

Het warmte-eiland-effect

Het klimaat in een grote stad onderscheidt zich niet alleen van een landelijke omgeving door een slechtere luchtkwaliteit [1], maar ook door een hogere gemiddelde temperatuur: het warmte-eiland-effect. Lange tijd is gedacht dat dit effect alleen voor zou komen in megasteden, die we in Nederland niet kennen. Bovendien zou ons zeeklimaat met veel frisse wind, overwegend vanuit het westen, zorgen voor een goede ventilatie van de stedelijke gebieden; de warmte zou wel wegwaaien. Inmiddels is vast komen te staan dat het warmte-eiland-effect niet aan Nederland voorbijgaat. Reden om ons vakgebied over het verschijnsel te informeren.

Ing. B. (Ben) Bronsema, Technische Universiteit Delft, Faculteit Bouwkunde, Rehva Fellow en Promovendus Sectie Climate Design & Sustainability van de afdeling Bouwtechnologie

Het warmte-eiland-effect of *Urban Heat Island* effect (UHI) is het verschijnsel dat de temperatuur in een stedelijk gebied gemiddeld hoger is dan op een bepaald referentiepunt in het omliggende landelijk gebied. Dit temperatuurverschil wordt veroorzaakt door de volgende factoren [2]:

- in steden wordt door het grotere absorberende oppervlak van gebouwen in combinatie met de hoge thermische capaciteit van bouwmaterialen, baksteen, beton, asfalt e.d. meer zonlicht geabsorbeerd dan in landelijke gebieden;
- de zichtfactor voor uitstraling naar de hemel is kleiner dan in een landelijk gebied; gebouwen vangen elkaars straling op;
- de diffuse reflectiefactor (albedo) van het stedenbouwkundig profiel is meestal kleiner dan die van een landelijk oppervlak;
- in een landelijk gebied wordt een groter deel van de zonnestraling door verdamping omgezet in latente warmte dan in een ste-

delijk gebied en dus minder voelbare warmte geabsorbeerd. Dit effect wordt gekwantificeerd in de Bowen factor, uitgedrukt in de formule: $\beta = Q_h / Q_e$ (1), waarin:

$$\begin{aligned}\beta &= \text{Bowen factor} && [-] \\ Q_h &= \text{voelbare warmtestroom} && [W] \\ Q_e &= \text{latente warmtestroom} && [W]\end{aligned}$$

- Karakteristieke waarden voor de Bowen factor zijn 4...5 in een stedelijke gebied en 0,8...1,5 in een landelijk gebied;
- in een stedelijk gebied wordt veel antropogene warmte geproduceerd door klimaatregeling, verwarming en koeling van gebouwen, gemotoriseerd vervoer, fabrieken etc. Voor deze warmteflux worden cijfers genoemd van 10...20 W.m⁻² in woonwijken, 50...100 W.m⁻² in een dichtbebouwd stadscentrum, tot 120...150 W.m⁻² in Lower Manhattan;
 - in een stedelijk gebied is de warmteafvoer door de wind minder dan in een landelijk gebied.

De effecten van het warmte-eiland-effect op het klimaat van de stad zijn:

- het ontstaan van thermische luchtstromingen door temperatuurverschillen;
- een verhoogde buitentemperatuur; karakteristieke waarden liggen in de orde van 2°C, maar in bepaalde steden zijn waarden gemeten tot 6 à 7°C (Londen) en 8°C (Sao Paolo). De referentiehoogte waarbij deze waarden zijn gemeten wordt niet vermeld, maar aangenomen mag worden dat ze voor straatniveau gelden;
- verhoogde temperatuurafhankelijke emissies van bepaalde luchtverontreinigingen;
- verhoogde fotochemische productie van smog; een belangrijk gezondheidsrisico in een stedelijk gebied [3].
- een hogere binnentemperatuur in gebouwen in geval van natuurlijke ventilatie.

