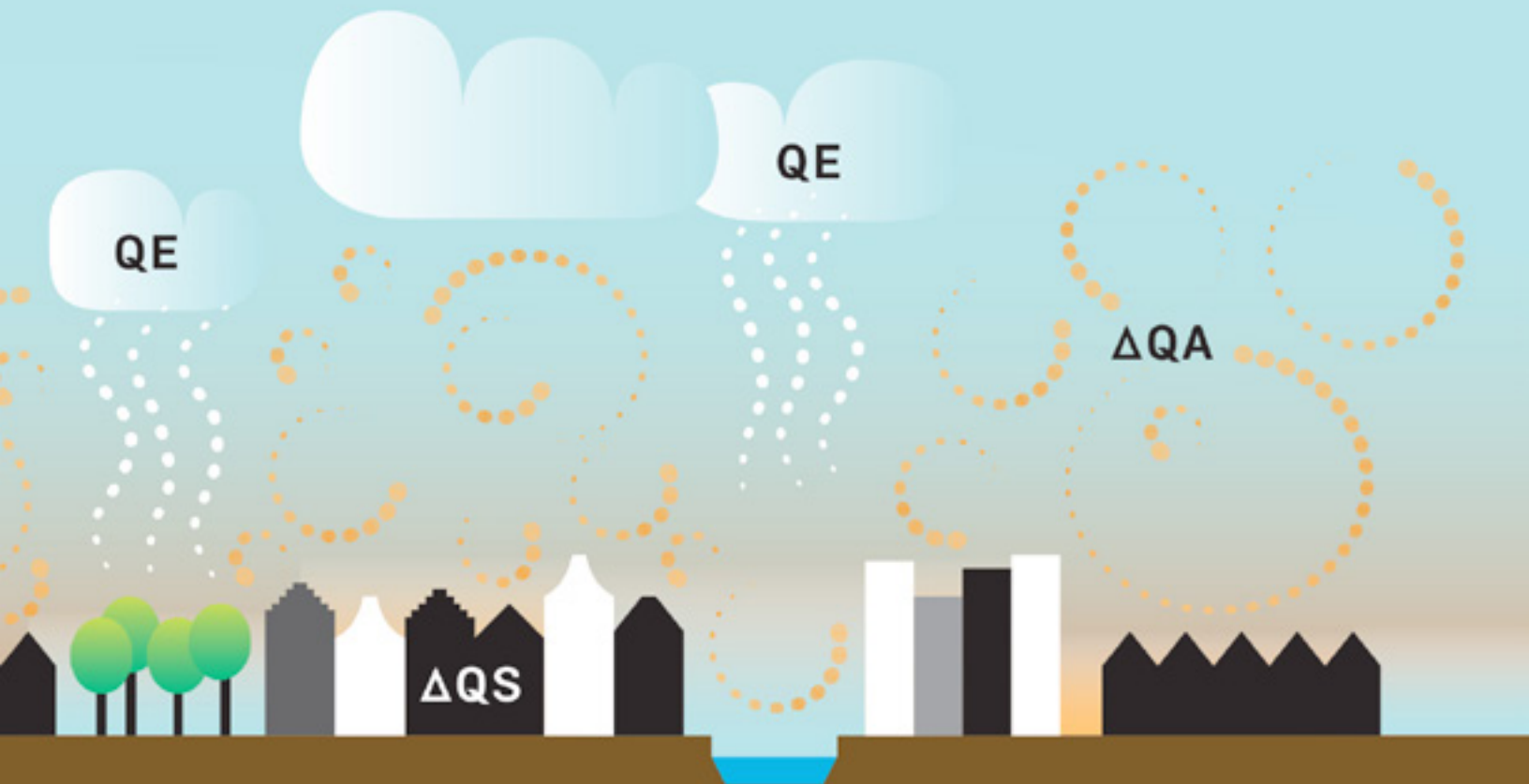


Amsterwarm

Gebiedstypologie warmte-eiland Amsterdam

TU Delft, Faculty of Architecture
Climate Proof Cities



Informatie



Uitgever TU Delft, Faculty of Architecture

Adres Julianalaan 134, 2628 BL Delft

Auteurs Frank van der Hoeven, Alexander Wandl

E-mail f.d.vanderhoeven@tudelft.nl

Telefoon 015 2788462

Datum Maart 2013

Rechten Attribution CC BY [<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>]

Programma Climate Proof Cities

Verwijzing Hoeven, F. D. van der, Wandl, A. (2013) *Amsterwarm. Gebiedstypologie warmte-eiland Amsterdam*. Delft, Nederland: TU Delft, Faculty of Architecture.

ISBN-13 978-1481214346



CPC Dit onderzoek is onderdeel van het nationale onderzoeksprogramma 'Kennis voor Klimaat', mede gefinancierd door het Ministerie van Infrastructuur en Milieu.

Opdrachtgever Gemeente Amsterdam, dienst Ruimtelijke Ordening

Projectleider Ellen Monchen

GIS expert Sahar Tushuizen

Inhoud

Kwetsbaarheidskaarten

Opgave	5
Conclusies	6
Aanbevelingen	8
1. Stedelijk warmte-eiland	10
2. Toekomstig klimaat	12
3. Warmte-eiland Amsterdam	15
4. Kwetsbaarheid	22
5. Kaarten	23
6. Adaptatie	36

Methodiekbeschrijving

a. Analyse	44
b. Amsterdam	46
c. Energiebalans	50
d. Indicatoren ruimtegebruik	52
e. Indicatoren inwoners en werkenden	64
f. Clustering	70
g. Verband oppervlaktetemperatuur en ruimtegebruik	74
Climate Proof Cities	79
Literatuur	80
Websites & data	81

De achtereenvolgende kabinetten van de afgelopen jaren hebben stappen gezet om Nederland aan te passen aan het veranderende klimaat, maar het ingezette beleid vertoont weinig samenhang en dekt niet alle terreinen af die kwetsbaar zijn voor klimaatverandering. Daardoor bestaat het risico dat ons land onvoldoende is voorbereid op de gevolgen van de klimaatverandering. Bovendien is de kans groot dat, wanneer op tal van terreinen pas in een laat stadium maatregelen worden getroffen, de kosten daarvan veel hoger zullen uitpakken. Ook zou Nederland moeite kunnen hebben om de aansluiting te houden met Europees beleid en met het beleid van andere EU-landen.

Algemene Rekenkamer (2012) Aanpassing aan klimaatverandering; strategie en beleid [kst-33470-1]. Den Haag, Nederland: Tweede Kamer.

Opgave

Amsterwarm biedt met de ontwikkeling van een gebiedstypologie inzicht in de kwetsbaarheid van de stad Amsterdam voor het stedelijk warmte-eiland effect.

Diagnose

Amsterwarm biedt inzicht in de vraag hoe sterk het warmte-eiland effect is in Amsterdam.

Eigen bijdrage

Amsterwarm maakt duidelijk in hoeverre de stad Amsterdam zelf bijdraagt aan het stedelijk warmte-eiland effect, en in hoeverre inwoners en werkenden kwetsbaar zijn voor de gevolgen ervan.

Ruimtegebruik, inwoners en werkenden

De gebiedstypologieën van Amsterwarm zijn gebaseerd op het ruimtegebruik van Amsterdam, op de leefbaarheid en de woningkwaliteit, op de samenstelling van de bevolking, en op het aantal werkenden in de verschillende delen van de stad.

Prioriteiten

De gebiedstypologieën maken het mogelijk om uitspraken te doen over specifieke maatregelen/prioriteiten voor verschillende delen van de stad Amsterdam.

Handreikingen

Amsterwarm geeft concrete handreikingen voor het soort actie die de stad Amsterdam kan ondernemen met oog op het welzijn en het comfort van haar bevolking, en met oog op het beperken van het energiegebruik voor het koelen van gebouwen tijdens hittegolven.

Conclusies

Drie kaarten, gemaakt in het kader van het Amsterwarm onderzoek, brengen de kwetsbaarheid van Amsterdam voor het warmte-eiland effect gedetailleerd in beeld: typologie ruimtegebruik, typologie kwetsbaarheid bewoners en typologie energie-efficiënte werkplek.

Het Amsterwarm onderzoek toont in detail de relatie tussen het warmte-eiland, het ruimtegebruik, de kwetsbaarheid van de bevolking en de energie-efficiëntie van werkplekken. Voor elke hectare van de stad zijn specifieke indicatoren uitgedrukt in cijfers en op hun werkzaamheid beproeft. Daarbij zijn satellietbeelden, GIS bestanden en de metingen aan de hand van een 3D-model gebruikt.

Warmte-eiland effect in Amsterdam is fors

De omvang van het warmte-eiland is bepaald aan de hand van de oppervlaktetemperatuur overdag, de nachtelijke luchttemperatuur, en het verschil tussen de luchttemperatuur 's nachts en overdag. Daarbij zijn meetwaardes gebruikt met betrekking tot de meest recente grote hittegolf: juli 2006.

De oppervlaktetemperatuur was in juli 2006 10 à 20 graden Celsius hoger dan in het noordelijker gelegen Waterland (gesitueerd binnen de gemeentegrens van Amsterdam). De luchttemperatuur in Amsterdam was nachts tot 7 à 9 graden Celsius hoger dan in Waterland. De luchttemperatuurverschillen tussen 's nachts en overdag waren in Amsterdam beperkt tot 6 à 8 graden Celsius, terwijl in Waterland verschillen tot 12 à 13 graden optraden. Amsterdam koelde tijdens de hittegolf van juli 2006 dus maar in beperkte mate af 's nachts. Alle drie de indicatoren wijzen erop dat Amsterdam een sterk warmte-eiland effect kent.

Ruimtegebruik speelt rol van betekenis

De luchttemperatuur (zowel overdag als 's nachts) wordt beïnvloed door de opwarming van het stadsoppervlak. De mate van verharding heeft de grootste impact op die oppervlaktetemperatuur. Daar waar beton, steen, asfalt en opgespoten zand de bodem afdekken (en dus groen verdringen) wordt het stadsoppervlak warm. Andere factoren spelen eveneens een rol, zij het in mindere mate: schaduw, sky-view, vegetatie index (NDVI), het percentage oppervlaktewater, het percentage verkeersoppervlak, en de gebouwschil. Deze indicatoren zijn geclusterd tot een gebiedstypologie 'ruimtegebruik' op basis van acht types waaronder de stedelijke types: 'warm', 'warmer', 'heet' en 'warmst'.

In de tabel is het effect weergegeven tussen ruimtegebruik en oppervlakte temperatuur voor de vier genoemde types. Deze vormen samen het stedelijk gebied in de gemeente Amsterdam.

Verharding is de sterkste factor

indicator ruimtegebruik	minimum/maximumwaarde	gemiddelde verandering oppervlaktetemperatuur
Schaduw	0 - 600	-3.6°C
Sky-view	0 - 1.0	-3.0°C
Albedo	0 - 0.5	8.2°C
Vegetatie (NDVI)	0 - 1.0	-5.3°C
Oppervlaktewater	0 - 100%	3.3°C
Verharding	0 - 100	11.6°C
Verkeersoppervlak	0 - 100%	-1.0°C
Gebouwschil	0 - 120.000	2.0°C

Het gemiddelde verschil qua oppervlaktetemperatuur tussen geen verharding (0) en geheel verhard (100) bedraagt dus 11.6 graden Celsius. Het verband tussen albedo en oppervlaktetemperatuur is nader onderzocht voor de types 'warmer' en 'warmst' voor de albedowaardes gelijk aan en boven 0.3.

Albedo verkoelt verdichte buurt

indicator ruimtegebruik	minimum/maximumwaarde	gemiddelde verandering oppervlaktetemperatuur
Albedo \geq 0.3 'warmst'	0.3 - 0.5	-4.6°C
Albedo \geq 0.3 'warmer'	0.3 - 0.5	-4.0°C

Het verhogen van albedo is een effectief element in een adaptatie-strategie, passend bij een verdichtingsopgave. Een stijging van de albedowaarde van 0.3 tot 0.5 komt overeen met een daling van de oppervlaktetemperatuur van 4.6 en 4.0 graad Celsius in de respectievelijke types 'warmst' en 'warmer'.

Ouderdom is kwetsbaar in onleefbare buurt met slechte huizen

De gebiedstypologie 'kwetsbaarheid bewoners' is gemaakt op basis van de oppervlaktetemperatuur, woningkwaliteit, leefbaarheid en ouderdom, en toont omvangrijke sociale aandachtsgebieden in het westelijk deel van de stad, maar ook in Noord, Oost en Zuidoost. In deze stadsdelen lopen ouderen tijdens een hittegolf verhoogde gezondheidsrisico's als gevolg van het warmte-eiland effect.

Werkplekken in inefficiënte gebouwen slurpen energie

De gebiedstypologie 'energie-efficiënte werkplek' toont die delen van de stad waar onevenredig veel energie nodig is om werkplekken te koelen. Een duidelijke concentratie van dit type bevindt zich in het historisch centrum.

Aanbevelingen

Het KNMI voorspelt dat hittegolven in de toekomst vaker zullen voorkomen. Daarmee worden inwoners en bedrijven sterker dan voorheen blootgesteld aan de negatieve gevolgen van het warmte-eiland effect. Amsterdam doet er goed aan om een adaptatie-strategie te ontwikkelen die bewoners en bedrijven beschermt tegen de gevolgen van het warmte-eiland effect. Voor zo'n strategie zijn betere gegevens nodig voor het bepalen van de relatie tussen woning, stad, bevolking, gezondheid en milieu.

Ontwikkel een warmte-eiland adaptatie-strategie

Het inzichtelijk maken van het warmte-eiland effect is één, effectief handelen is een tweede. Amsterdam doet er goed aan om een adaptatie-strategie te ontwikkelen die met oog op de lange termijn beleids- en uitvoeringsmaatregelen uitwerkt en concreetiseert met als doel inwoners en bedrijven te vrijwaren van de gevolgen van het warmte-eiland effect tijdens hittegolven.

