



Stadsvijvers kunnen helpen om ongunstige effecten van weersomstandigheden in stedelijk gebied op te vangen. Denk daarbij aan verkoeling op hete dagen of het opvangen van piekbuien. Water in de stad wordt daarom als een belangrijk onderdeel van ruimtelijke klimaatadaptatiestrategieën beschouwd. Maar ongewenste bijeffecten zijn ook mogelijk. De Cool Water Tool combineert kennis over energiestromen bij vijvers en over stadsklimaat om de effecten van de temperatuur van stadsvijvers op het stadsklimaat te evalueren.

De Cool Water Tool beschrijft de belangrijkste temperatuurbepalende interacties tussen weer en water in de stedelijke omgeving in een breed toegankelijke applicatie, bedoeld als ondersteuning bij het ontwikkelen van adaptatiestrategieën op wijkniveau. De tool biedt inzicht in het verloop van de temperatuur van open water in het huidige en een mogelijk toekomstig stadsklimaat, waarbij rekening wordt gehouden met algemene wijkkenmerken en karakteristieken van het waterlichaam, met name diepte. Hij geeft weer hoe vaak bepaalde ongunstige drempelwaarden van watertemperatuur overschreden worden en hoe oppervlaktewater de omgevingstemperatuur in de stad beïnvloedt.

De huidige modellen voor evaluatie van het effect van watertemperatuur op de stadse omgeving veronderstellen doorgaans een constante watertemperatuur (bijvoorbeeld Theeuwes et al., 2013). Vooral bij ondiep water is deze aanname in de praktijk veel te grof. Modellen die de watertemperatuur wel realistisch beschrijven zijn meestal ontworpen voor gebruik buiten de stad (bijvoorbeeld Jacobs et al., 2009; 2010). Wij hebben een bestaand model voor de watertemperatuur geschikt gemaakt voor toepassing in urbane gebieden.

In dit artikel lichten we de opbouw en aanpassingen van het model toe. Het model is omgezet in een Python-proces, ontsloten via applicaties voor de Klimaat-effectatlas (klimaat-effectatlas.wur.nl) en een Android-smartphone. We bespreken kort de beoogde toepassing van de resulterende tool bij het ontwikkelen van ruimtelijke klimaatadaptatiestrategieën. Ter illus-

tratie laten we zien hoe de watertemperatuur van twee in diepte verschillende stadsvijvers reageert in verschillende wijktypes, bij weersomstandigheden in het huidige klimaat en in een mogelijk toekomstig klimaat.

Kenmerken

Basis voor de Cool Water Tool is het door Jacobs et al. (2010) beschreven model voor simulatie van de energiebalans van oppervlaktewater in het vrije veld. We richten ons op het zomerseizoen (april-oktober) en laten bevriezing van water of smelten van ijs buiten beschouwing. Het model beschrijft de in figuur 1 schematisch weergegeven energiestromen onder de aanname van een goed gemengde waterkolom en verwaarloosbare laterale wateraanvoer. Deze aannames resulteren doorgaans in een goede simulatie van de watertemperatuur in het zomerseizoen in Nederland (Jacobs et al., 2009; 2010).

Standaard weergegevens vormen de randvoorwaarden van het model. In de huidige versie van de tool gebruiken we waarnemingen van het KNMI station in De Bilt uit de periode april-september 2006 als basisreeks. Deze periode omvat een warme Nederlandse zomer met relatief veel zonnestraling. Dit laatste aspect maakt de reeks bijzonder geschikt voor illustratieve doeleinden zoals beoogd in dit onderzoek: zonnestraling heeft in de zomer een dominante invloed op de watertemperatuur (Jacobs et al., 2009). De standaard weergegevens gelden voor de rurale situatie buiten de stad. De tool zet ze om naar weer in de stad. Over deze omzetting gaat de rest van deze paragraaf. Voor een beschrijving van de fysica