De effecten van het warmte-eiland-effect op het energiegebruik zijn:

- een hoger energiegebruik voor koeling en klimaatregeling van gebouwen in de zomer;
- een hoger brandstofverbruik voor de airconditioning van motorvoertuigen;
- een lager energiegebruik voor gebouwverwarming in de winter. De grotere koelbelasting in het koelseizoen vergt in het algemeen meer energie dan in het stookseizoen wordt bespaard.

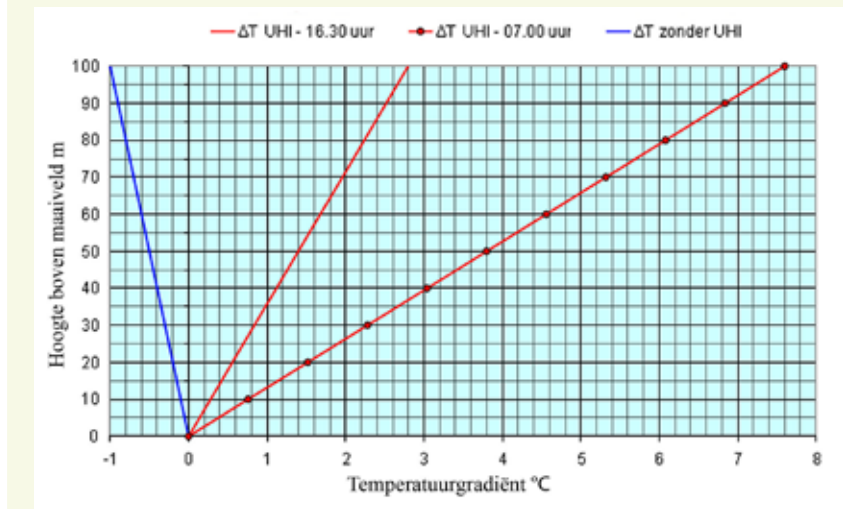
Het warmte-eiland-effect is sterk afhankelijk van klimatologische omstandigheden. Bij een bewolkte lucht is de afkoeling gedurende de nacht geringer, zowel in een landelijk als stedelijk gebied, waardoor de omvang van het nachtelijk warmte-eiland-effect afneemt. Na een regenbui wordt door verdamping een groter gedeelte van de zonnestraling omgezet in latente warmte onder gelijktijdige afname van de voelbare warmte en een inherente vermindering van het warmte-eiland-effect. Omgekeerd geeft een heldere hemel en droge lucht een groter warmte-eiland-effect, tenzij de gemiddelde windsnelheid hoog is. In dat geval wordt voelbare warmte gemakkelijker afgevoerd en is het warmte-eiland-effect juist minder [4].

Het warmte-eiland-effect is dus het resultaat van verschillende factoren die in ruimte en tijd, geografische en klimatologische omstandigheden verschillen, maar is normaliter 's nachts het hoogst. Oorzaak hiervan is het vrijkomen van in de steenachtige massa van gebouwen en straten geaccumuleerde warmte, die in een landelijke omgeving ontbreekt.

Binnen het warmte-eiland-effect op de macroschaal van een stad kunnen op de microschaal van straat of gebouw behoorlijke temperatuurverschillen ontstaan. De omvang hiervan is in hoge mate afhankelijk van de aspectratio. Dat is de gemiddelde hoogte van gebouwen t.o.v. de straatbreedte. Bij een hoge aspectratio is de zontoetreding in een straat geringer en kan er binnen het warmte-eiland van de stad plaatselijk een koelte-eiland ontstaan [4]. Het warmte-eiland-effect wordt verder gekenmerkt door een positieve verticale temperatuurgradiënt in de orde van 3 tot 8°C per 100 m [5]. Dit wordt bevestigd door onderzoek [6] dat van straatniveau tot een hoogte van 100 m een verticale temperatuurgradiënt laat zien van 2,8°C om 16.30 uur tot 7,6°C om 7.00 uur (zie figuur 1). De verhouding tussen dag (16.30 uur) en nacht (7.00 uur) is ongeveer 0,37. Zonder warmte-eiland-effect is er een negatieve verticale temperatuurgradiënt van ongeveer 1°C per 100 m.