Veel van de ingrediënten voor zo'n strategie zijn te integreren in andere acties. Dat betekent dat met het oog op de hitte-eiland problematiek geen zelfstandige programma's nodig zijn. Een hitte-aanpak kan meeliften met andere initiatieven. Zorg er voor dat vijf basiselementen deel uit maken van zo'n benadering:

- Bomen en groen;
- Groene en koele daken;
- Koele bestrating en minder bestrating;
- Oppervlaktewater;
- Energie-efficiënte gebouwen.

Hou straten en daken koel

'Koel' betekent in deze context veelal: daken of bestrating met een relatief hoge albedo-waarde. 'Verkoeling' is relatief eenvoudig uit te voeren en kan toegepast worden bij regulier weg- of dakonderhoud door het aanbrengen van coating (verf), en/of het kiezen van andere materialen.

Vergroot energie-efficiëntie van gebouwen

Vanaf 2020 moeten nieuwe en gerenoveerde gebouwen energie-neutraal zijn. Er gaat dus veel verbeterd worden aan woningen, kantoren en winkels. Het koel houden van gebouwen tijdens de zomer, en het omzetten van zonnestraling in duurzame energie dienen deel uit te maken van die opgave. Amsterdam zou met haar eigen gebouwen een voorbeeldrol moeten vervullen op dat gebied.

Bewaar en onsluit je data

Het Amsterwarm onderzoek heeft gebruik gemaakt van tal van bronnen. Lang niet alle informatie die inzicht kon bieden was voorhanden of beschikbaar.

Temperatuurmetingen worden slechts op een beperkt aantal plaatsen in de stad verricht (en wel voor luchtkwaliteitsmetingen). De resultaten van deze metingen worden niet langdurig bewaard. Gegevens over 2010 waren al niet meer beschikbaar, laat staan de gegevens over de hete zomers van 2003 en 2006.

Gedetailleerde gegevens over het energiegebruik, watergebruik en de aantallen ziekenhuisopnames en overledenen tijdens de twee laatste grote hittegolven van augustus 2003 en juli 2006 waren evenmin beschikbaar. Hier ontbreken effectieve oplossingen die de privacy van burgers beschermen. Zonder die bescherming kunnen gegevens niet beschikbaar gemaakt worden.

Amsterdam doet er goed aan om gegevens over de relatie tussen woning, stad, bevolking, gezondheid en milieu te verkrijgen, bewaren en te ontsluiten voor onderzoek in de vorm van Open Data. Daartoe zijn goede oplossingen voor de borging van privacy benodigd en repositories waar de gegevens opgeslagen worden.

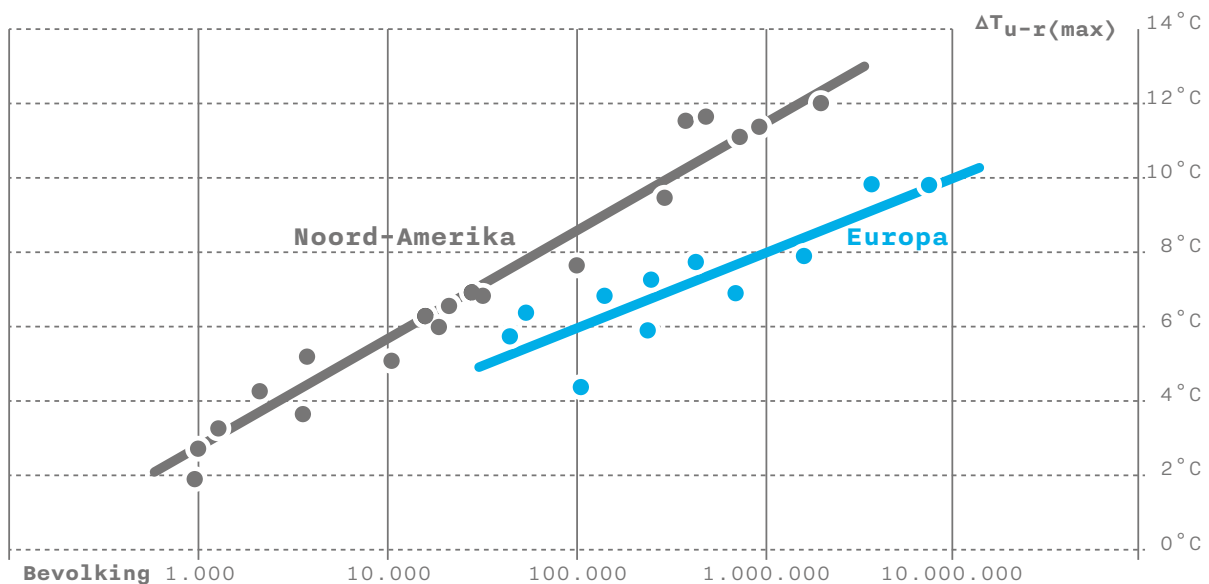
1. Stedelijk warmte-eiland

Het stedelijk warmte-eiland is in Nederland als fenomeen vrij onbekend. Bij klimaatverandering wordt eerder gedacht aan waterproblemen die het gevolg zijn van hevige regenval of hoge rivierstanden. Voor zover er al aandacht is voor warmte dan gaat die uit naar de opwarming van de aarde als geheel met één of twee graden Celsius.

Echter, in sommige stedelijke gebieden in Europa loopt de luchttemperatuur op bepaalde momenten in het jaar al op met wel tien graden Celsius ten opzichte van het buitengebied. De temperatuur in de stad is naar verhouding hoger als gevolg van het menselijk ingrijpen in de leefomgeving. Die relatief hoge stedelijke temperatuur wordt aangeduid als het 'stedelijk warmte-eiland'. Amsterdam heeft zo'n warmte-eiland.

Warmte-eiland

T. R. Oke is een van de meest prominente onderzoekers op het gebied van 'Urban Heat Islands'. Hij heeft als eerste het verband gelegd tussen de bevolkingsomvang van de stad en het maximale warmte-eiland. De verbanden die hij vaststelde tonen een verschil tussen steden in Noord-Amerika en Europa. Het maximale warmte-eiland effect voor Europese steden bedraagt 10 graden Celsius. Amsterdam heeft een maximaal effect van 7-9°C en heeft daarmee een warmte-eiland dat behoort tot de sterkste van Europa.



1. a Verband tussen bevolking en het stedelijk warmte-eiland (naar Oke, 1982)

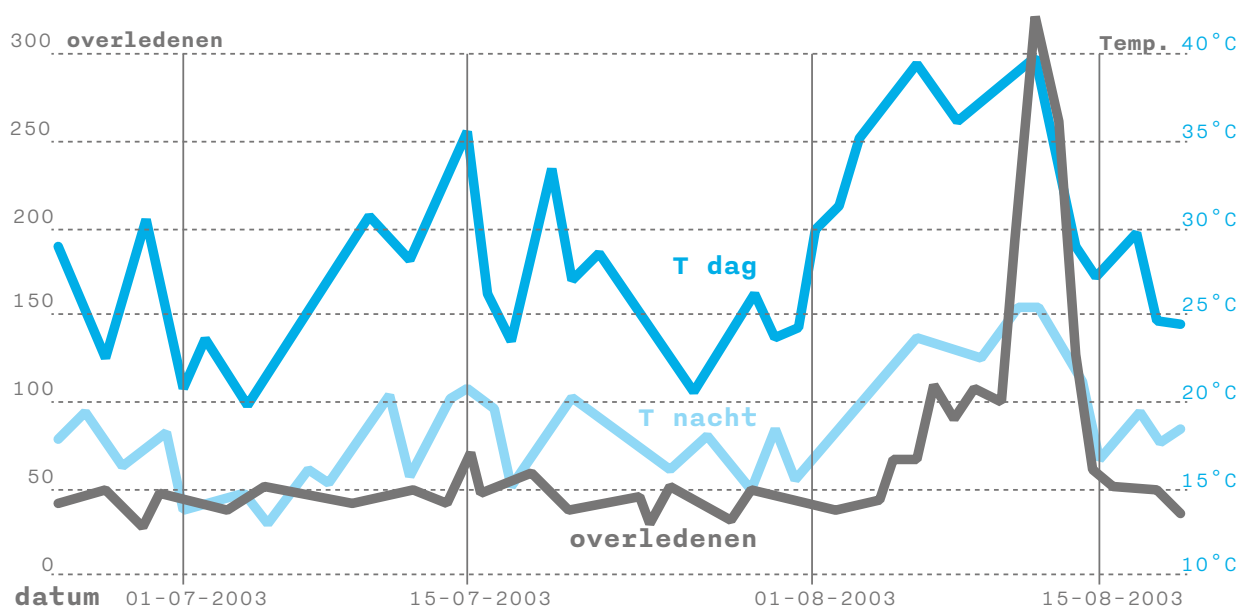
Hittegolven

De hittegolven van augustus 2003 en juli 2006 hebben pijnlijk duidelijk gemaakt dat we als de samenleving kwetsbaar zijn voor warm weer. In 2003 zijn meer dan 80.000 mensen in Europa overleden als gevolg van extreme temperaturen. In Nederland zijn naar schatting meer dan 1700 mensen overleden als gevolg van de ongebruikelijke warmte in de zomer van 2003.

Het was vooral het menselijk drama in de Parijse regio in de zomer van 2003 dat indruk maakte op experts, beleidsmakers en de burgers. Île de France was bijzonder getroffen als gevolg van het extreem droge weer in het voorjaar. Bomen en bossen hadden nauwelijks meer water om te verdampen. De natuurlijk verkoelende werking van vegetatie viel daarmee weg. Toen West-Europa getroffen werd door een hittegolf kwam deze extra hard aan in de Parijse regio.

Het gevolg was een schrikbarende sterfte onder met name oudere inwoners. Tussen 1 en 15 augustus 2003 zijn een kleine 5000 inwoners overleden als gevolg van de hitte in de metropolitane regio Parijs. Onderzoekers hebben later vastgesteld dat die gezondheidsproblemen in de Parijse regio eerder samenhangen met het nachtelijk warmte-eiland dan met het warmte-eiland overdag.

In de onderstaande grafiek zijn het sterftecijfer, de luchttemperatuur overdag en de luchttemperatuur 's nachts gecombineerd. Op een normale zomerdag overlijden rond 50 mensen in de metropolitane regio Parijs. Die sterfte loopt op tot 100 - 300 doden tijdens de piek van de hittegolf van augustus 2003, alvorens weer terug te keren op het gebruikelijke niveau.



1. b Overledenen versus dag- en nachttemperatuur in metropolitane regio Parijs in de zomer van 2003, InVS (naar Dousset, 2003).

2. Toekomstig klimaat

Hittegolven zullen in de toekomst vaker optreden, ook in Nederland. Die conclusie kunnen we trekken op basis van de klimaatscenario's van het KNMI. Het KNMI heeft in 2006 scenario's opgesteld voor de ontwikkeling van het klimaat in Nederland voor de jaren 2020 en 2050, gebaseerd op de trendlijn 1976-2005.

Zomerse dagen \geq 25°C	1976 2005	G 2020	G 2050	G+ 2020	G+ 2050	W 2020	W 2050	W+ 2020	W+ 2050
De Kooy	8	9	11	11	14	11	16	14	25
De Bilt	24	28	31	30	36	31	39	36	50
Eelde	21	24	27	26	32	27	34	32	44
Vlissingen	15	17	19	18	23	19	25	23	35
Eindhoven	30	34	38	36	42	38	46	42	58
Maastricht	29	33	37	35	42	37	45	42	57

2.a Klimaatscenario's KNMI'06, aantallen zomerse dagen boven 25°C (naar KNMI.nl)

Zomerse dagen \geq 30°C	1976 2005	G 2020	G 2050	G+ 2020	G+ 2050	W 2020	W 2050	W+ 2020	W+ 2050
De Kooy	1	1	1	1	2	1	2	2	5
De Bilt	4	5	7	6	9	7	10	9	15
Eelde	4	4	6	5	8	6	8	8	13
Vlissingen	1	2	2	2	4	2	4	4	9
Eindhoven	5	7	8	8	11	8	12	11	19
Maastricht	5	7	8	8	11	8	12	11	18

2.b Klimaatscenario's KNMI'06, aantallen zomerse dagen boven 30°C (naar KNMI.nl)

Scenario's G, G+, W, W+

Scenario G (Gematigd) gaat uit van 1 °C temperatuurstijging op aarde in het jaar 2050 ten opzichte van 1990 en veronderstelt geen verandering in luchtstromingspatronen in West Europa. Scenario G+ houdt daarbij rekening met warmere en drogere zomers door meer oostenwind.

Scenario W (Warm) is gebaseerd op 2 °C temperatuurstijging op aarde in 2050 ten opzichte van 1990, maar veronderstelt geen verandering in luchtstromingspatronen in West Europa. Scenario W+ houdt daarbij rekening met warmere en drogere zomers door meer oostenwind.

In alle scenario's neemt het aantal zomerse dagen boven 25 en 30 graden Celsius toe. Dagen met temperaturen boven 25 graden Celsius nemen met 50 tot 100% toe. Dagen met temperaturen boven 30 graden Celsius nemen met 100 tot bijna 200% toe. Hete zomers als die van 2003 en 2006 zullen vaker optreden in heel Nederland, inclusief de stad Amsterdam.