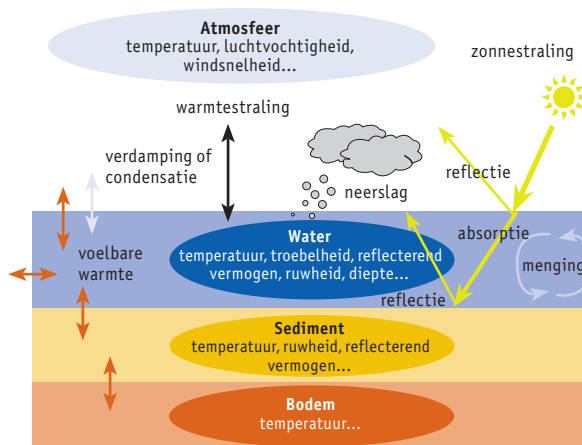
COR JACOBS,
INGE LA RIVIÈRE &
HASSE GOOSEN

Dr. Ir. C.M.J. Jacobs
Climate change and
adaptive land and water
management, Alterra
Wageningen UR, Postbus
47, 6700 AA Wageningen
cor.jacobs@wur.nl
Drs. Ing. I.J. La Rivière
Spatial knowledge sys-
tems, Alterra Wageningen
UR
Dr. H. Goosen Climate
change and adaptive land
and water management,
Alterra Wageningen UR

Foto Aat Barendregt

Figuur 1 schematische voorstelling van de energiebalans van een waterlichaam in een open omgeving (naar Jacobs *et al.*, 2010).

Figure 1 schematic representation of the energy budget of a water body in an open rural environment.



(figuur 1) en validatie van het basismodel verwijzen we naar Jacobs *et al.* (2010).

Schaduw van gebouwen

In de huidige modelversie houden we rekening met schaduw van gebouwen. Of een stadsvijver in de schaduw ligt hangt af van de hoogte en de oriëntatie van de omliggende gebouwen ten opzichte van de zon. Voor de beschrijving van schaduwwerking hanteren we in deze versie een methode waarbij wijkenmerken worden omgezet naar een tweedimensionaal equivalent in grote woonblokken. Dit equivalent blijkt de belangrijkste invloeden van gebouwen op gemiddelde zonne- en warmtestraling vrijwel even goed weer te geven als meer complexe configuraties (Martilli, 2009).

De relevante wijkenmerken in dit 2D-equivalent zijn gebaseerd op de gemiddelde hoogte van de gebouwen en de gemiddelde straatbreedte (Lee & Park, 2008), bepaald binnen een cirkel met een straal van 250 meter om de stadsvijver. Verder moeten bekend zijn: het totale aantal gebouwblokken en de totale grondoppervlakte van de bebouwing binnen die cirkel.

Warmtestraling

De hoeveelheid inkomende warmtestraling aan het vijveroppervlak vanuit de atmosfeer schatten we op grond van de luchttemperatuur en luchtvochtigheid (Holtslag & Van Ulden, 1983). Deze straling wordt aangepast aan de stadse omgeving via een 'zichtfactor' (Matzarakis *et al.*, 2010), afgeleid uit de hiervoor besproken 2D-configuratie (Martilli, 2009). We houden rekening met opslag van warmte in de bebouwing volgens Matzarakis *et al.* (2010). Deze opslag beïnvloedt de temperatuur en daarmee de door gebouwen uitgezonden warmtestraling.

Urban Heat Island

's Nachts tellen we bij de luchttemperatuur het zogenoemde Urban Heat Island-effect (UHI) op, omdat het dan vaak warmer blijkt te zijn in de stad dan op het platteland. Het UHI is doorgaans kleiner naarmate het harder waait en de bewolking toeneemt. Om dit te beschrijven passen we de door Brandsma en Wolters (2012) gerapporteerde relatie tussen het maximale UHI, de windsnelheid en de bewolkingsgraad toe. Het zo berekende maximale UHI laten we vervolgens lineair afnemen met de fractie groen in de wijk, op grond van de analyse van Steeneveld *et al.* (2011).

Uitwisseling van warmte tussen water en lucht

Vijvers wisselen warmte uit met de lucht via direct warmte-transport of meer indirect via verdamping of condensatie aan het wateroppervlak. Deze transporten gaan dag en nacht door. Dit geldt ook voor verdamping die 's nachts dus bij kan dragen aan het koelen van het water. De grootte van deze energiestromen is bij open water evenredig met de windsnelheid en met de verschillen in temperatuur en waterdampconcentratie van de lucht direct aan het wateroppervlak en op enige meters hierbo-

ven. Bij de berekening van de verschillen houden we rekening met het UHI-effect.