■ ONDERZOEK

In de hele wereld is er een toenemende trend naar verstedelijking met als gevolg het



-Figuur 1- Verticale temperatuurgradiënt zonder en met warmte-eiland-effect volgens [6]

ontstaan van megasteden, vooral in Oosterse landen. Klimatologen verwachten in deze eeuw onder invloed van het broeikas effect ook een mondiale temperatuurstijging. In verschillende Europese steden is tijdens enkele hittegolven in het vorige decennium een verhoogde sterfte onder de stadsbevolking gemeten. Bij elkaar genomen heeft dit het onderzoek naar het warmte-eiland-effect en de urbane klimatologie een impuls gegeven [7]. De resultaten van dit onderzoek zijn vooral van belang voor de stedenbouwkundige topografie, waarin de bebouwingsdichtheid, de afwisseling van gebouwhoogten, de permeabiliteit van de bebouwing in relatie tot de windrichting en het ontwerp van water- en groenpartijen van belang zijn voor de vermindering van het warmte-eiland-effect. Er ligt hier een duidelijk spanningsveld met de trend naar een hoge bebouwingsdichtheid in compacte steden [8]. Het onderzoek loopt parallel met het onderzoek naar de verspreiding van verkeersemisies. Het gebruik van GIS, Geographical Information System, en IRS, Infrared Remote Sensing, voor het vastleggen van *hotspots* en *coolspots* speelt hierbij een belangrijke rol [9]. In de VS en enkele Zuid Europese landen [10] wordt onderzoek gedaan naar de vermindering van het warmte-eiland-effect, o.a. door toepassing van reflecterende gevels en daken. Een reflecterende dakbedekking geeft in de zomer een daktemperatuur van 10...15°C tegenover 40...45°C van een conventionele dakbedekking. Ook hier is de energiebesparing in de zomer groter dan het grotere energiegebruik in de winter. Voor Nederland zou een grootschalige toepassing van 'groene' daken en gevels een betere oplossing kunnen bieden. Hierdoor wordt niet alleen het warmte-eiland-effect verminderd maar ook de luchtkwaliteit

verbeterd. Een hogere reflectiefactor (Albedo) en een lagere Bowen factor (meer verdamping) hebben beide een gunstige uitwerking. In ons land stimuleert de Gemeente Rotterdam met een subsidieregeling de aanleg van groene daken en gevels (zie kader einde artikel).

■ EFFECT IN NEDERLAND [11]

In tegenstelling tot vele andere landen werd tot voor kort in Nederland naar urbane meteorologie geen onderzoek gedaan. Het warmte-eiland-effect werd hier door het milde klimaat en de invloed van de Noordzee nauwelijks van belang geacht. Dit veranderde na de hittegolven van 2003 en 2006, die oorzaak waren van een extra sterfte van tussen 1.000 en 2.200 personen. Deze aantallen zijn in vergelijking met de cijfers van andere Europese landen relatief hoog.

De extra sterfte kwam vooral tot uitdrukking in steden, waardoor de bewustwording ontstond dat ook in Nederland met het warmte-eiland-effect rekening moet worden gehouden. Daar komt bij dat de trend van een toenemende verstedelijking aan Nederland niet voorbijgaat en dat door de verwachte klimaatverandering ook in Nederland warme dagen frequenter zullen voorkomen.

Door Wageningen University is recentelijk het warmte-eiland-effect in stedelijke gebieden van Nederland onderzocht [12]. Daarbij is gebruik gemaakt van literatuurstudie, voorlopige resultaten van recente meteorologische metingen in Rotterdam en Arnhem, alsmede gegevens verstrekt door amateur meteorologen.