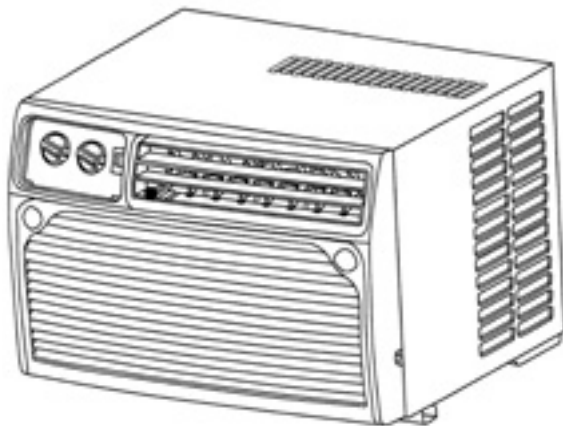
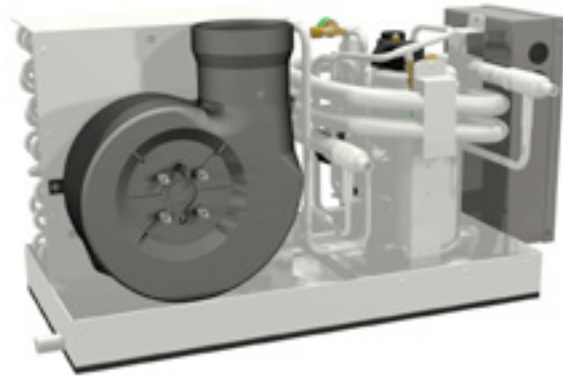
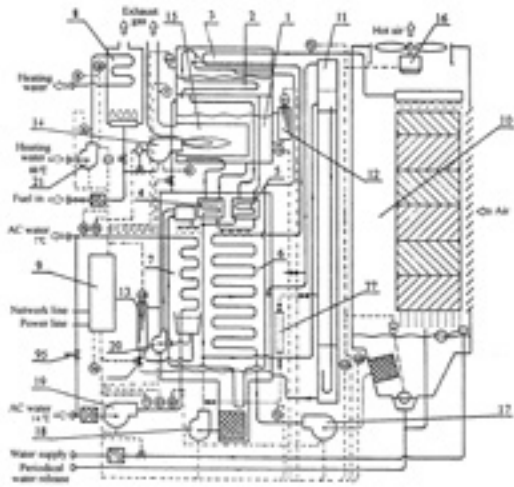
Amsterwarm

Wanneer geen maatregelen genomen worden die de ontwikkeling van het stedelijk warmte-eiland doen verminderen, dan leidt dat in toenemende mate tot comfort- en gezondheidsproblemen en pieken in het elektriciteitsgebruik. In warme zomers zullen korte periodes optreden met een verhoogde sterfte in die delen van de stad waar de temperatuur overdag en 's nachts meer dan gemiddeld hoog blijft, waar gebouwen minder bescherming bieden tegen een hoge buitentemperatuur, en waar bewoners meer dan gemiddeld kwetsbaar zijn voor hoge temperaturen.

In de stad blijft het met name 's nachts warm als gevolg van het stedelijk warmte-eiland. Gezonde mensen zullen problemen hebben met slapen als gevolg van de aanhoudende hitte en overdag sneller vermoeid zijn dan gewoonlijk. Bedrijven zullen meer energie nodig hebben om hun winkels, kantoren en andere gebouwen te koelen.

Ieder voor zich kan natuurlijk maatregelen nemen tegen de effecten van het stedelijk warmte-eiland door het aanschaffen en installeren van airconditioning. Massaal gebruik van airconditioners heeft echter als nadeel dat het leidt tot een verhoogd elektriciteitsgebruik, en daarmee ook tot een verhoogde CO₂ uitstoot.

Amsterwarm kijkt naar de oorzaken van het warmte-eiland om richtingen te schetsen voor een stedelijke ontwikkeling die leidt tot minder hoge temperaturen in de stad. Dat heeft positieve gevolgen voor het comfort en de gezondheid van inwoners in de stad, en het beperkt het gebruik van energie die nodig is voor het koelen van gebouwen.



2.c-r

Ieder voor zich kan natuurlijk maatregelen nemen tegen de effecten van het stedelijk warmte-eiland door het aanschaffen en installeren van airconditioning.

3. Warmte-eiland Amsterdam

Amsterdam heeft een stedelijk warmte-eiland. Zowel de oppervlakte-temperatuur als de luchttemperatuur in de stad verschilt op gezette tijden fors van die in de regio om Amsterdam heen.

Het warmte-eiland effect treedt op overdag, maar er is ook een warmte-eiland effect 's nachts. Naast de luchttemperatuur kan het warmte-eiland ook betrekking hebben op de temperatuur van het aard- of stadsoppervlak. De onderlinge temperatuurverschillen tussen de verschillende delen van het stadsoppervlak zijn overdag het grootst en overtreffen de luchttemperatuurverschillen 's nachts.

Oppervlaktetemperatuur en luchttemperatuur

Om het warmte-eiland Amsterdam te bepalen zijn de luchttemperatuur en de oppervlaktetemperatuur in beeld gebracht. Daarbij is gebruik gemaakt van luchttemperatuurmetingen en satellietbeelden. Luchttemperatuur wordt slechts op een beperkt aantal vaste plaatsen gemeten, maar wel constant. De oppervlaktetemperatuur kan voor grote delen van de aarde nauwgezet vastgesteld worden met behulp van satellietbeelden, echter periodiek.

Satellietbeelden

Een belangrijke beperking van satellieten is de lage frequentie. Landsat 5 maakt slechts één keer in de 16 dagen een opname van dezelfde baan. Banen overlappen waardoor eens in de 8 dagen een opnamemogelijkheid ontstaat voor een stad als Amsterdam. Omdat een hittegolf van beperkte duur is, zijn doorgaans slechts een of twee bruikbare beelden beschikbaar per hittegolf. Voor de stad Amsterdam beschikken we over een onbewolkt beeld dat gemaakt is tijdens de hittegolf van 2006 op 16 augustus. Er zijn ook satellieten die dagelijks overkomen. Het nadeel van die satellieten is dat de resolutie van hun instrumenten fors lager is. Terwijl Landsat 5 temperatuurbeelden produceert bij een resolutie van 120 bij 120 meter, werkt Envisat's AATSR met een resolutie van 1 bij 1 kilometer.

Dag en nacht

De oppervlaktetemperatuur speelt een belangrijke rol bij de opwarming van zowel de lucht als de bebouwing in de stad. Het nachtelijk warmte-eiland is op zijn beurt weer van invloed op het comfort en de gezondheid van de inwoners van de stad. Om deze redenen tonen we zowel de oppervlaktetemperatuur overdag als de luchttemperatuur 's nachts.

Warmte-eiland juli 2006

De omvang van het warmte-eiland effect in Amsterdam is vastgesteld door gebruik te maken van gegevens over de meest recente hittegolf, die van juli 2006.

3.a Warmte-eiland dag (oppervlaktetemperatuur)

Het warmte-eiland van de oppervlaktetemperatuur overdag is vastgesteld aan de hand van een beeld dat de Thematic Mapper (TM) aan boord van NASA's Landsat 5 satelliet maakte op 16 juli 2006, om 12:32 uur. Dit beeld toont duidelijke temperatuurverschillen tussen de verschillende delen van het stadsoppervlak van Amsterdam (3.a). Het verschil tussen de oppervlaktetemperatuur in de stad en het buitengebied loopt op tal van plaatsen op tot boven de 10 graden Celsius. De oppervlaktetemperatuur die overdag voorkomt op bedrijventerreinen en in de Haven Amsterdam is op sommige plekken zelfs meer dan 20 graden Celsius hoger dan de oppervlaktetemperatuur in Waterland. Waterland, het Vondelpark en het Rembrandtpark markeren ongeveer het nulpunt.

3.b-c Warmte-eiland nacht (luchttemperatuur)

Het warmte-eiland van de nachtelijke luchttemperatuur is vastgesteld aan de hand van beelden die het AATSR instrument aan boord van ESA's Envisat satelliet maakte. De beelden zijn met plaatselijke temperatuurmetingen omgerekend naar luchttemperaturen. Weergegeven zijn twee bewerkte beelden: 2 juli 2006 om 22:44 uur (3.b) en 18 juli 2006 om 22:41 uur (3.c).

De beelden laten zien dat 's nachts de luchttemperatuur in Amsterdam tot 7 à 9 graden Celsius hoger blijft dan in de regio ten noorden van de stad (Waterland). De verschillen qua luchttemperatuur zijn geringer dan de verschillen qua oppervlaktetemperatuur. Dat komt overeen met de literatuur op dit gebied.

3.d Warmte-eiland dag (luchttemperatuur)

Het AATSR beeld van 19 juli 2006 om 12:27 uur (3.d) toont de situatie overdag waarbij er nauwelijks sprake is van een warmte-eiland qua luchttemperatuur. Ook dit verschijnsel is bekend.

3.e Warmte-eiland verschil dag - nacht (luchttemperatuur)

De luchttemperatuur van 18 juli 2006 's nachts is afgetrokken van de luchttemperatuur van 19 juli 2006 overdag. Dit verschil (3.e) laat zien in hoeverre de stad en haar omgeving het vermogen heeft om af te koelen. Oppervlaktewater (Markermeer), stad (Amsterdam) en bos (Gooi en Veluwe) laten de geringste temperatuurverschillen zien. De luchttemperatuurverschillen tussen 's nachts en overdag zijn in Amsterdam beperkt tot 6 à 8 graden Celsius. In Waterland treden verschillen op tot 12 à 13 graden. Amsterdam koelt als stad tijdens een hittegolf 's nachts dus maar in beperkte mate af.

3.a Verschillen oppervlaktetemperatuur: dag

inhoud Oppervlaktetemperatuurverschillen in de gemeente Amsterdam.

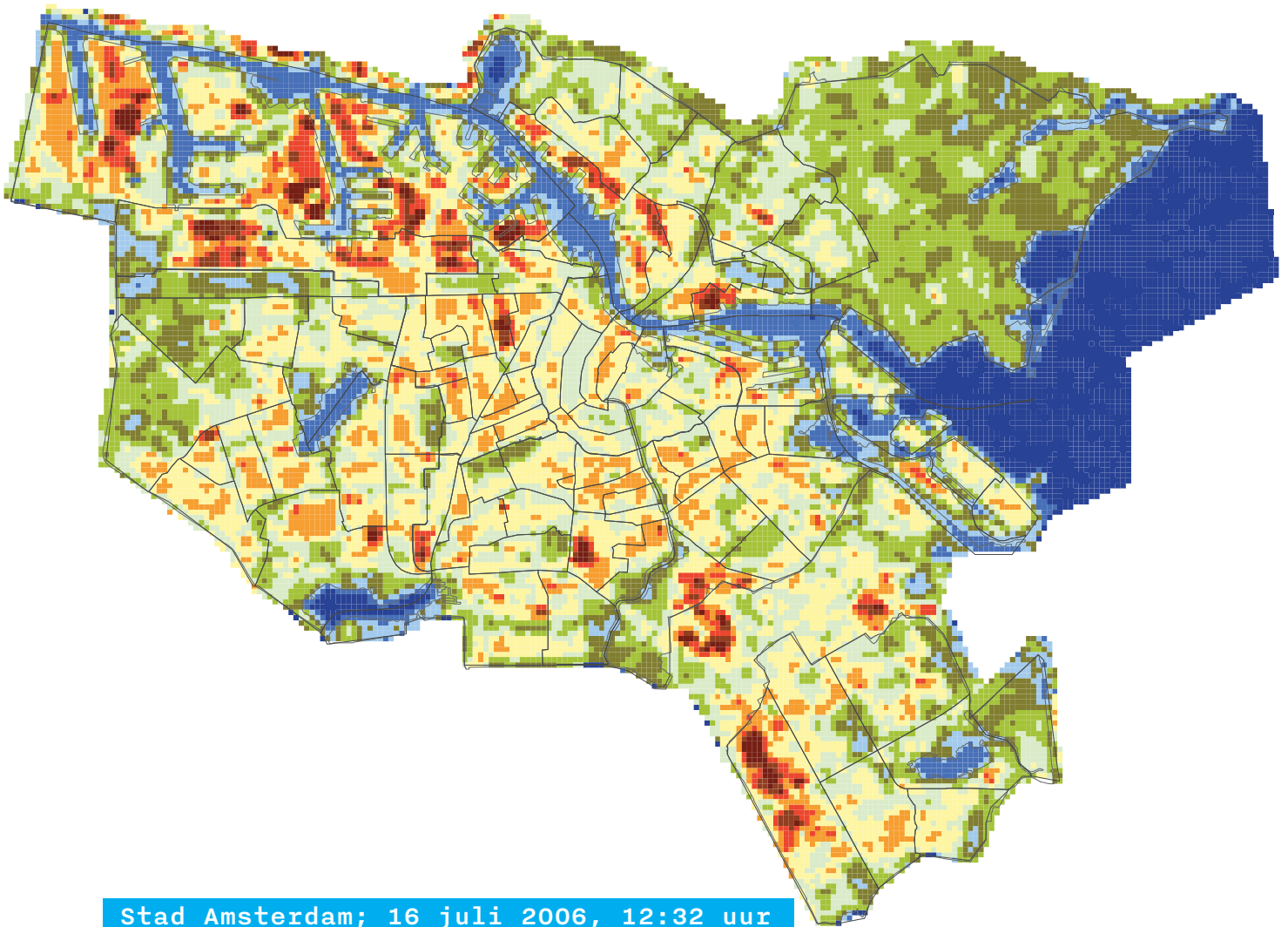
waardes Graden Celsius. ($29^{\circ} = 0$).

methode Oppervlaktetemperatuur is bepaald met Band 6 in Landsat 5 beeld.

software BEAM-VISAT, ArcGIS.

data NASA, Landsat 5, 16 juli 2006, 12:32 uur.

legenda



Stad Amsterdam; 16 juli 2006, 12:32 uur

3.b Luchttemperatuur: nacht

inhoud Luchttemperatuur, nachtelijk warmte-eiland.