Gepubliceerde waarden van de benodigde evenredigheidsconstante gelden doorgaans voor grote wateroppervlakken buiten de stad. In deze studie hebben we verdampingsmetingen aan een relatief klein wateroppervlak in Nederland (climateXchange.nl/sites/ijzen-doorn) gebruikt om een waarde te schatten die geschikt is voor gebruik in de stad. Het resultaat (0,0016) komt dicht in de buurt van een voor Colorado City in de jaren 50 afgeleide en nog steeds gebruikte waarde (0,00151), Harbeck et al. (1959).

Windsnelheid

De windsnelheid is in de stad lager dan op het platteland (van Hove et al., 2014). Dit verschil schatten we op basis van de verhouding tussen gemiddelde gebouwhoogte en straatbreedte (Lee & Park, 2008). Vooral wat hogere vegetatie zal de windsnelheid ook enigszins beïnvloeden, maar hiermee houden we nog geen rekening in de tool.

Overige componenten van de energiebalans

De overige, hiervoor niet besproken energiestromen uit figuur 1, zoals het effect van neerslag en warmte-uitwisseling via het sediment en vijverwanden hebben in de praktijk een geringe invloed op de watertemperatuur. In de huidige versie van het model handhaven we daarom de methodiek van het basismodel (Jacobs et al., 2010).

Implementatie als Cool Water Tool

Het model met aanpassingen voor de stad is geïmplementeerd in Python als *Web Processing Service*, ontsloten middels een webapplicatie in de omgeving van de Klimaat-effectatlas en via een Android app. De weergegevens uit de zomer van 2006 zijn beschikbaar via een achterliggende database. De luchttemperaturen van



deze reeks zijn via de transformatietool van het KNMI in overeenstemming gebracht met de vier klimaatscenario's van het KNMI uit 2006. Momenteel zijn vijf reeksen van de luchttemperatuur beschikbaar: bij het huidige klimaat H, en bij het klimaat in 2050 onder de G, G+, W en W+ scenario's. Zie knmi.nl voor meer informatie over de scenario's en de transformatietool.

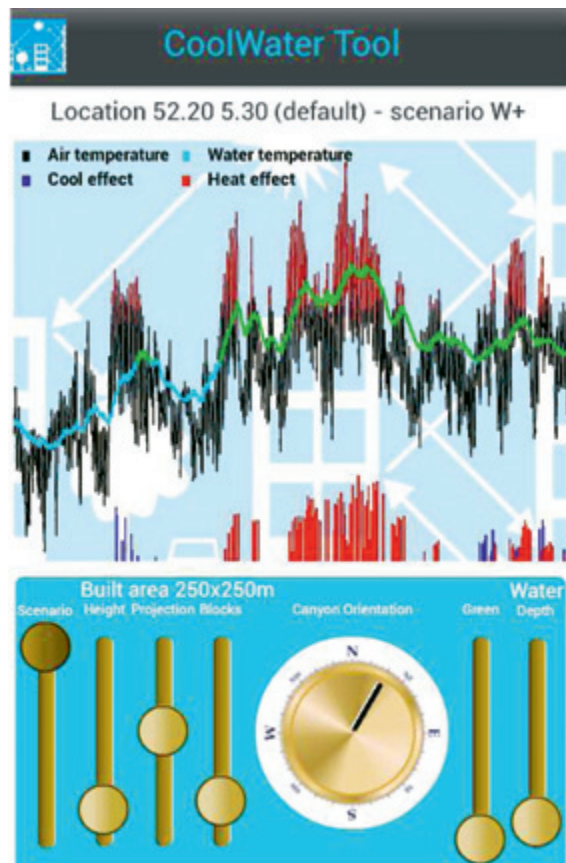
Gebruik

De Cool Water Tool is vooral bedoeld om tijdens ontwerpprocessen en werkateliers snel inzicht te kunnen geven in de rol van oppervlaktewater in een stads-klimaat. Het Deltaprogramma bereidt op dit moment een deltabeslissing voor de stad voor, en er wordt gewerkt aan een kennisportaal voor ruimtelijke adaptatie. De kennis op dit portaal moet gemeenten gaan helpen om beter rekening te kunnen houden met effecten van hitte, overstromingen, droogte en wateroverlast. Naar verwachting zullen in diverse steden klimaatateliers en ontwerpprocessen starten. Daarbij kan de Cool Water

Foto Mark van Veen.
De Roombeek wordt in Enschede na de vuurwerk-ramp en de daarop volgende herbouw, weer door de stad geleid.