In Rotterdam werden op een warme dag, 6 augustus 2009, metingen gedaan met behulp van mobiele meetstations op twee bakfietsen. Als referentiemeting werden de temperaturen

op Rotterdam Airport gebruikt. In de vroege namiddag (14.00 tot 16.00 uur) waren de temperaturen in de binnenstad 1 tot 2 K hoger, en in het Park 1 tot 2 K lager dan de referentie. In de late avond (22.00 tot 24.00 uur) daarentegen was de temperatuur in de binnenstad 5 K hoger dan de referentie, en vergeleken met de landelijke omgeving zelfs 7 K.

Tabel 1 laat de belangrijkste meetresultaten zien voor de zomer van 2010 voor de locaties Rotterdam Centrum, Zuid en Oost.

In Arnhem werden op 19 augustus 2009 soortgelijke metingen gedaan, waarbij eveneens een substantieel warmte-eiland-effect van ongeveer 7 K werd gemeten.

Tabel 2 laat de waarden zien van het warmte-eiland-effect voor verschillende Nederlandse steden en dorpen, zoals gemeten door amateur meteorologen. De hoogste waarden, gemeten in Rotterdam, komen goed overeen met de metingen van tabel 1. Opvallend zijn de relatief hoge waarden die gerapporteerd zijn in een kleine plaats als Losser.

Een vergelijking van Nederlandse met buitenlandse steden geeft aan dat het warmte-eiland-effect dezelfde grootteorde heeft.

URBAN CLIMATE ZONE

Om warmte-eiland-effecten in verschillende plaatsen te kunnen vergelijken is het

onderscheid ' urbaan versus ruraal', of 'stedelijk versus landelijk' veel te grof. Om stedenbouwkundige karakteristieken nauwkeuriger te kunnen definiëren is een classificatiesysteem UCZ ontwikkeld [13], zie figuur 2. Naast een omschrijving van het betreffende gebied zijn hierin enkele fysiek meetbare parameters gebruikt, te weten:

- Davenport Ruwheidsclassificatie [14];
- Aspect Ratio, zie de verklaring in figuur 2;
- percentage (bebouwde + verharde) grondoppervlak.

Het systeem wordt momenteel nog verder verfijnd met o.a. de diffuse reflectiefactor (albedo) en de antropogene warmteflux van

	Rotterdam Centrum	Rotterdam Zuid	Rotterdam Oost
UCZ, Urban Climate Zone Classification	1	2	3
Zomer 2010			
Mediaan	4,6 K	4,4 K	3,4 K
95 Percentiel	7,8 K	7,0 K	5,3 K
Maximum	8,9 K	7,8 K	6,7 K
Winter 2009 / 2010			
Mediaan	2,2 K	2,3 K	1,4 K
95 Percentiel	5,1 K	4,5 K	3,8 K
Maximum	5,7 K	5,0 K	4,8 K
Winter 2010 . 2011			
Mediaan	2,3 K	2,2 K	2,0 K
95 Percentiel	6,7 K	5,2 K	3,8 K
Maximum	8,0 K	6,4 K	5,7 K

-Tabel 1- Gemeten waarden van het warmte-eiland-effect in Rotterdam

	Plaats	Inwoners (x1000)	Begindatum	Einddatum	UCZ	UHI _{max} - K	
						Mediaan	95 Perc.
1	Apeldoorn	160	01/2008	06/2009	5	2,9	6,2
2	Assen	65	01/2007	03/2009	3	1,8	4,0
3	Damwoude	5,5	01/2005	04/2009	5-7	1,3	3,2
4	Delft	97	01/2007	03/2009	2-3	1,7	4,8
5	Doornenburg	2,7	06/2007	06/2009	5	2,6	5,7
6	Groningen	198	01/1999	03/2009	3	1,5	3,1
7	Haarlem	149	12/2005	02/2008	3	2,5	5,7
8	Heemskerk	39	01/2005	12/2008	3	2,8	5,9
9	Heerhugowaard	50	01/2005	04/2009	3-5	2,4	6,2
10	Houten	47	07/2006	04/2009	3	1,2	3,0
11	IJsselmuiden	12	07/2005	07/2009	3	3,1	6,8
12	Leeuwarden	94	01/2007	03/2009	3-5	1,1	3,0
13	Leiden	117	03/2004	03/2009	3	3,2	5,6
14	Losser	23	01/2003	12/2008	3-5	2,9	6,8
15	Purmerend	79	01/2008	03/2009	3	2,5	4,6
16	Rotterdam	588	12/2007	03/2009	2-3	3,4	7,6
17	Den Haag	483	07/2007	04/2009	3-5	2,2	5,3
18	Voorburg	40	01/2006	12/2008	2	2,4	5,6
19	Wageningen	35	01/2008	07/2010	3-5	2,4	5,6