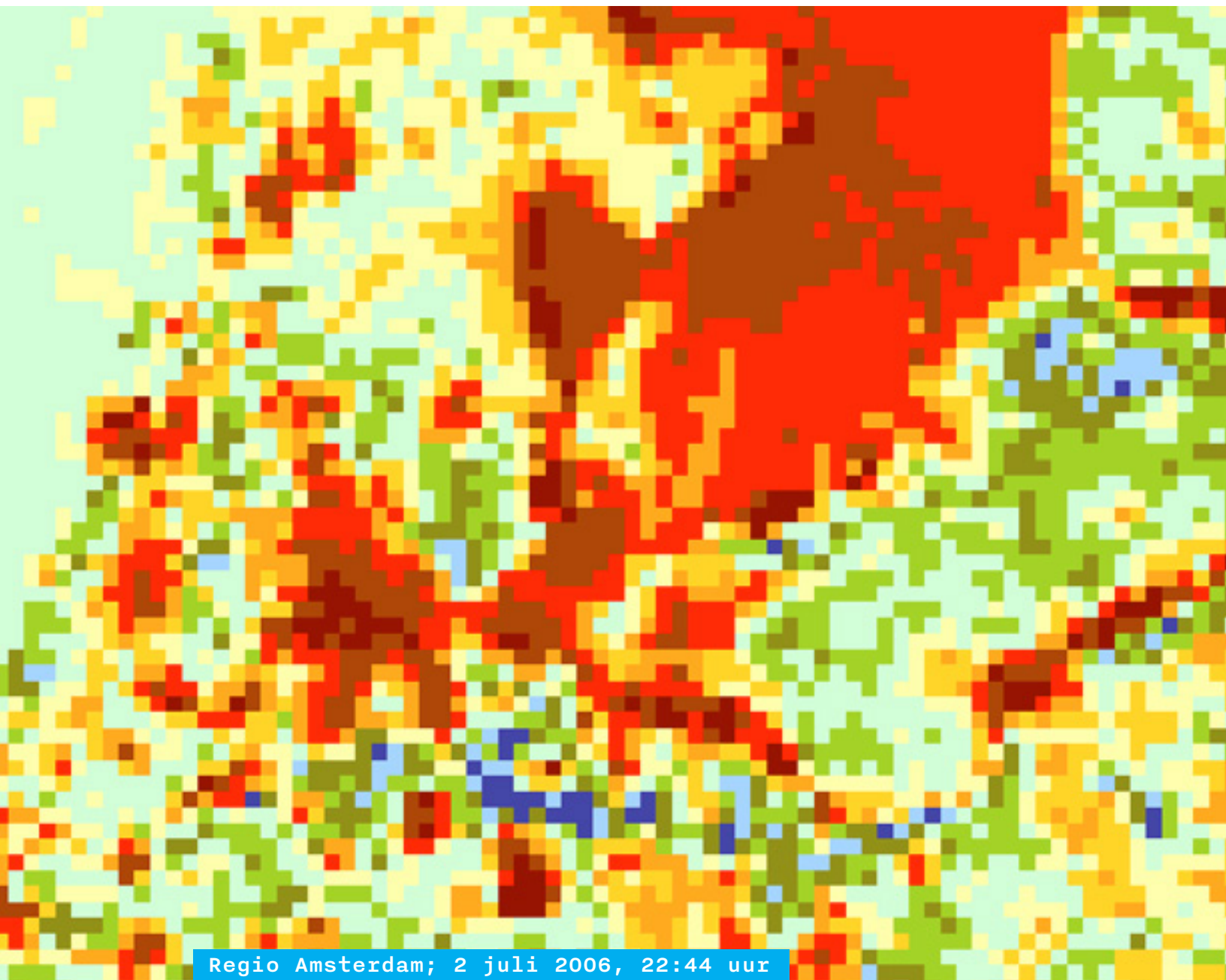
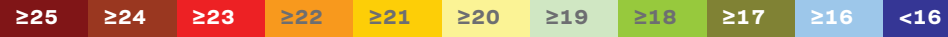
waarden Graden Celsius.

methode Lokale temperatuurmetingen zijn gebruikt om het AATSR beeld te calibreren.

software BEAM-VISAT, ArcGIS, Aabel 3.

data European Space Agency (ESA), AATSR, 2 juli 2006, 22:44 uur.

legenda



Regio Amsterdam; 2 juli 2006, 22:44 uur

3.c Luchttemperatuur: nacht

inhoud Luchttemperatuur, nachtelijk warmte-eiland.

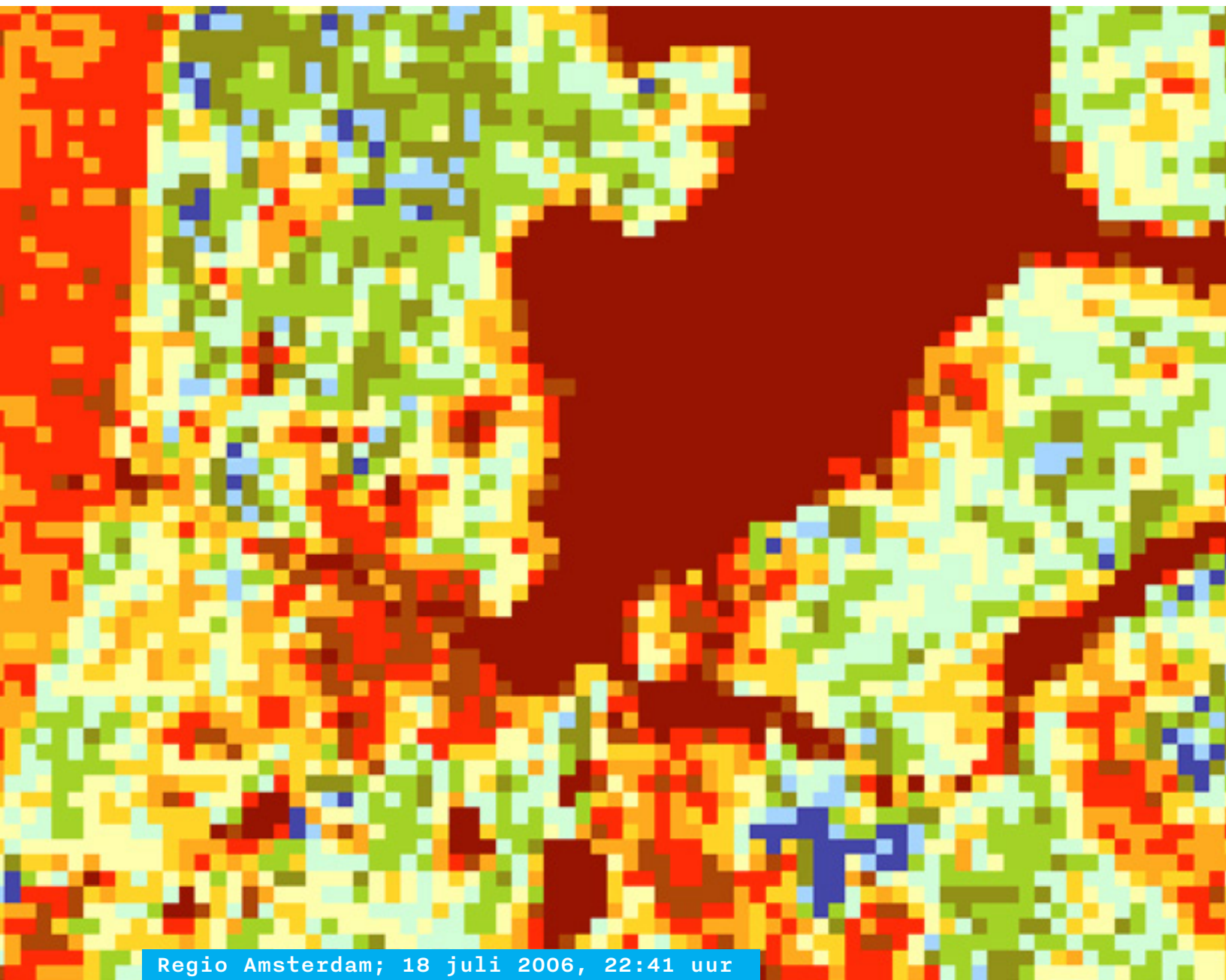
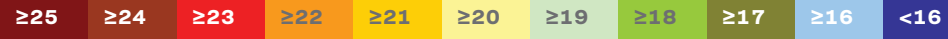
waardes Graden Celsius.

methode Lokale temperatuurmetingen zijn gebruikt om het AATSR beeld te calibreren.

software BEAM-VISAT, ArcGIS, Aabel 3.

data European Space Agency (ESA), AATSR, 18 juli 2006, 22:41 uur.

legenda



Regio Amsterdam; 18 juli 2006, 22:41 uur

3.d Luchttemperatuur: dag

inhoud Luchttemperatuur, overdag.

waarden Graden Celsius.

methode Lokale temperatuurmetingen zijn gebruikt om het AATSR beeld te calibreren.

software BEAM-VISAT, ArcGIS, Aabel 3.

data European Space Agency (ESA), AATSR, 19 juli 2006, 12:27 uur.

legenda

≥32

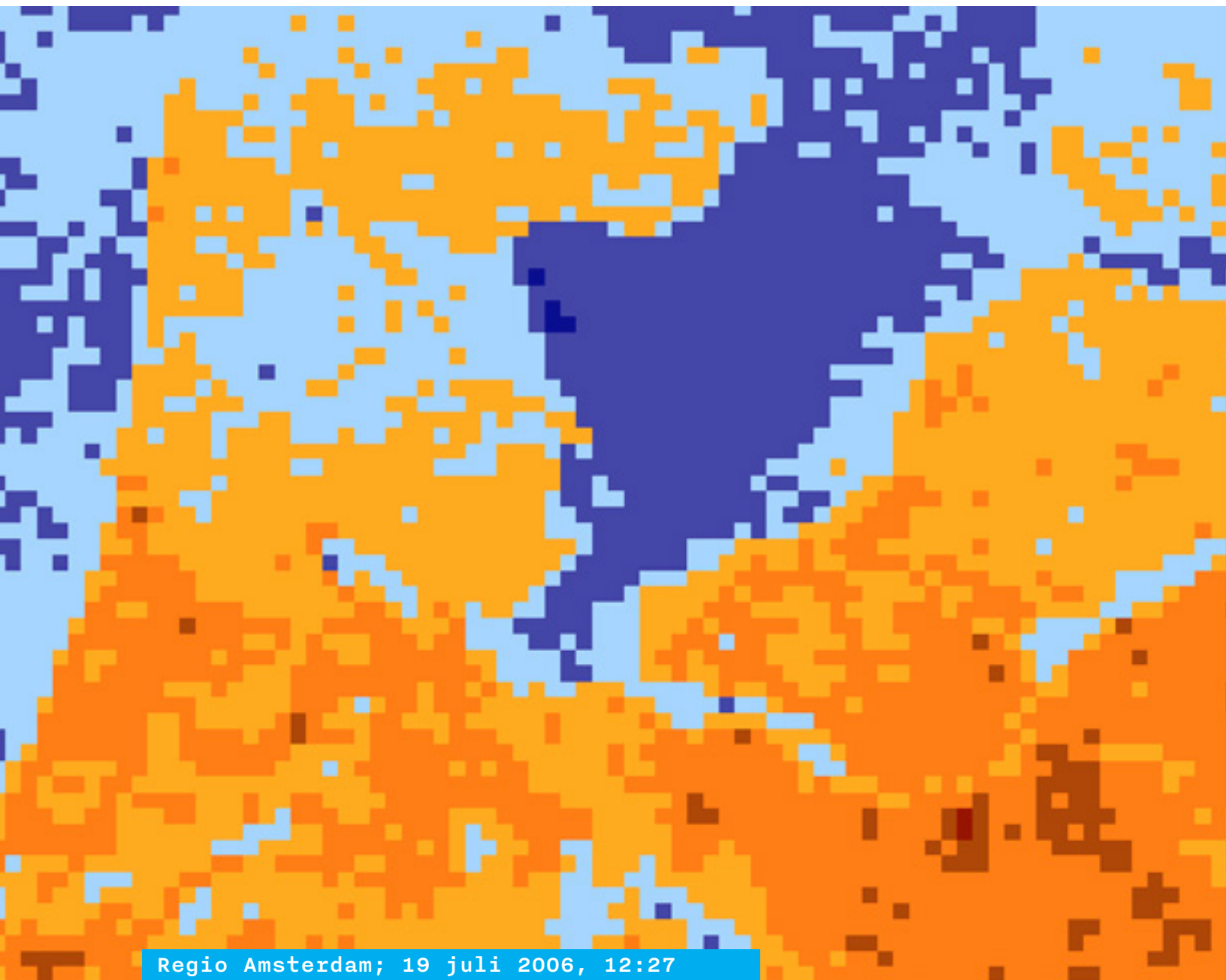
≥31

≥30

≥29

≥28

<28



Regio Amsterdam; 19 juli 2006, 12:27

3.e Verschillen luchttemperatuur dag - nacht

inhoud Luchttemperatuur, verschil warmte-eiland 's nachts en overdag.

