



Beeld: iStockphoto

AUTEURS



Cor Jacobs en Jan Elbers
(Alterra Wageningen UR)



Eddy Moors
(Alterra Wageningen UR)



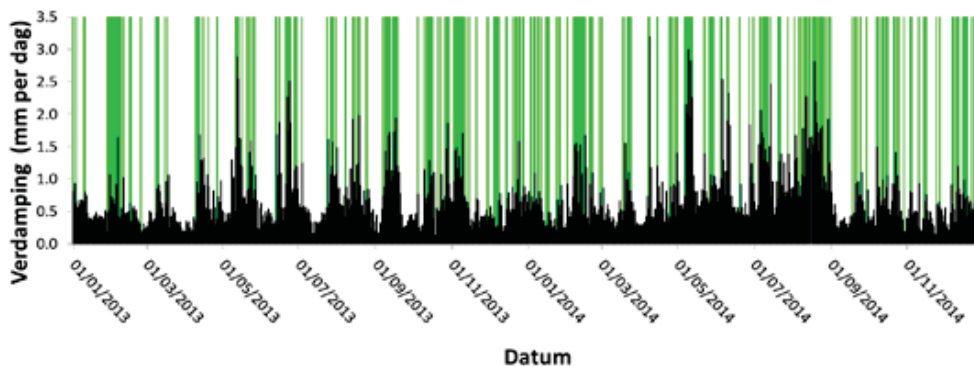
Bert van Hove
(Wageningen University)

HOEVEEL WATER VERDAMPT DE STAD?

Hoeveel water verliest een stad door verdamping? Wat betekent dat? En is dat proces van verdamping te beïnvloeden? Onderzoek van Alterra Wageningen UR levert inzichten op die voor de steden steeds belangrijker zullen worden.

De vraag naar zoetwater gaat toenemen. Tegelijk verandert het klimaat, waardoor Nederland vaker te maken krijgt met droogte en toenemende hitte in de zomer. Vraag en aanbod van zoetwater gaan vaker uit de pas lopen. Vooral voor steden is dat een probleem. Steden zijn gemiddeld warmer dan het omliggende platteland. Analyses uitgevoerd in het kader van het Deltaprogramma laten zien dat watertekorten in steden kunnen leiden tot gezondheidsschade, schade aan infrastructuur en economische schade.

Om maatregelen te nemen die schade voorkómen en om de verdeling van zoetwater in tijden van droogte en hitte te optimaliseren is kennis over de watervraag van steden en de



Gemeten dagelijks verdamping in het centrum van Arnhem (zwart) in 2013 en 2014. De groene achtergrond laat dagen zien met een neerslag van 1 millimeter of meer

dynamiek daarvan onontbeerlijk. Dit is onder andere in het Deltaprogramma geconstateerd. Tegelijk kan worden vastgesteld dat er nog veel leemtes en onzekerheid zitten in onze kennis op dit gebied. Wat weten we bijvoorbeeld van de verdamping in een stad? Met verdamping 'verdwijnt' kostbaar water. Anderzijds is voor verdamping energie nodig en dat betekent dat het kan helpen om warmte in steden enigszins te matigen. Maatregelen om hitte in de stad te temperen, zoals vergroening, zijn daarom deels of helemaal gebaseerd op verkoeling via verdamping, zolang er voldoende water beschikbaar is.

Verdamping in Arnhem

Alterra Wageningen UR meet sinds juni 2012 de verdamping in het centrum van Arnhem. Dat gebeurt via de zogenoemde *eddy-covariantie* (ec) techniek. Deze meteorologische techniek wordt internationaal veel toegepast. Verreweg de meeste ec-metingen worden boven vegetatie (bos, gras, enzovoort) uitgevoerd, maar in de afgelopen jaren is een internationaal netwerk ontstaan dat zich speciaal richt op steden. Het meetstation in Arnhem maakt deel uit van dat stedelijk netwerk.

De verdampingsmetingen zijn gestart in het kader van het onderzoeksprogramma *Climate Proof Cities*. Over langere tijd zijn de waarnemingen representatief voor een cirkel met een straal van ongeveer 1 kilometer rond het meetpunt in Arnhem. Dit stadsdeel is voor 87 procent verhard en voor 12 procent bedekt met vegetatie. De resterende 1 procent is open water.

Naast de verdampingsmetingen worden ook gewone weermetingen gedaan: neerslag, zonnestraling, temperatuur en luchtvochtigheid. Die gebruiken we in ons onderzoek onder andere om eenvoudige schattingsmethodes voor stadsverdamping te evalueren. In tegenstelling tot de specialistische ec-techniek

zijn dergelijke methodes breed toepasbaar. In die zin zijn ze geschikter om de stedelijke verdamping in de dagelijkse praktijk te schatten en de actuele droogtesituatie te volgen.