-Tabel 2- Gemeten waarden van het warmte-eiland-effect in verschillende plaatsen

het betreffende gebied [15].

Een klimaatactief gebouw (een gebouw dat adaptief reageert op het buitenklimaat) komt het beste tot zijn recht in een klimaatactieve stedenbouwkundige omgeving. Nader onderzoek zou moeten worden gedaan naar een model dat stedenbouwkundige aspecten combineert met het windklimaat, het warmte-eiland-effect en de daaraan gerelateerde energieaspecten.

■ IS HET EFFECT TE BEREKENEN?

Een oude publicatie geeft de volgende benaderingsformule voor het nachtelijke warmte-eiland-effect [15], die overigens in meer recente publicaties nergens is teruggevonden:

$UHI_N = P^{0,25} / 4U^{0,5}$ (2), waarin:

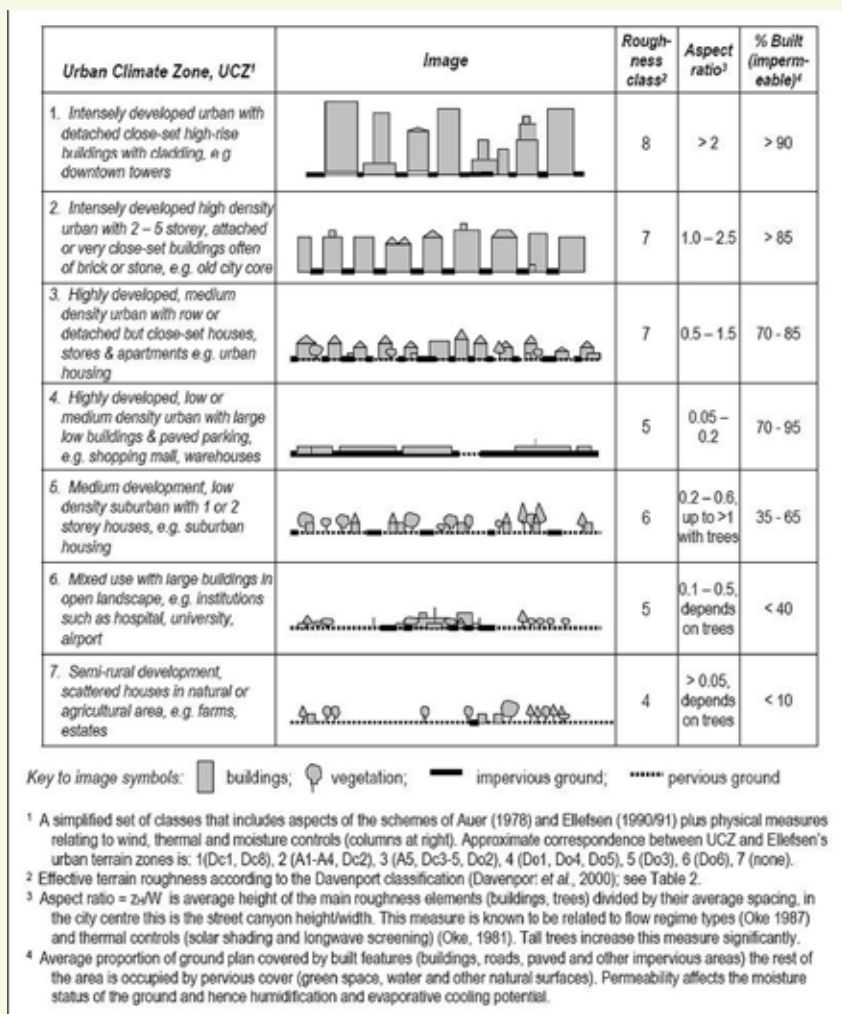
UHI_N = warmte-eiland-effect 's nachts [K]