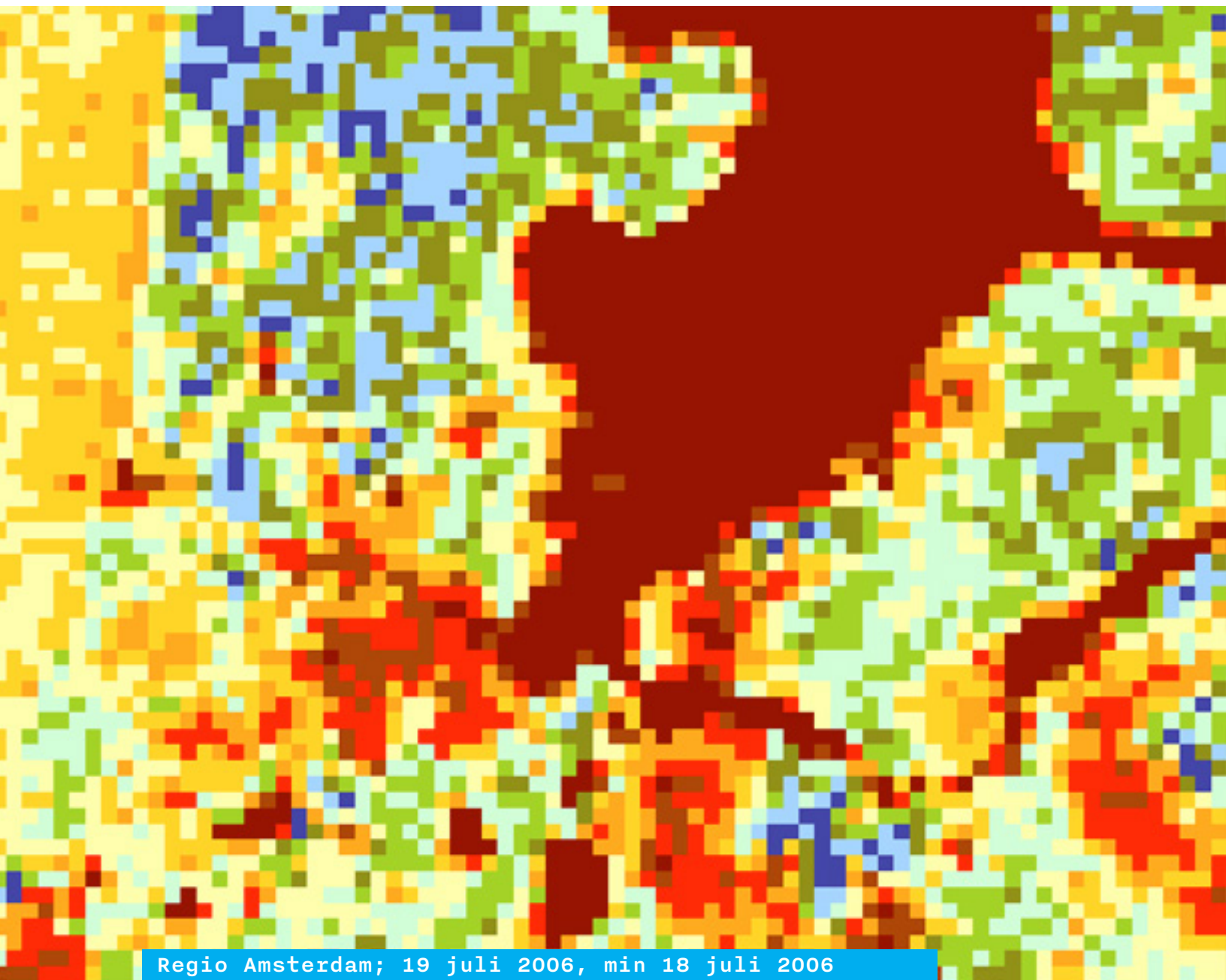
waardes Graden Celsius.

methode Lokale temperatuurmetingen zijn gebruikt om het AATSR beeld te calibreren.

software BEAM-VISAT, ArcGIS, Aabel 3.

data European Space Agency (ESA), AATSR, 18 juli 2006, 22:41 uur; 19 juli 2006, 12:27 uur.

legenda



4. Kwetsbaarheid

Het Amsterwarm onderzoek kijkt niet alleen naar de plekken in de stad die warmer worden tijdens een hittegolf. Het doel is om de kwetsbaarheid van Amsterdam voor het warmte-eiland effect in kaart weer te geven. Die kwetsbaarheid komt voort uit het ruimtegebruik en heeft gevolgen voor de gezondheid van de bewoners van de stad, en voor het energiegebruik voor het koelen van gebouwen.

Gebouwde omgeving

De gebouwde omgeving zelf speelt een bepalende rol: geen grote stad zonder warmte-eiland. Omdat de oppervlaktetemperatuur bijdraagt aan de opwarming van lucht en gebouwen brengen we de aspecten in beeld die van invloed zijn op die oppervlaktetemperatuur.

Gebouwschil (energielabel)

Dat de buitentemperatuur stijgt of het dak warm wordt, hoeft nog niet te betekenen dat in een woning of een kantoor de temperatuur eveneens oploopt. Dat hangt af van de mate waarin de schil van het gebouw energie doorlaat. Deze kwetsbaarheid is te verkennen aan de hand van het zogenaamde energielabel voor gebouwen.

Leefbaarheid & inwoners

De buurt en haar bewoners doen er eveneens toe. Onderzoekers op het gebied van de volksgezondheid van de Erasmus Universiteit wijzen op het verband tussen de gezondheid van bewoners en de leefbaarheid van de buurt. Bewoners in buurten met een geringe leefbaarheid zijn relatief kwetsbaar. Tenslotte maakt het ook uit of in die warme buurt met zijn specifieke bebouwing en wisselende leefbaarheid ook mensen wonen die als gevolg van hun leeftijd meer kwetsbaar zijn voor hitte dan anderen: 75-plussers.

Werkenden

Op een vergelijkbare manier kunnen we kijken naar de werkenden in de stad. Veel werkenden in combinatie met slechte energie-efficiëntie van de gebouwen kan resulteren in een hoog energiegebruik om die bebouwing te koelen (of anders in oncomfortabele werkomstandigheden).

Prioriteiten

Door de aspecten van de gebouwde omgeving te combineren met de mensen die verblijven in die gebouwde omgeving, zijn we in staat om uitspraken te doen over buurten waar met prioriteit actie vereist is.

5. Kaarten

Amsterwarm heeft drie kwetsbaarheidskaarten opgeleverd die uitspraken doen over de relatie tussen het warmte-eiland en het ruimtegebruik, het warmte-eiland en de kwetsbaarheid van de bevolking, en het warmte-eiland en de concentraties van werkgelegenheid in de stad Amsterdam.

5.a Typologie ruimtegebruik

Op basis van de oppervlaktetemperatuur en de karakteristieken van de gebouwde omgeving is een typologie gemaakt van het ruimtegebruik. Deze typologie toont voor elke hectare het ruimtegebruik in Amsterdam dat meer of minder bijdraagt aan het warmte-eiland: warm, warmer, heet en warmst. De oppervlaktetemperatuur wordt boven alles bepaald door de mate waarin het gebied verhard is. Water speelt eveneens een rol van betekenis. In mindere mate zijn ook vegetatie index (NDVI), verkeersruimte, gebouwschil en schaduw aan te wijzen als factoren die bepalend zijn voor de oppervlaktetemperatuur.

5.b Typologie kwetsbaarheid bewoners

Op basis van de oppervlaktetemperatuur, de leefbaarheid in de buurten, het gemiddelde energielabel en het aantal 75-plussers per hectare is een typologie gemaakt die laat zien welke delen van de stad kwetsbaar zijn voor de gevolgen van het stedelijke warmte-eiland. Het kwetsbaarste type wordt gekenmerkt door een bijzonder hoog aantal ouderen per hectare terwijl het gemiddelde energielabel matig is. Daarnaast zijn er delen van de stad waar weliswaar minder 75-plussers wonen maar waar zowel de leefbaarheid als het energielabel van de bebouwing te wensen overlaat.

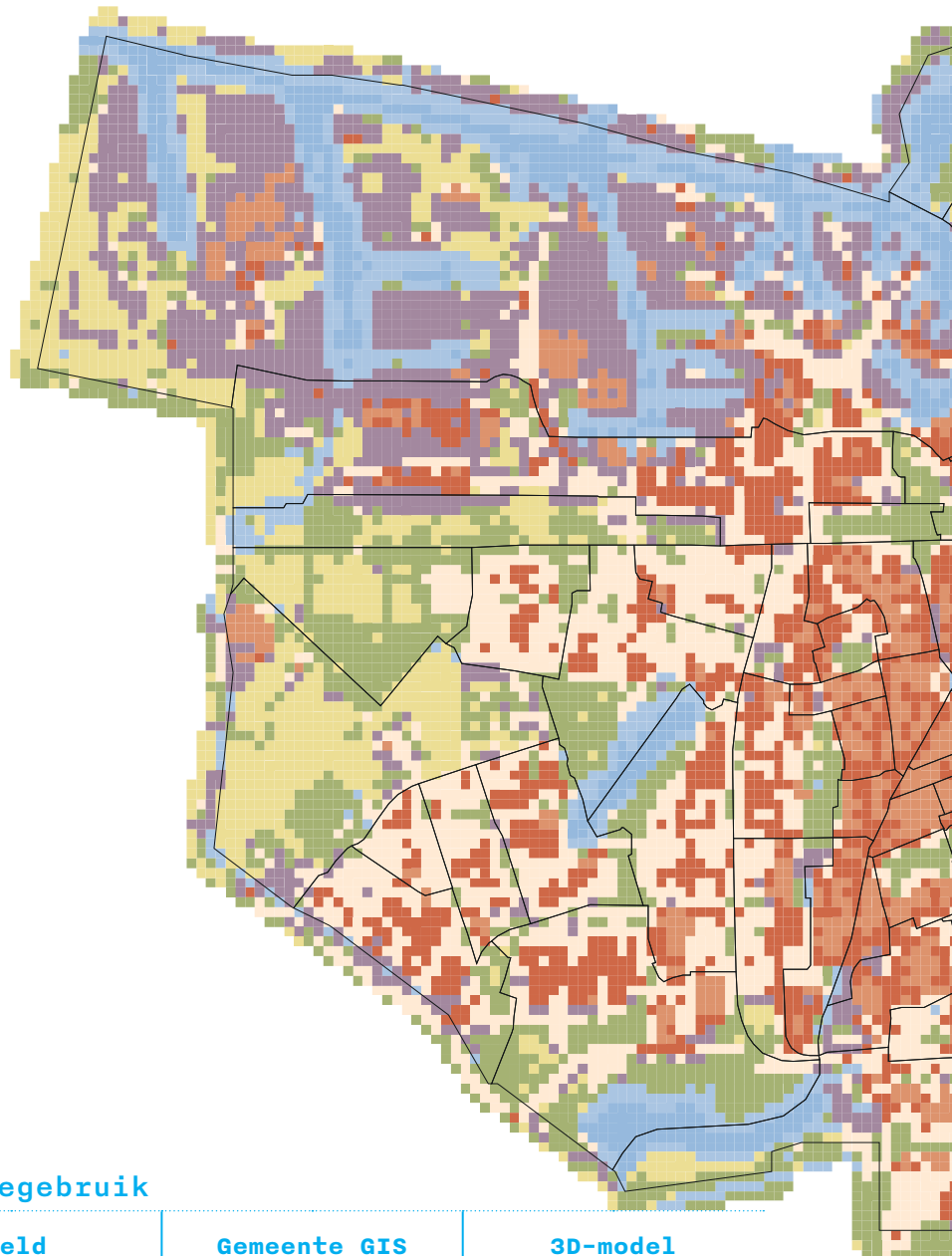
5.c Typologie energie-efficiëntie werkplekken

Op basis van de oppervlaktetemperatuur, het gemiddelde energielabel en het aantal werkenden per hectare is tevens een typologie gemaakt ten aanzien van de werkgelegenheid. De veronderstelling is dat werkplekken met een slecht energielabel in warme delen van de stad relatief veel energie gebruiken voor koeling. Twee types springen er hier uit: (energie-)efficiënt en zeer (energie-)inefficiënt.

Efficiënt onderscheidt zich in positieve zin met een gemiddeld energielabel A bij een werkgelegenheidsdichtheid van 90 arbeidsplaatsen per hectare. Zeer inefficiënt is het type dat serieus aandacht verdient. De werkgelegenheidsdichtheid is hoog, boven de 1000 arbeidsplaatsen per hectare, terwijl het energielabel van de bebouwing het laagst is: G. Een duidelijke concentratie van dit type vinden we in het historisch centrum: Burgwallen.