Een andere veelvuldig gebruikte en onderzochte mogelijkheid om de verdamping in een stad te schatten, is gebruik te maken van de zogeheten *referentieverdamping*. Deze methode wordt in de landbouw al vele jaren toegepast om de waterbehoefte van gewassen te bepalen. De referentieverdamping staat in feite voor de verdamping van een gezond en goed van water voorzien grasland en wordt berekend uit algemeen beschikbare standaardgegevens van het weer.

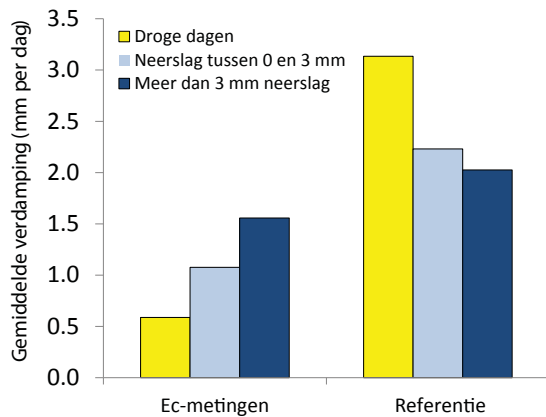
Maar een stad is geen fris grasland. Daarom is het nuttig om na te gaan of aannames achter deze methode kloppen. Dit kunnen we met onze metingen onderzoeken door de berekende referentieverdamping te vergelijken met de actuele verdamping van de ec-metingen. De referentieverdamping berekenen we daarbij volgens de door het KNMI gebruikte methode, onder andere toegepast in de droogtemonitor van Rijkswaterstaat.

Bovenstaande figuur toont in zwart de direct gemeten dagelijkse verdamping in Arnhem voor twee hele kalenderjaren, 2013 en 2014. De groene achtergrond toont natte dagen, met een gemeten neerslag van 1 millimeter of meer. De totale verdamping in 2013 bedroeg volgens deze metingen 251 millimeter in 2013 en 286 millimeter in 2014. Dit kwam neer op 35 procent, respectievelijk 30 procent van de gemeten jaarneerslag [722 millimeter in 2013, 942 millimeter in 2014].

Onze cijfers kunnen we direct vergelijken met een aantal recente schattingen van stadsverdamping, gebaseerd op een simpel lineair verband tussen

Hoeveel water
verdampst een
stad?

34



Reactie van direct gemeten verdamping en referentieverdamping in Arnhem op neerslag

verdamping en het percentage verhard oppervlak in de stad, zoals verondersteld in het rapport *Studie naar de huidige en toekomstige waterbehoefte van stedelijke gebieden* (De Graaf et al. 2013). De verdamping bij een verhardingsgraad van 0 wordt volgens die methode gelijk verondersteld aan die in het rurale gebied, 500 millimeter berekend op grond van de referentieverdamping. De verdamping bij 100 procent verharding is erg onzeker en varieert tussen 0 en meer dan 100 millimeter per jaar. Vooral deze onzekerheid en de onzekerheid in de verhardingsgraad zelf veroorzaken een forse spreiding in de schattingen van de verdamping: 255 tot 412 millimeter per jaar voor een 'gemiddelde' Nederlandse stad.

Dezelfde methode levert bij de relatief hoge fractie verhard oppervlak (87 procent) in het centrum van Arnhem een jaarlijkse verdamping van 200 millimeter of minder op.

Het centrum van Arnhem verdampte in de meetperiode dus duidelijk meer dan op grond van de methode die in 2013 door De Graaf et al. werd gepubliceerd, verwacht mocht worden.

Een mogelijke reden hiervoor is een relatief hoge verdamping op regendagen en de dagen daarna, zoals in de figuur op de vorige pagina te zien is.

Schattingmethode

De sterke reactie van verdamping op neerslag is ook van belang in verband met de mogelijke toepassing van de traditionele *referentieverdamping* als schattingmethode. Die reactie onderzoeken we door de dagelijkse actuele verdamping en referentieverdamping te groeperen naar neerslaghoeveelheid.

Vervolgens middelen we de verdamping in elke groep van gegevens. We kijken daarbij naar de zomerperiodes van april tot en met september.

De resultaten, getoond in de figuur hiernaast, laten zien dat de gemeten *verdamping* sterk toeneemt met neerslaghoeveelheid, terwijl de *berekende* referentieverdamping juist afneemt. Op regendagen is de stad blijkbaar in staat het water efficiënter te verdampen dan een grasland, waarschijnlijk dankzij in stadsmaterialen opgeslagen zonne-energie.

Naast het in de figuur getoonde effect speelt nog een tweede effect een rol. In het centrum van Arnhem bevinden zich veel gebouwen met platte daken. Door berging van regenwater op deze daken ontstaat een interceptiereservoir. Daardoor is de gemeten actuele verdamping nog langere tijd verhoogd. Dit effect zien we tot 3 à 4 droge dagen na een regendag terug in de metingen. Terwijl de actuele, gemeten verdamping geleidelijk afneemt tijdens het opdrogen van de daken, neemt berekende referentieverdamping gemiddeld juist toe.