P = aantal inwoners betreffende stad [-]

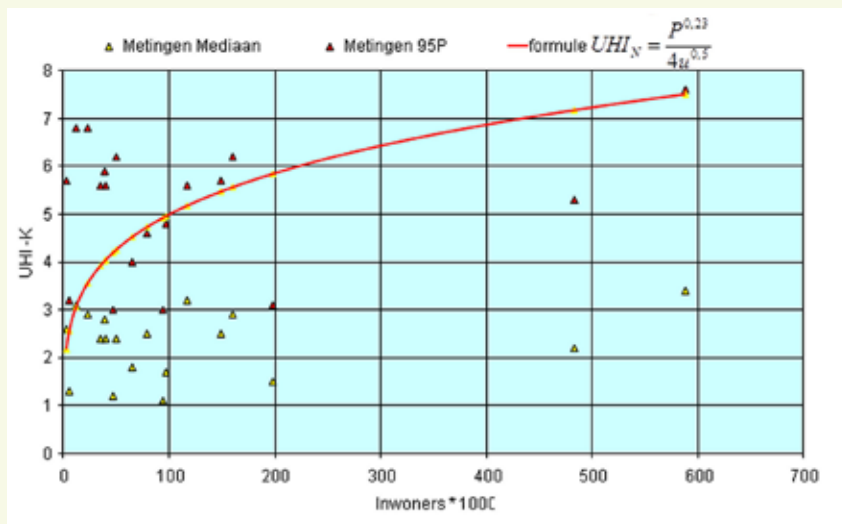
U = windsnelheid [$m \cdot s^{-1}$]

In figuur 3 zijn de meetgegevens van tabel 2 grafisch uitgezet. De grote spreiding laat niet toe met redelijke betrouwbaarheid een relatie af te leiden tussen het warmte-eiland-effect en het aantal inwoners. In de figuur zijn ook de berekende waarden volgens de formule weergegeven voor een windsnelheid van 0,5 $m \cdot s^{-1}$, waarbij echter na enig *trial and error* de exponent van P is verlaagd van 0,25 naar 0,23. Voor Rotterdam en zeven andere steden geeft de formule dan een resultaat dat redelijk overeenkomt met de gemeten waarden voor de 95 percentiel. Deze formule is enigszins speculatief. Er is niet vermeld op welke hoogte de windsnelheid wordt gemeten, maar aangenomen mag worden dat deze geldt ter plaatse van het meetstation, dus op straatniveau. Er is in dat geval nauwelijks een relatie met de potentiële windsnelheid U_{10} aan te geven en dus ook niet met de statistische frequentie hiervan (de potentiële windsnelheid is de windsnelheid op een hoogte van 10 m in een vlak en open terrein). Het aardige van formule (2) is dat de windsnelheid hierin een rol speelt, en het is inderdaad de wind die bij de ventilatie en de warmteafvoer van de stad een belangrijke rol speelt. Anderzijds blijkt uit tabel 2 dat er niet altijd een relatie is tussen het aantal inwoners en het warmte-eiland-effect. Ook uit kleinere plaatsen worden immers substantiële waarden gerapporteerd.

Bij de metingen in Rotterdam, met 588.000 inwoners, zijn ook de plaatselijke windsnelheden op de meetstations gemeten, zie figuur 4. Een controleberekening met gebruikmaking van de gemiddelde formule geeft voor windsnelheden van 0,5 tot 1,0 en 1,5 $m \cdot s^{-1}$ een UHI-effect van respectievelijk 7,5 - 5,3 en 4,3 °C, die hiermee ten opzichte van de metingen zijn overgewaardeerd.