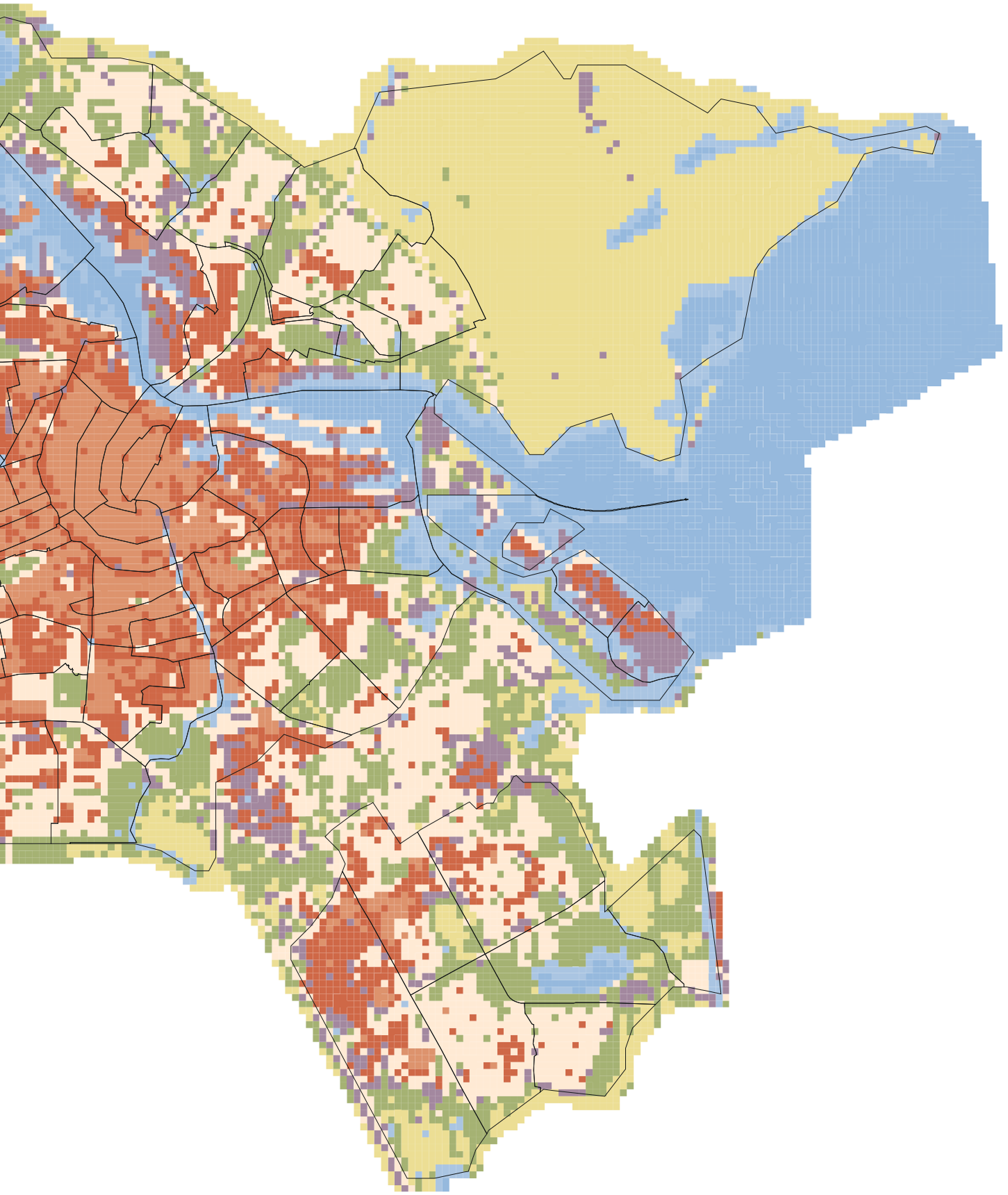
De typologie ten aanzien van het ruimtegebruik is gebaseerd op een Landsat 5 beeld van juli 2006.

IJburg valt grotendeels in categorieën die sterk weg hebben van bedrijventerreinen. Dat komt omdat IJburg in 2006 nog opgespoten terrein was.



5.a Typologie ruimtegebruik

	Satellietbeeld			Gemeente GIS		3D-model	
	Warmteei-land oppervlaktetemp.	Verhardingsindex 0-100	Vegetatie index (NDVI) 0-1	% Oppervlakte water	% Verkeersoppervlak	Gebouwschil index	Schaduw 0-600
warmst	10°C	52	0.4	5%	49%	1.8	281
warmer	9°C	56	0.4	6%	30%	4.9	321
heet	9°C	50	0.3	14%	9%	0.4	148
warm	7°C	33	0.5	5%	37%	0.9	278
koel	3°C	18	0.7	11%	15%	0.2	293
koeler	2°C	11	0.7	7%	3%	0.0	30
koelst	0°C	19	0.3	72%	4%	0.1	76
fris	-5°C	2	0.0	98%	0%	0.0	9





Warmst: Sloterdijk



Warmer: Centrum



Warm: Twiske Kadoelen



Heet: Amstel Business Park



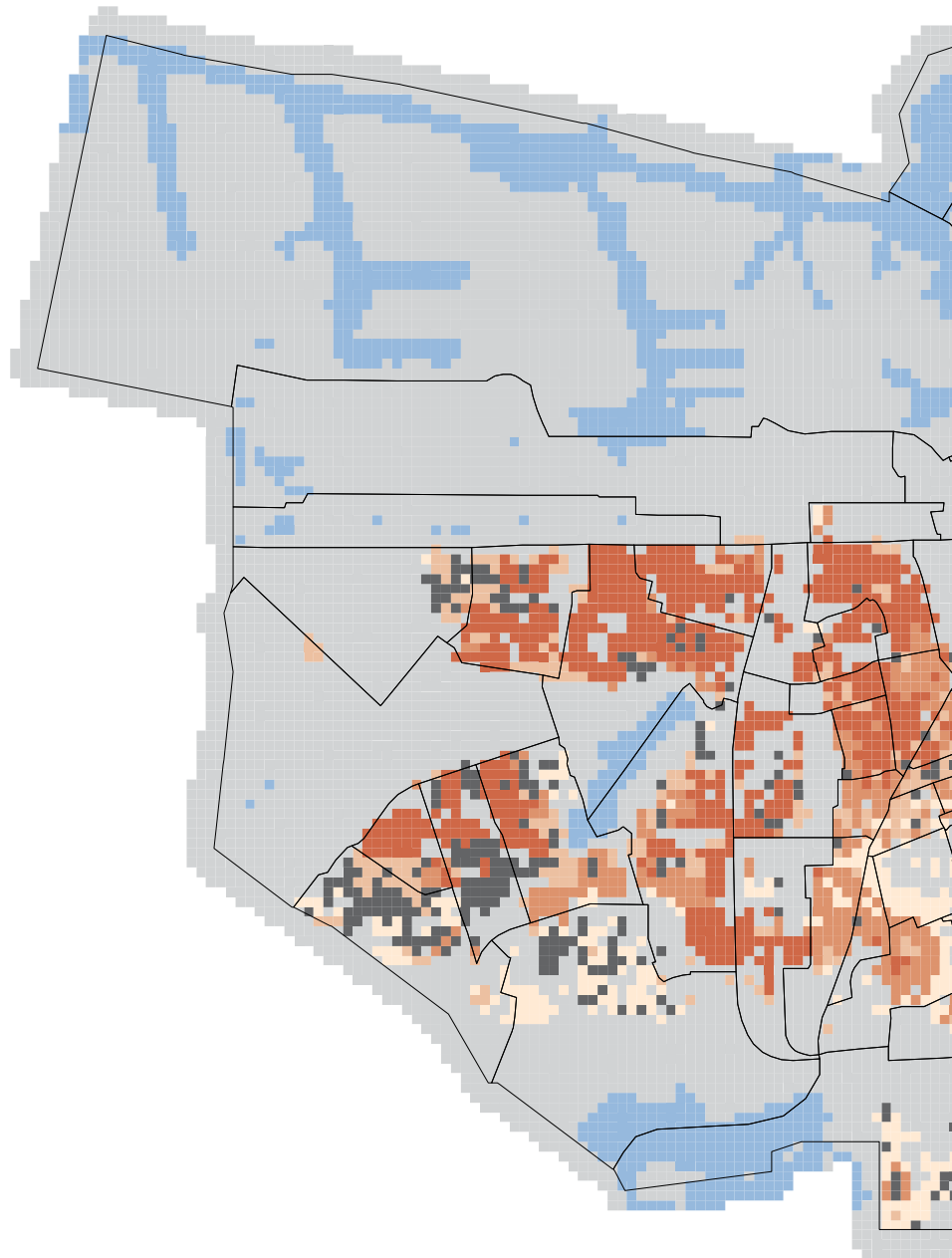
Warmer: Baarjes



Warm: Sloterveer

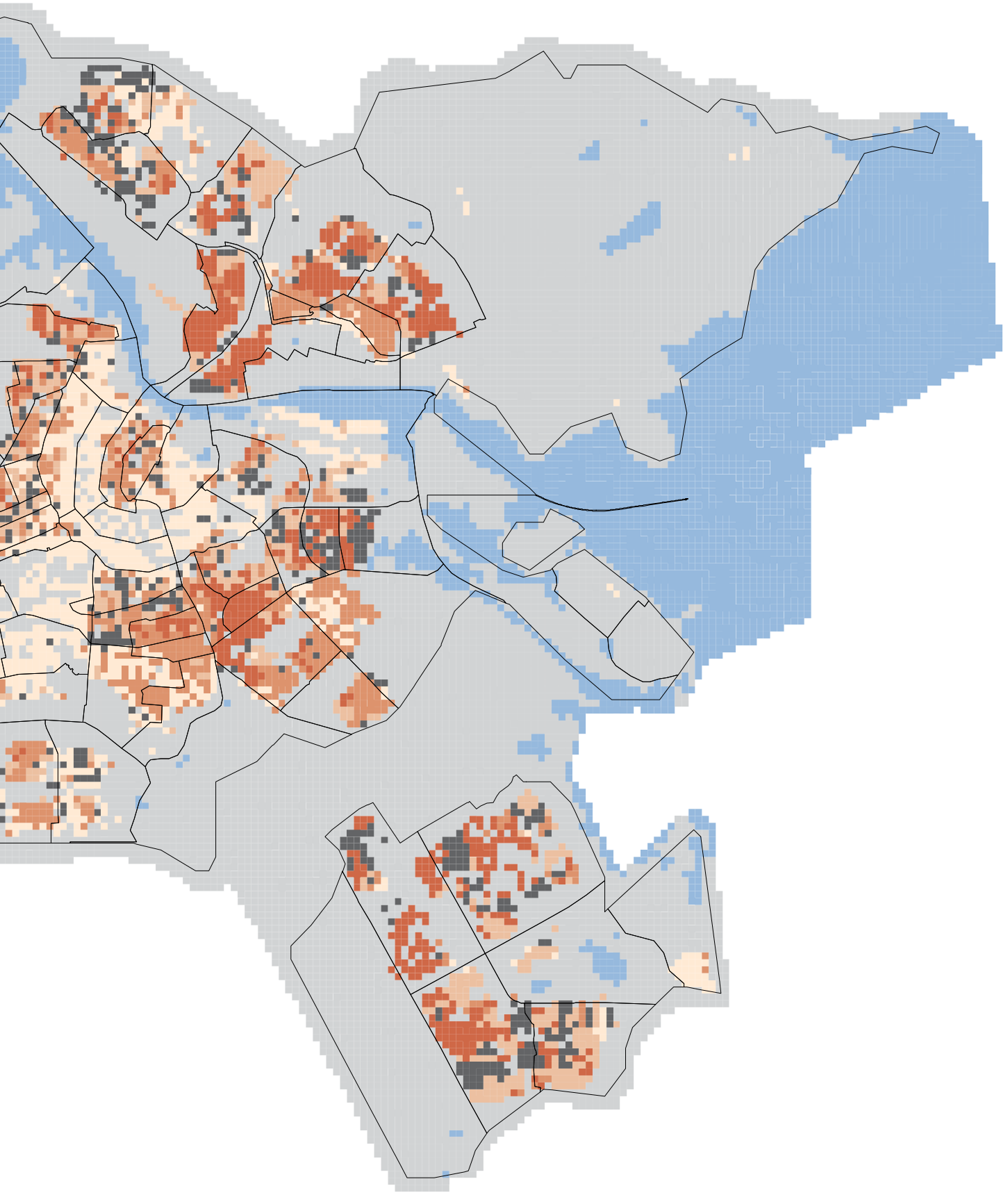
De meest kwetsbare delen van de stad zijn die plekken met hoge concentraties 75-plussers. De donkergrijs-gekleurde hectares tellen gemiddeld drie tot vier keer zoveel 75-plussers dan de rest. De lichtgrijs-gekleurde hectares tellen nauwelijks 75-plussers.

Een matige score op de Leefbaarometer en een slecht energielabel zijn eveneens factoren die bijdragen aan de mate van kwetsbaarheid.



5.b Typologie kwetsbaarheid bewoners

	Warmte-eiland oppervlakte-temperatuur	Leefbaarheid	Gemiddeld energielabel	75+ers/ha
kwetsbaarst	8°C	matig positief	D	18.3
kwetsbaarder	8°C	matig	G	5.0
kwetsbaar	8°C	matig positief	G	6.5
matig kwetsbaar	8°C	matig positief	E	4.6
matig kwetsbaar	7°C	positief	G	4.5
overig	-	-	-	< 1.5
water	-6 C°	-	-	0