Figuur 2 interface van de Cool Water Tool App voor Android, met visualisatie van resultaten in het bovenste deel van het scherm en de interface voor aanpassing van stadskenmerken in het onderste deel. De grafiek toont het verloop van de berekende watertemperatuur in de tijd bij het W+ scenario voor een ondiepe vijver in een wijk met lage bebouwing en weinig groen. Ongunstige of gunstige situaties zijn geaccentueerd.

Figure 2 interface of the Cool Water Tool App for Android, showing the visualisation of results in the upper part of the screen and the interface for definition of city characteristics in the lower part. The graph displays the evolution of the computed water temperature under the so-called W+ climate change scenario, for a shallow water layer in a neighbourhood with low-rise buildings and hardly any vegetation. Unfavourable as well as favourable conditions are highlighted.



Tool worden ingezet. Deze zal als uitbreiding van de Klimaat-effectatlas worden aangeboden.

Figuur 2 toont de interface van de Android-versie van de tool met een voorbeeldsimulatie voor een toekomstig warmer klimaat bij het zogenoemde W+ scenario. Dat scenario leidt tot een gemiddelde opwarming in Nederland van ongeveer 2°C in het jaar 2050 (knmi.nl). De volgende situaties worden geaccentueerd:

- watertemperatuur overschrijdt 20°C (groene delen van de curve voor watertemperatuur). Bij dergelijke wa-

tertemperaturen, die in dit voorbeeld gedurende een groot deel van het zomerseizoen voorkomen, is er een verhoogde kans op blauwalgenontwikkeling;

- luchttemperatuur in de nacht is hoger dan 20°C (rode deel van de curve voor luchttemperatuur). Deze situatie is ongunstig voor thermisch comfort: slapen gaat slechter, met als gevolg een verhoogde kans op afnemende productiviteit en extra sterfte onder kwetsbare bevolkingsgroepen. In dit voorbeeld komt deze situatie mede door het UHI vaak voor. Verder hebben we als basis een relatief warm jaar (2006) gekozen;
- luchttemperatuur in de nacht is hoger dan 20°C en de watertemperatuur is lager dan de luchttemperatuur. De vijver draagt nu bij aan verkoeling van de omgeving (blauwe streepjes waarbij de hoogte evenredig is met het temperatuurverschil). Dit is een gunstig effect van de vijver, maar deze situatie komt in dit voorbeeld maar op weinig dagen in voor- en najaar voor;
- luchttemperatuur in de nacht is hoger dan 20°C en de watertemperatuur is hoger dan de luchttemperatuur. De vijver draagt bij aan verwarming van de omgeving (rode streepjes waarvan de hoogte evenredig is met het temperatuurverschil). Dit is een ongunstig effect van de vijver, dat zich in dit voorbeeld 's zomers vrij frequent voordoet.

Via het instellen van de stads- en vijverkenmerken krijgt de gebruiker meteen inzicht in de invloed hiervan op het voorkomen van situaties als boven beschreven met bijbehorende gunstige of ongunstige effecten. Dit kan helpen bij het maken van ontwerpkeuzes. Dit is verder geïllustreerd in figuur 3, die laat zien hoe vijverdiepte en wijkkenmerken het voorkomen en de intensiteit van verschillende situaties kunnen beïnvloeden. We vergelijken vijvers met twee verschillende waterdieptes en in een groene woonwijk met laagbouw of in een stadscentrum met