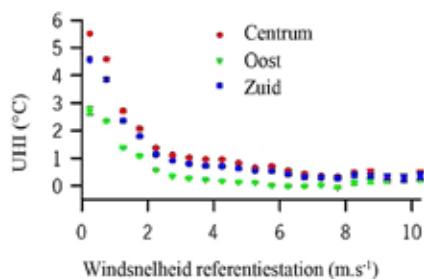


-Figuur 2- Urban Climate Zone Classification



-Figuur 3- Grafische weergave meetgegevens tabel 2 en aangepaste formule met $u = 0,5 m \cdot s^{-1}$

Voor Amsterdam, met 750.000 inwoners, wordt bij deze windsnelheden een UHI-effect berekend van respectievelijk 7,9 - 5,6 en 4,6°C. Meetgegevens van Amsterdam zijn niet bekend. Voor Assen, met 65.000 inwoners, zijn deze cijfers respectievelijk 4,5 - 3,2 en 2,6°C, redelijk vergelijkbaar met de in tabel 2 gemeten waarden.



-Figuur 4- UHC (°C) in Rotterdam als functie van de windsnelheid

GEVOLGEN

Het warmte-eiland-effect is het sterkst in de nachtelijke uren als de meeste kantoorgebouwen gesloten zijn en er dus geen additionele belasting van de klimaatinstallatie optreedt. Voor gebouwen met continubedrijf treedt er wel een additionele belasting op. Hier staat echter tegenover dat de externe belasting door zoninstraling 's nachts ontbreekt.

In het 'Earth, Wind & Fire'-concept, een onderzoeksproject dat ik momenteel uitvoer, wordt de ventilatielucht op dakniveau aangezogen.

De positieve verticale temperatuurgradiënt is hier een minder gunstige omstandigheid.

Voor gebouwen tot een hoogte van 70 m is het effect in de dagsituatie echter beperkt tot maximaal ongeveer 2°C, zie figuur 3. Voor een gebouw van deze hoogte in het centrum van Rotterdam, waar het warmte-eiland-effect op straatniveau 1 à 2 K is, zal dan in de koelperiode rekening moet worden gehouden met een temperatuur van de aangezogen ventilatielucht die 3 à 4 K boven de ontwerp buiten-temperatuur ligt. De nadelige consequenties die dit heeft voor de koellast, worden in de stookperiode gedeeltelijk gecompenseerd.

Een methodologie voor de voorspelling van het energiegebruik in een warmte-eiland op basis van meteorologische gegevens op bepaalde locaties is in een casestudy voor Londen uitgewerkt [16]. De te verwachten negatieve effecten van het warmte-eiland-effect op de thermische belasting worden ruimschoots gecompenseerd door de veel betere luchtkwaliteit op hogere niveaus [1].

REFERENTIES

1. Bronsema B. 2011. Luchtkwaliteit in de grote stad. TVVL Magazine x/2011
2. Taha, Haider (2004). Heat Islands and Energy.

EUROPA'S GROOTSTE GROENE GEVEL

De parkeergarage Westblaak in Rotterdam is de grootste groene gevel van Europa. Langs de verschillende zijvlakken en op de bovenste parkeerlaag is in totaal 5.000 m² groene gevel aangelegd. De bouw begon mei 2010 en werd begin september van dat jaar afgerond. De aanleg was mede mogelijk door een financiële bijdrage van de gemeente Rotterdam. Die stimuleert met een subsidieregeling al de aanleg van groene daken. Groene daken spelen een belangrijke rol bij de afvang van overtollig regenwater bij extreme regenbuien, zorgen voor een langere levensduur van het dak en nemen fijn stof en CO₂ op. Met een financiële bijdrage voor de eerste groene gevel zette Rotterdam een nieuwe stap in het verder verduurzamen van de stad. Wethouder Bolsius (Haven, Financiën, Buitenruimte en Organisatie): "Groene gevels zorgen voor een lokale reductie van fijn stof, stikstof en omgevingslawaai. Daarnaast dragen ze bij aan een groene en aantrekkelijke leefomgeving. Dat zijn zeker bij een grote en centraal gelegen parkeergarage als de Westblaak grote voordelen. Bovendien werken groene gevels in de zomer verkoelend – de stralingswarmte is minder – en wordt bij de garage Westblaak het regenwater hergebruikt." De groene gevel voor de parkeergarage Westblaak is de eerste pilot die in uitvoering is gegaan. Meerdere pilots moeten de effecten van groene gevels in beeld brengen. De parkeergarage Westblaak wordt voorzien van een korfstructuur van een lichtgewicht metalen gaasconstructie met wintergroene klimplanten (Hedera). Door de combinatie van het groene takkenmotief van de constructie en de planten ontstaat een extra architectonische dimensie met een frisse groene uitstraling. De planten worden volautomatisch gevoed met het regenwater dat is gefilterd en opgeslagen in waterreservoirs onder de parkeergarage. Het Rotterdamse architectenbureau Kühne & Co ontwierp de groene gevel van de parkeergarage.