Kwetsbaarst: Osdorp



Kwetsbaarder: Bos en Lommer



Kwetsbaar: Hoofddorpleinbuurt



Kwetsbaarst: Indische buurt



Kwetsbaarder: Transvaalbuurt

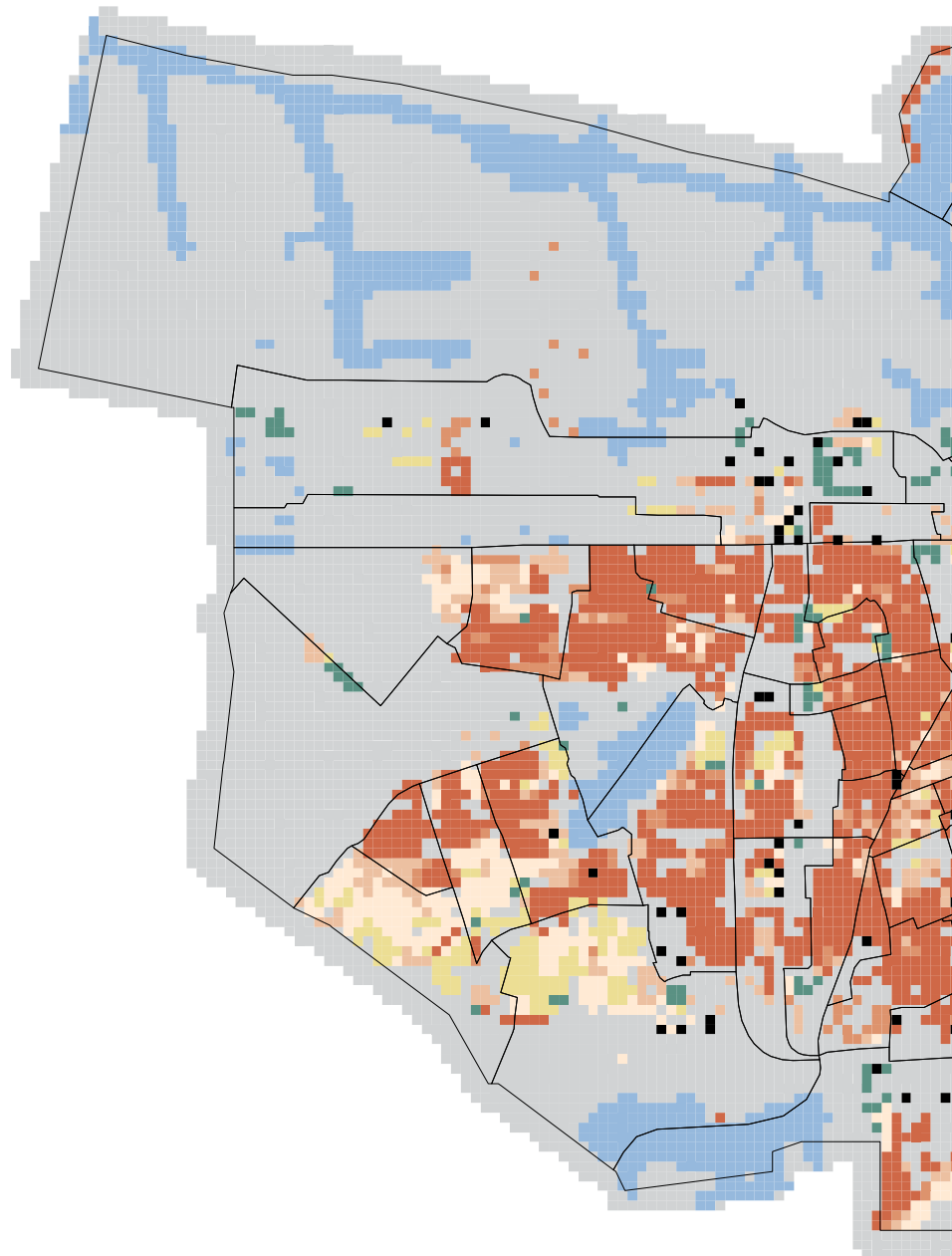


Kwetsbaar: Buitenveldert

Op het gebied van de werkgelegenheid zijn de verschillen nog groter dan die ten aanzien van de kwetsbaarheid van de bevolking.

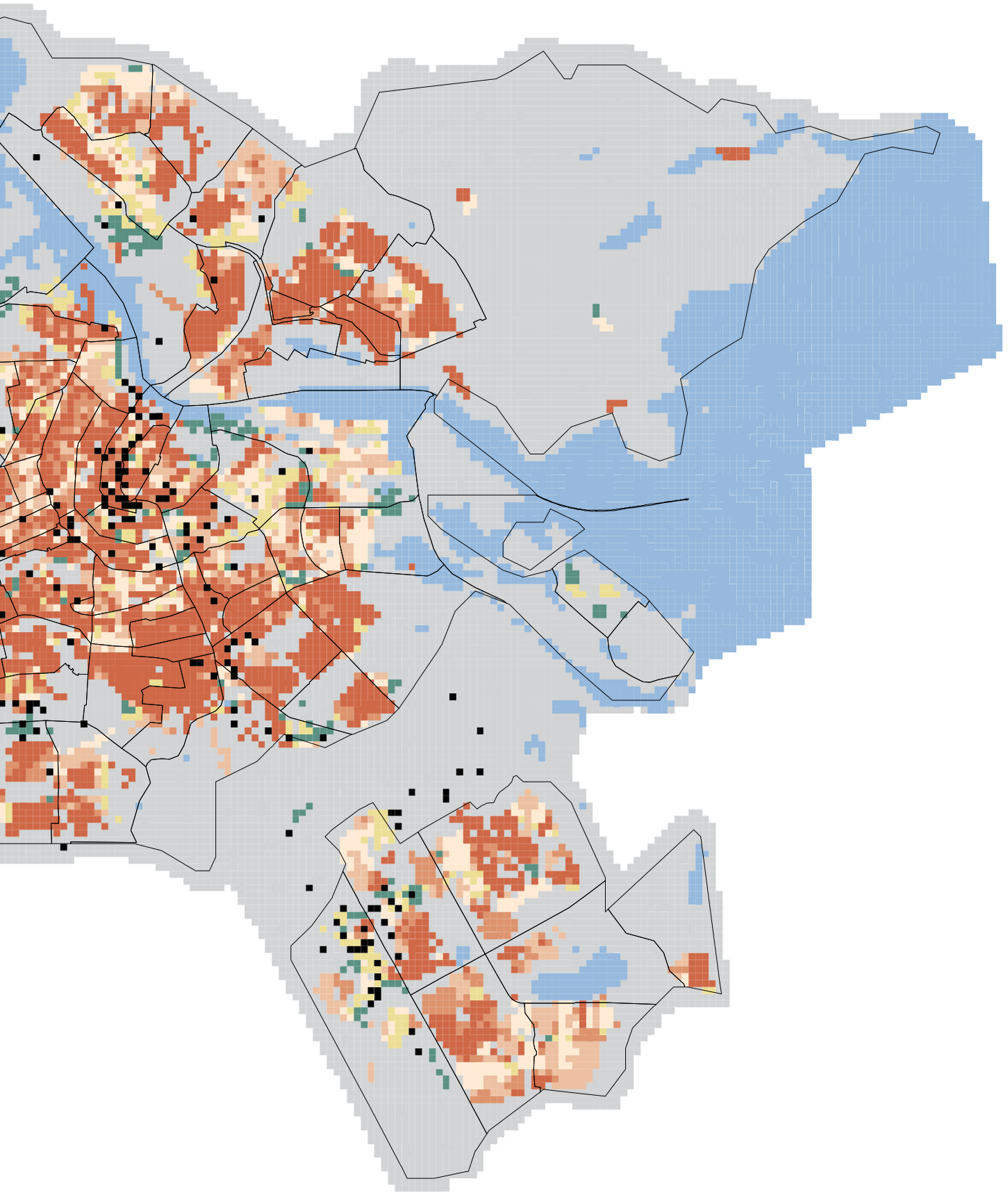
De zwart-gekleurde hectares kennen de hoogste concentraties werkgelegenheid maar tevens gemiddeld het slechtste energielabel.

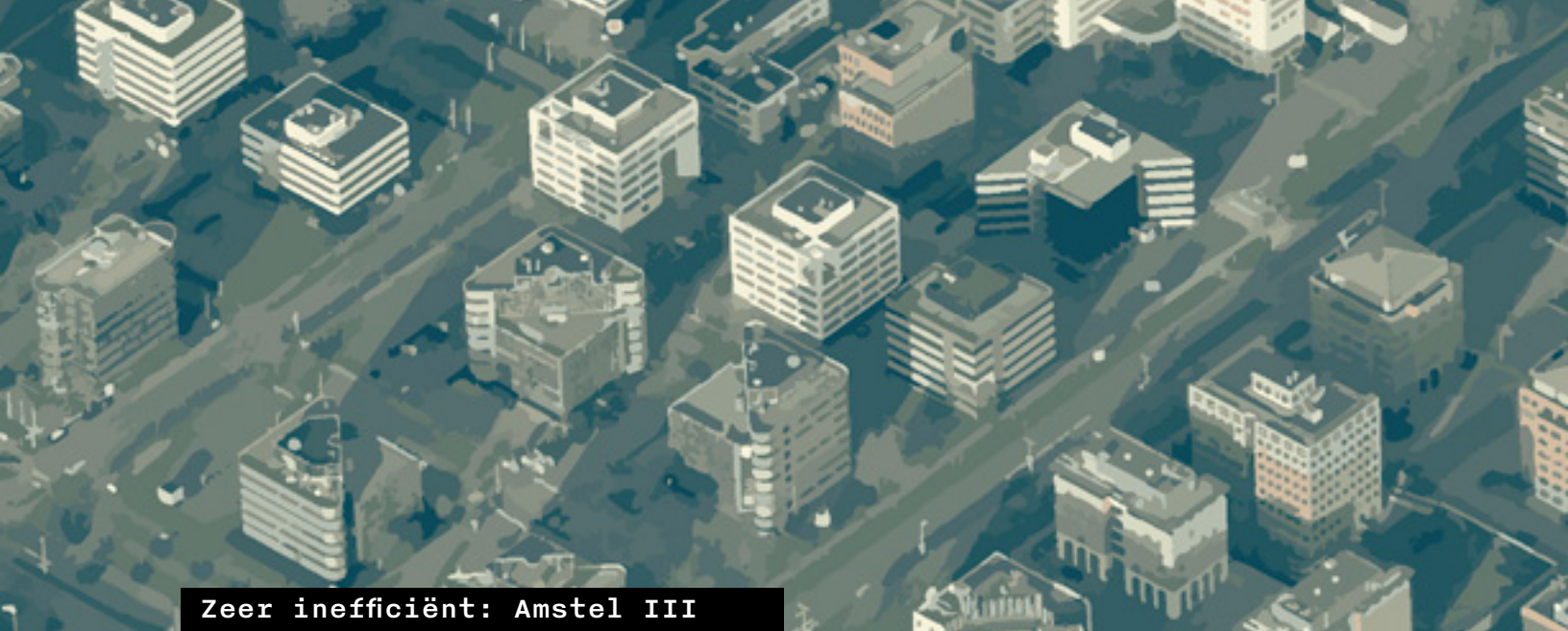
Daartegenover zijn er ook hectares waar het gemiddelde energielabel al tot de A-klasse behoort.



5.c Typologie energie-efficiëntie werkplek

	Warmte-eiland oppervlakte-temperatuur	Gemiddeld energielabel	Werkenden/ha
zeer inefficiënt	9°C	G	1058
inefficiënt	8°C	G	43
inefficiënt	8°C	F	53
weinig efficiënt	8°C	E	48
weinig efficiënt	8°C	D	48
matig efficiënt	8°C	C	45
efficiënt	8°C	A	90





Zeer inefficiënt: Amstel III



Zeer inefficiënt: Burgwallen



Efficiënt: Zuidas



Zeer inefficiënt: Riekerpolder



Zeer inefficiënt: Burgwallen



Efficiënt: Westerdokseiland

6. Adaptatie

In de Verenigde Staten is de problematiek van het stedelijk warmte-eiland in grote steden al langer onderkend. Daar zijn reeds concrete strategieën opgesteld. Voor de Amsterdamse situatie behoeven die aanpassing.

Compendium of Strategies

De 'Compendium of Strategies' voor het verminderen van het stedelijk warmte-eiland van de EPA (United States Environmental Protection Agency, 2008) is een goed voorbeeld van een adaptatie-strategie. Het compendium van de EPA omvat vier elementen:

Trees and vegetation;

Green roofs;

Cool roofs;

Cool streets.

Bomen en vegetatie verdampen water en gebruiken zo energie die anders leidt tot stedelijke warmte. Groene daken hebben met name een isolerende waarde. Wanneer groene daken goed bewaterd worden, kunnen ze ook verkoeling brengen. Koele daken en straten worden gekenmerkt door een hoge albedo-waarde. Daarmee weerkaatsen ze de straling van de zon. Zo warmen ze minder op. Hetzelfde geldt voor koele straten.

Oppervlaktewater en energie-efficiëntie toevoegen

Water wordt opvallend genoeg niet genoemd in het compendium van de EPA, energie-efficiënte gebouwen evenmin. Met oog op de Nederlandse situatie (veel oppervlaktewater) en de EU regels die in 2020 van kracht zijn (nearly zero energy buildings), is het zaak om beide aspecten mee te nemen. Dit leidt tot een aangepaste lijst van oplossingsrichtingen:

Bomen en groen;

Groene en koele daken;

Koele bestrating en minder bestrating;

Oppervlaktewater;

Energie-efficiëntie gebouwen.

6.a Bomen en groen

waarom Verdamping en schaduwwerking.