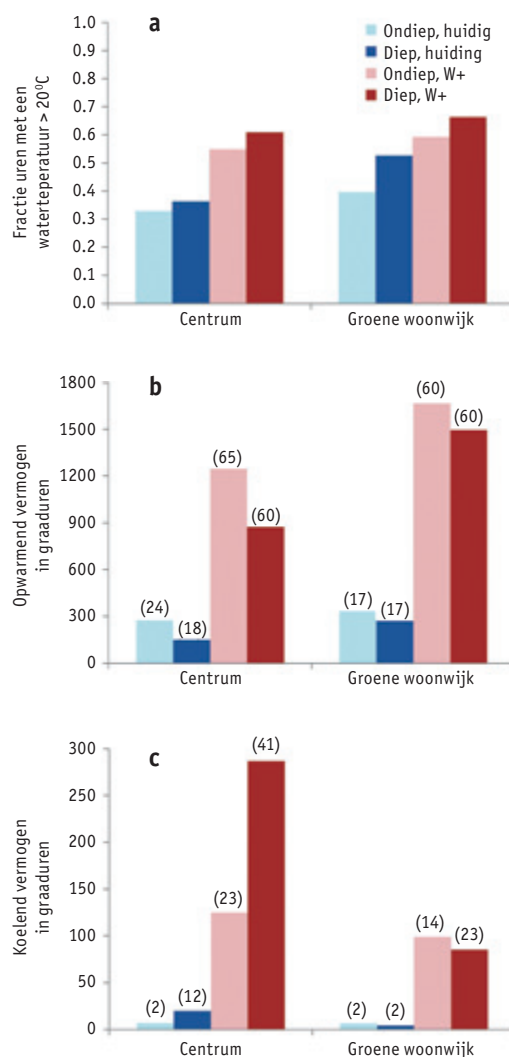
hoogbouw zonder groen.

De fractie uren in het zomerseizoen waarin de watertemperatuur hoger is dan 20°C loopt uiteen van 33-53% in het huidige klimaat tot 55-66% bij het W+ scenario (figuur 3a). Door schaduwwerking van de hoge gebouwen is deze fractie in het stadscentrum kleiner dan in de groene woonwijk. De fractie groen werkt alleen door via een reductie van het UHI-effect en heeft maar een klein effect. In de toekomst zullen we ook schaduweffecten door groen in rekening brengen. Voor de hier doorge-rekende situaties is het aantal nachten met koeling duidelijk kleiner dan het aantal nachten met ongunstige opwarming door de vijver. Zo wordt duidelijk dat water niet automatisch een goede maatregel is om stadshitte in de nacht tegen te gaan (zie ook Steeneveld et al., 2014). Daaraan gekoppeld is de vraag hoe ver de vijvereffecten doordringen in de stad. Deze reikwijdte van vijvereffecten is momenteel een punt van wetenschappelijke discussie, vooral bij kleine oppervlakken. Mogelijk zijn uit waarnemingen en berekeningen met stromingsmodellen in de toekomst eenvoudige rekenregels af te leiden die geschikt zijn voor implementatie in de Cool Water Tool.

Conclusie en vooruitblik

De Cool Water Tool is bedoeld als een instrument dat behulpzaam is bij het inpassen van oppervlaktewater in stadswijken. De huidige versie is een prototype en moet nog beter getest worden, zowel inhoudelijk (invloed van stadskarakteristieken) als op interface en gebruikersvriendelijkheid. Verder testen is een eerste prioriteit voor de toekomstige verdere ontwikkeling.

Er zijn legio mogelijkheden voor het verder uitbouwen en verfijnen van de tool. Zo kan de bruikbaarheid in klimaat- en ontwerpateilers vergroot worden door omgevingskenmerken aan de hand van de locatie uit een cen-



Figuur 3 fractie van de uren met een watertemperatuur hoger dan 20°C (a), en opwarmend (b) of koelend (c) vermogen in graaduren voor een zomerseizoen met het weer van 2006 in De Bilt (blauwe kleuren) en een zomerseizoen met verhoogde luchttemperaturen bij het W+ klimaatscenario (rode kleuren). Lichte kleuring: vijverdiepte 0,5 m, donkere kleuring: vijverdiepte 4 m. Opwarmend en koelend vermogen zijn voor nachten met een minimumtemperatuur hoger dan 20°C, berekend als de som van de temperatuurverschillen voor uren waarin het water warmer is dan de lucht (water – lucht), respectievelijk koeler (lucht – water).