Naast dit verschillend gedrag valt op dat de gemeten actuele verdamping geen duidelijk seizoenspatroon vertoont (zie de figuur op de vorige pagina), terwijl de berekende referentieverdamping normaal gesproken een duidelijk maximum laat zien in de zomer. Bij gebruik van de referentieverdamping als maatstaf voor de stadsverdamping zou de watervraag van het centrum van Arnhem in de zomerperiode waarschijnlijk dus overschat worden. Een belangrijke constatering in verband met zoetwatergebruik tijdens droge periodes.

Interceptiemodel

Kortom, de traditionele referentieverdamping is niet geschikt om de actuele verdamping op wijk- of stadschaal eenvoudig schatten. Een stedelijk interceptiemodel zou hier mogelijk uitkomst kunnen bieden. Zo'n model hoeft niet ingewikkeld te zijn. Onze metingen bieden de mogelijkheid een dergelijk eenvoudig model te evalueren en te kalibreren, om het vervolgens te kunnen toepassen op andere steden. In hoeverre draagt verdamping nu bij aan het matigen van hitte? Om die vraag te beantwoorden analyseren

we nogmaals de verdamping tijdens de zomerperiodes in de meetreeks. De dagelijkse verdamping in de zomers van 2012-2014 bedroeg gemiddeld iets meer dan 0,9 millimeter per dag. De hiervoor benodigde energie komt overeen met 15 procent van de inkomende zonne-energie. Ruwe berekeningen met een eenvoudig meteorologisch model suggereren dat deze verdamping voor een grote stad en bij helder Nederlands zomerweer zou kunnen leiden tot een maximumtemperatuur die 1 à 2 graden lager ligt dan in dezelfde situatie zonder verdamping. Dit lijkt weinig, maar een dergelijke verkoeling kan het thermisch comfort voor mensen merkbaar verbeteren.

Kennis over de werking van verdamping, zoals afgeleid uit de meetgegevens, kan helpen de verkoeling door verdamping te optimaliseren op grond van ontwerpprincipes die gebruikt worden om een stad klimaatbestendig te maken. Zo suggereert het najaar van de verdamping na een natte dag dat verdamping enigszins met bouwwijze en inrichting beïnvloed kan worden. Groene daken en andere structuren kunnen regenwater tijdelijk bergen en de verdamping helpen vertragen. Op deze manier is het in principe mogelijk zonder extra waterverbruik de bijbehorende verkoelende werking over meerdere dagen uit te smeren. Dit betekent wel dat het water niet meer beschikbaar is voor andere functies, zoals aanvulling van het grondwater.

Met onze resultaten kan de stedelijke waterbehoefte beter ingeschat worden, bijvoorbeeld via meetgegevens die het mogelijk maken modellen te toetsen en te verbeteren. Gebruik van dergelijke modellen kan helpen bij het ontwerpen van steden en het optimaliseren van waterbeheer.

Cor Jacobs
(Alterra Wageningen UR)
Jan Elbers
(Alterra Wageningen UR)
Eddy Moors
(Alterra Wageningen UR)
Bert van Hove
(Wageningen University)

Literatuur

Albers, R., P. Bosch, B. Blocken, A. Van Den Dobbelsteen, L. Van Hove, T. Spit, F. Van De Ven, T. Van Hooff and V. Rovers (2015). *Overview of challenges and achievements in the Climate Adaptation of Cities and in the Climate Proof Cities program*. Building and Environment 83: 1-10.

De Graaf, R.E., B. Roeffen, T. den Ouden en B. Souwer (2013). *Studie naar de huidige en toekomstige waterbehoefte van stedelijke gebieden*. Rapport Deltasync bv, Delft.

SAMENVATTING

Stedelijk waterverlies door verdamping is een belangrijke, maar bijzonder onzekere factor in de watervraag van een stad. Tegelijkertijd kan verdamping helpen om stedelijk gebied te verkoelen. In de toekomst zal het steeds vaker nodig zijn om voordelen van koeling door verdamping af te wegen tegen het bijbehorende nadeel van waterverlies.

Om de huidige kennisleemtes over verdamping van de stad te helpen opvullen worden directe metingen aan verdamping uitgevoerd in het centrum van Arnhem. Directe verdampingsmetingen leveren betrouwbare gegevens om modellen en methodes te ontwerpen en te evalueren, die vervolgens gebruikt kunnen worden ter ondersteuning van beslissingen over waterbeheer in relatie tot verkoeling en stadsontwerp. Volgens de metingen bedroeg de verdamping ongeveer 30 tot 35 procent van de jaarneerslag in 2013-2014. Daarbij leverde verdamping 's zomers een duidelijke bijdrage aan verkoeling. Op jaarbasis was de verdamping verrassend groot, mede door de sterke verdamping tijdens natte dagen. Een evaluatie van het gebruik van traditionele referentieverdamping als basis voor een eenvoudige schattingsmethode voor urbane verdamping laat zien dat deze methode voor een stad als Arnhem onbetrouwbare schattingen oplevert.

Hoeveel water
verdampst een
stad?