Encyclopaedia of Energy, Volume 3, 2004 Elsevier Inc.

3. Santamouris, M. 2004. Natural Ventilation in Urban Areas. Ventilation Information Paper No. 3 maart 2004. Air Infiltration and Ventilation Centre – www.aivc.org
4. Erell, E. et al 2007. Accounting for Urban Microclimate in Computer Simulation of Building Energy Performance. Proceedings PLEA 2007- The 24th Conference on Passive and Low Energy Architecture, pp 210 – 217.
5. Morawska, L. 2004. Motor vehicle emissions as a source of indoor particles. Indoor environment, Wiley – VCH. Morawska and Saltthammer (Editors), pp 297-318.
6. Rubino, F.M. et al 1998. Height Profile of some Air Quality Markers in the Urban Atmosphere Surrounding a 100 m Tower Building. Atmospheric Environment Vol. 32 No. 20 (1998) pp 3569-3580.
7. Hebbert, Michael 2011. Climate Science in Urban Design: A historical and Comparative Study of Applied Urban Climatology. Workshop University of Manchester 23 juni 2011. <http://www.sed.manchester.ac.uk/architecture/research.csud/workshop/abstracts>
8. Ng, Edworf 2011. Application of Urban Climatic Map to Urban Planning of High Density Cities – An Experience from Hong Kong. Workshop University of Manchester 23 juni 2011.
9. Hien, W.N. et al 2007. Geographical Information System (GIS)-Based Urban Heat Island Study in NUS Campus. Proceedings

PLEA 2007- The 24th Conference on Passive and Low Energy Architecture, pp 273 – 280.

10. Synnefa, A. et al 2007. Passive cooling of buildings by the application of cool coatings. Proceedings PLEA 2007- The 24th Conference on Passive and Low Energy Architecture, pp 431 – 436.
11. Hove, van L.W.A. 2011. Exploring the Urban Heat Island Intensity in the Netherlands. Workshop University of Manchester 23-06-11
12. Hove, Bert van et al 2010. Het stadsklimaat in Rotterdam. Een eerste analyse van de meetgegevens van het meteorologische meetnet.
13. Oke, Tim R. 2006. Towards better scientific communication in urban climate. Theoretical and Applied Climatology Volume 84, Numbers 1-3, pp 179-190
14. Wieringa J. en Rijkkoord P.J. 1983. Windklimaat van Nederland. Staatsuitgeverij Den Haag ISBN 90-12-04466 9
15. Steward, Iain and Oke, Tim 2009. A new classification system for urban climate sites. Bulletin of the American Meteorological Society / Jul 2009
16. Benett, M.; Saab, A.E., 1982: Modelling of the urban heat island and of its interaction with pollutant dispersal. Atmospheric Environment 16, 1797-1822
17. Kolokotroni Maria et al 2010. A validated methodology for the prediction of heating and cooling energy demand for buildings within the Urban Heat Island: case study of London. Solar Energy Volume 84, Issue 12, December 2010, pp 2246 – 2255.