Figure 3 fraction of hours during which the computed water temperature exceeds 20°C (a), and warming (b) or cooling potential (c) in degree-hours. The simulations are valid for the summer-season weather conditions in 2006, De Bilt, The Netherlands (blue colours), and with increased air temperature according to the W+ climate scenario (red colours), respectively. Light colours: water depth 0.5 m; dark colours: water depth 4 m. Warming and cooling potential are computed for nights with a minimum air temperature higher than 20°C, as the sum of the temperature differences for hours during which water is warmer than air (water – air) or cooler (air – water), respectively.

traal GIS bestand in te lezen en te gebruiken voor een realistischer berekening van de effecten van wijkenmerken op watertemperatuur. Met daaraan gekoppelde inhoudelijke verbeteringen, zoals het berekenen van

schaduweffecten van bomen en de reikwijdte van temperatuureffecten zal de tool verder kunnen uitgroeien tot een planningstool op map- en surfacetables (professioneel gebruik door ontwerpers en bestuurders), waarbij

de gebruikers vijverkenmerken en stadskenmerken interactief aanpassen om zo optimale ruimtelijke adaptatiestrategieën te ontwikkelen.

Summary

Cool Water Tool

Cor Jacobs, Inge La Rivière & Hasse Goosen

urban climate, water temperature, climate adaptation, city design

A tool to assess the water temperature of ponds in an urban environment is presented. Simulations of water temperature are based on a simple bulk model, driven

by weather conditions and taking into account specific effects of the urban fabric, like shading and reduction of wind speed. Sample calculations show that unfavourably high water temperatures cannot always be avoided and that water will not always help to mitigate heat in the city, partly depending on pond and neighbourhood design. Possible further developments and future application of the tool in support of designing spatial climate adaptation options are briefly discussed.

Literatuur

Brandsma, T. & D. Wolters, 2012. Measurement and Statistical Modeling of the Urban Heat Island of the City of Utrecht (the Netherlands). *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 51: 1046-1060.

Harbeck, G.E., G.E. Koberg & G.H. Hughes, 1959. The effect of the addition of heat from a powerplant on the thermal structure and evaporation of Lake Colorado City, Texas. Washington. Geological Survey Professional Paper 272-BUS. United States Government Printing Office.

Holtslag, A.A.M. & A.P. van Ulden, 1983. A simple scheme for daytime estimates of the surface fluxes from routine weather data. *Journal of Applied Meteorology* 22: 517-529.

Hove, L.W.A. van, C.M.J. Jacobs, B.G. Heusinkveld, J.A. Elbers, B.L. van Driel & A.A.M. Holtslag, in druk. Temporal and spatial variability of urban heat island and thermal comfort within the Rotterdam agglomeration. *Building and Environment*, doi: 10.1016/j.buildenv.2014.08.029.

Jacobs, C.M.J., J.W. Deneer & P.I. Adriaanse, 2010. Modelling water temperature in TOXSWA. Alterra report 2099. Wageningen. Wageningen UR, Alterra.

Jacobs, C.M.J., H.W. Ter Maat, J.A. Elbers & L.C.P.M. Stuyt, 2009. Conditionering van de Watertemperatuur in Buitenvijvers voor de Aquacultuur. Alterra Rapport. Wageningen, Wageningen UR.

Lee S.-H. & S.-U. Park, 2008. A Vegetated Urban Canopy Model for Meteorological and Environmental Modelling. *Boundary-Layer Meteorology* 126: 73-102.

Martilli A., 2009. On the Derivation of Input Parameters for Urban Canopy Models from Urban Morphological Datasets. *Boundary-Layer Meteorology* 130:301-306.

Matzarakis, A., F. Rutz & H. Mayer, 2010. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology* 54: 131-139.

Steeneveld, 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. *Journal of Geophysical Research - Atmospheres* 116: D20129.

Steeneveld, 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: 92-96.

Theeuwes, N.E., A. Solcerová & G.J. Steeneveld, 2013. Modeling the influence of open water surfaces on the summertime temperature and thermal comfort in the city. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres* 118: 8881-8896.