer verfijnde meetmodellen, maar vooral in het op orde brengen van de



Werken met Planning Support Systemen in de praktijk (foto: Peter Pelzer)

randvoorwaarden. Denk hierbij aan: een goede moderator die het groepsproces in de gaten houdt, een duidelijke agenda voor interactieve workshops, voldoende voorbereidingstijd en aandacht voor de interface en visuele output van instrumenten.

Wetenschappers kunnen de overdracht van hun kennis aan beleidsmakers verbeteren door een voorselectie te maken in de bevindingen. Wat wil men het beleid écht meegeven; welke inzichten zouden écht hun weg naar een PSS moeten vinden? Daarnaast houdt de rol van wetenschappers niet op bij het aanleveren van gegevens of een algoritme. Complexe materie als klimaatverandering vraagt om aanvullende duiding en uitleg. De huidige planningscontext is een communicatief proces met veel stakeholders. Onderzoekers naar klimaat kunnen zeer zeker één van de partijen zijn, hierbij ondersteund door slimme en snelle rekenmodellen en aansprekende visualisaties.

Onderzoek naar interdisciplinair leren, de kennisuitwisseling tussen verschillende disciplines, wijst uit dat verkeerskundigen en milieukundigen veel meer gewend zijn om met kwantitatieve modellen te werken dan stedenbouwkundigen, die in belangrijke mate intuïtief en creatief werken (zie Pelzer e.a., te verschijnen). De crux is om een gedeelde taal te vinden, waarin verschillende disciplines elkaar vinden. Digitale kaarttafels (zie Pelzer, 2013) hebben een positief effect op kennisdeling in een groepsproces terwijl computerondersteuning in plan- en beleidsvorming traditioneel gezien juist barrières opwerpt voor sociale interactie. De samenwerking tussen ontwerpers en analytici komt in het bijzonder naar voren in discussies over het

stedelijk warmte-eilandeffect. Warmte eilanden in de stad vragen om een andere inrichting van bijvoorbeeld pleinen en straten. Klimaatmodellen geven inzicht in de effecten van weersomstandigheden op vervoerskeuzen, maar minstens zo belangrijk is het esthetische en ontwerpende aspect.

Voortgaande dialoog

Klimaatbestendig vervoer vergt een goede dialoog tussen wetenschappelijke en beleidsdisciplines. De complexiteit van de effecten van klimaatverandering op de gebouwde omgeving en de samenleving kunnen onvoldoende begrepen en beïnvloed worden met de specialistische concepten en analyse- en planningsmethoden van afzonderlijke disciplines. Meteorologen en stedenbouwkundigen zullen vooral gericht zijn op het doorzicht toepassen van vegetatie, water, bouwhoogte en dichtheid om stedelijke microklimaten te ontwikkelen die een adequaat antwoord kunnen geven op de te verwachten klimaatveranderingen.

Wat adequaat is hangt in belangrijke mate af van de beleving en mogelijke en gewenste gedragskeuzen van gebruikers van steden en vervoerssystemen; vragen waarop sociaal geografen antwoord kunnen geven. Tenslotte zullen beleidsmakers en infrastructuurbeheerders niet alleen de belangen van de gebruikers moeten behartigen, maar eveneens andere collectieve belangen in ogenschouw moeten nemen, zoals die van de stedelijke economie en milieu. Beleidsmakers zullen ernaar moeten streven dat multidisciplinaire wetenschappelijke kennis en instrumenten in interactieve besluitvormingsprocessen worden ingebracht. Een

multidisciplinaire wetenschappelijke en beleidsmatige dialoog vormt een noodzakelijke voorwaarde voor de ontwikkeling van duurzame en klimaatbestendige steden en vervoersystemen.

Martin Dijst (m.j.dijst@uu.nl) is hoogleraar Stadsgeografie aan de Universiteit Utrecht. Hugo Priemus (h.priemus@tudelft.nl) is emeritus hoogleraar Systeeminnovatie Ruimtelijke Ontwikkeling aan de Technische Universiteit Delft. Met dank aan Lars Böcker, Marco te Brömmelstroet, Andreas Hartmann, Peter Pelzer en Natalie Theeuwes voor hun commentaar op en bijdragen aan dit artikel.

Literatuur

- Böcker, L., M. Dijst & J. Prillwitz [2013a] 'Impact of Everyday Weather on Individual Daily Travel Behaviours in Perspective: A Literature Review', *Transport Reviews*, jg. 33, nr. 1, p. 71-91
- Böcker, L., J. Prillwitz & M. Dijst [2013b] 'Climate change impacts on mode choices and travelled distances: a comparison of present with 2050 weather conditions for the Randstad Holland', *Journal of Transport Geography*, 28, p. 176-185
- Böcker, L. & S. Thorsson (te verschijnen) 'Integrated weather effects on cycling shares, frequencies and durations in Rotterdam, the Netherlands', *Weather, Climate, and Society*
- Böcker, L., M. Dijst & J. Faber [2014] *Weather and transport mode choices: the role of thermal experiences and emotions*, gepresenteerd op de AAG Annual Meeting, Tampa, FL, 8-12 april
- Helbich, M., L. Böcker & M. Dijst (te verschijnen) 'Geographic heterogeneity in cycling under various weather conditions: Evidence from Greater Rotterdam', *Journal of Transport Geography*
- IPCC [2013] *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge en New York
- Kwiatkowski, K., I.S. Oslakovic, A.Hartmann & H. ter Maat [2014] 'Potential impact of climate change on porous asphalt with a focus on winter damage', *Proceedings of Transport Research Arena 2014*, Paris
- Oslakovic, I.S., H. ter Maat, A.Hartmann & G. Dewulf [2012] 'Climate change and infrastructure performance: should we worry about?', *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 48, p. 1775-1784
- Pelzer, P. [2013] 'Geo-informatie op Tafel', *ROMagazine*, jg. 31, nr. 10, p. 38-39
- Pelzer, P., M. te Brömmelstroet & S. Geertman (te verschijnen) 'Geodesign in Practice: What about the Urban Designers?', Lee, D., Dias, E. & Scholten, H. (red.) *Geodesign by Integrating Design and Geospatial Sciences*. Springer, Dordrecht
- Steenefeld, G.J., S. Koopmans, B.G. Heusinkveld & N.E. Theeuwes [2014] 'Refreshing the role of open water surfaces on mitigating the maximum urban heat island effect', *Landscape and Urban Planning* 121, p. 92-96
- Theeuwes, N.E., A. Solceroová & G.J. Steenefeld [2013] 'Modeling the influence of open water surfaces on the summertime temperature and thermal comfort in the city', *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118, p. 8881-8896
- Theeuwes, N.E., G.J. Steenefeld, R.J. Ronda, B.G. Heusinkveld, L.W.A. van Hove & A.A.M. Holtslag [2014] 'Seasonal dependence of the urban heat island on the street canyon aspect ratio', *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, doi: 10.1002/qj.2289