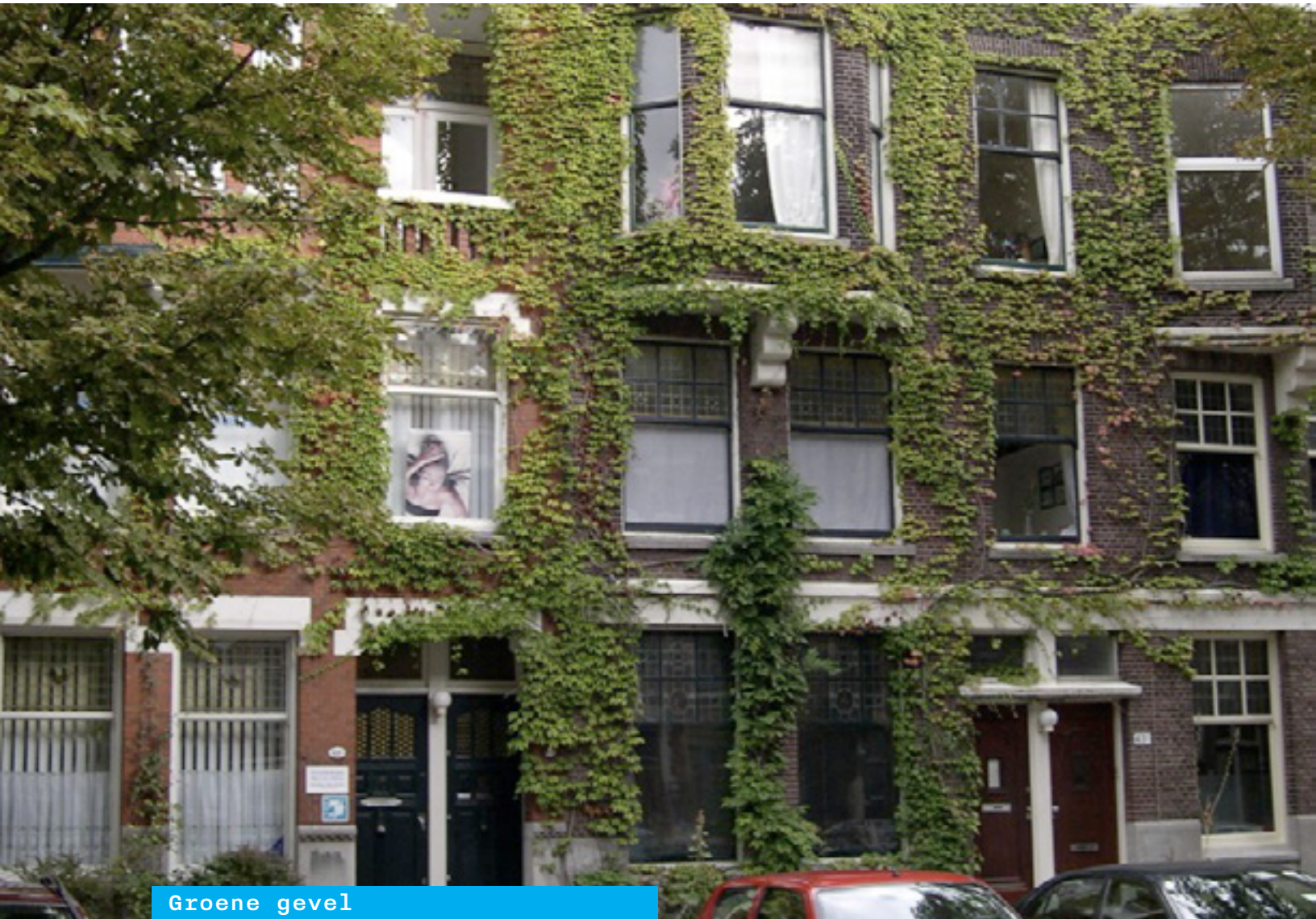
waar Gebieden met een lage vegetatie index (NDVI).

typologie Warmer, Warmst en Heet.

wanneer Nu handelen. Bomen hebben enkele decennia nodig om te volgroeien.

waar(om) niet Kabels en leidingen ondervinden schade van boomwortels.

hoe Stimuleren van groen en bomen op privéterrein.



Groene gevel

6.b Groene en koele daken

waarom Weerkaatsen van zonnestraling, of omzetting van zonnestraling in energie // isolatie (blijft langer koel), indien voorzien van beregening: ook verdamping.

waar Gebieden met veel dakoppervlak, met name platte asfalt daken.

typologie Warmer, Warmst (relatief veel gebouwschil), Heet

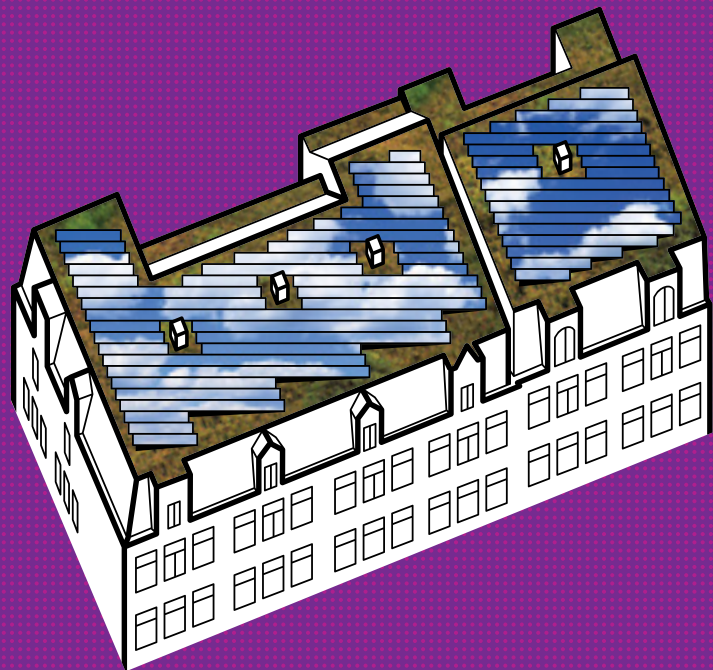
wanneer Nieuwbouw of renovatie.

waar(om) niet -

hoe Automatisch beregenen, coating met hoge albedo-waarde, PV-panelen.

Groen met PV

In het model Groen met PV wordt het maximale dakoppervlak gebruikt voor een combinatie van groendak met PV-panelen. Het dak heeft bij deze variant geen verblijfsfunctie en is niet toegankelijk voor gebruikers. Het groene dakoppervlak kan tevens maximaal worden benut voor waterberging en -buffering. Het combineren van een groendak met PV-panelen heeft daarnaast nog een groot voordeel. Een hoge temperatuur verlaagt namelijk het rendement van PV-panelen. Groendaken hebben een temperatuurverlagend effect ten opzichte van bitumen daken; door de koelende werking van een groendak zal de opbrengst uit PV-panelen dus stijgen.



bestaande bouw

investeringskosten	85.000	euro
energiebesparing	12.000	kWh/jaar
CO ₂ -reductie	6.800	kg CO ₂ /jaar
waterberging	2.400	liter
gebruiksruimte	—	m ²

MaxDak: JAM* Architecten & Merosh, 2011

6.c Koele bestrating en minder bestrating

waarom Weerkaatsen van zonnestraling, minder verlies van groen.

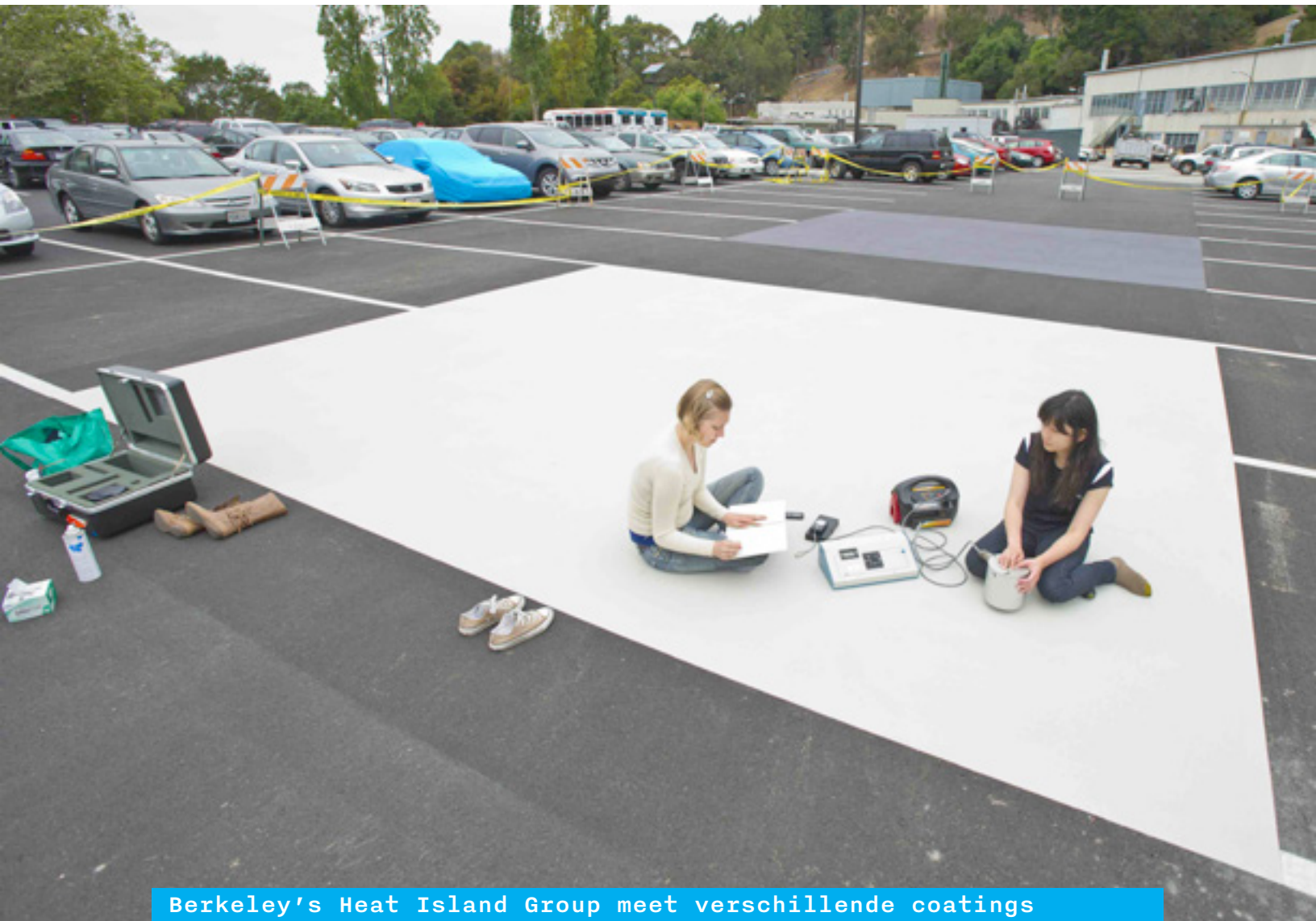
waar Gebieden met veel verkeersruimte.

typologie Warmst (verkeersruimte bijna 50%)

wanneer Bij onderhoud van wegen en straten.

waar(om) niet Afweging maken tussen hoog-albedo wegdek en minder verhard oppervlak voor verkeersdoeleinden.

hoe Vervangen van bestaande bestrating, coating met hoge albedo-waarde, niet terugbrengen van een deel van de verharding.



Berkeley's Heat Island Group meet verschillende coatings

6.d Oppervlaktewater

waarom Verdamping.

waar Warm stedelijk gebied.

typologie Warm, Warmer, Warmst (oppervlaktewater slechts 5/6%).

wanneer Herinrichting buitenruimte.

waar(om) niet Oppervlaktewater heeft, afhankelijk van de diepte, ook het vermogen om warmte vast te houden om dit later (bijvoorbeeld 's nachts) weer af te geven.

hoe Fonteinen, ondiepe vijvers en bassins.



Roombeek, Enschede: ondiepe waterpartij

6.e Energie-efficiëntie gebouwen

waarom Voorkomen van energiegebruik om gebouwen te koelen.

waar Alle stadsdelen.

typologie Alle, te beginnen met Kwetsbaarst, en Inefficiëntst.

wanneer Vanaf 2020 schrijft Europa voor dat nieuwe gebouwen, en gebouwen die gerenoveerd worden op hoog niveau, 'nearly zero energy buildings' dienen te zijn. Dat betreft zowel het energiegebruik in de winter, als in de zomer.

waar(om) niet Gebouwen kunnen ook gekoeld worden door warmte op te slaan in de bodem om 's winters weer gebruikt te worden.

hoe Nieuwbouw of renovatie; verhogen albedo, blokkeren warmtestraling.



Kroeven, Rosendaal: winnaar PassiefBouwen Award 2010

Amsterwarm

Methodiekbeschrijving

a. Analyse

Voor de Amsterwarm-studie is gebruik gemaakt van een combinatie van methodieken waaronder *websearch*, literatuurstudie, *mapping*, *remote sensing*, *multivariate regression analysis* en cluster-analyse.

Warmte-eiland bepaling

De omvang van het warmte-eiland effect is vastgesteld aan de hand van *remote sensing* technieken, zowel in het geval van de oppervlaktetemperatuur overdag, als de luchttemperatuur 's nachts.

Voor de oppervlaktetemperatuur is gebruik gemaakt van satellietbeelden, afkomstig van NASA's Thematic Mapper (TM), een instrument aan boord van de Landsat 5 satelliet. Landsat 5 beelden zijn gedownload van NASA's Reverb/Echo website. Band 6 van het Landsat 5 beeld (opgenomen tijdens de hittegolf van 2006) is atmosferisch gecorrigeerd met behulp van een online tool dat eveneens door NASA ontwikkeld is. Voor de luchttemperatuur is gebruik gemaakt van satellietbeelden, afkomstig van ESA: AATSR, een instrument aan boord van de Envisat satelliet. De AATSR beelden zijn verkregen van ESA na indiening en een positieve peer-review van een speciaal geschreven onderzoeksvoorstel. Om de gegevens van de AATSR beelden te vertalen naar luchttemperatuur zijn de waardes van de satellietbeelden aan de hand van *multivariate regression analysis* geïjkt met lokale luchttemperatuurmetingen.

De temperatuurmetingen die ter beschikking stonden zijn afkomstig van drie verschillende bronnen: Temperatuurwaarnemingen die verricht zijn door de GGD ten behoeve van de luchtkwaliteitsmetingen. De RIVM heeft meetwaardes ter beschikking gesteld m.b.t. meetstations in West-Nederland en Brabant. KNMI-metingen zijn eveneens gebruikt.

GIS-mapping

In de volgende stap zijn een groot aantal indicatoren in kaart gebracht. Daartoe is in ArcGIS een grid aangemaakt van honderd bij honderd meter. Vervolgens zijn voor alle hectares binnen de gemeente Amsterdam waardes berekend voor elke indicator. In deze rapportage zijn de indicatoren (kaarten) opgenomen waarvan gebleken is dat ze van betekenis zijn voor het stedelijk warmte-eiland. De indicatoren kennen grofweg drie herkomsten: satellietbeeld, GIS, en 3-D model. Het satellietbeeld (Landsat 5) is atmosferisch gecorrigeerd met behulp van een software tool (ATCOR2). ATCOR produceert eveneens een beeld van de *Normalised Difference Vegetation Index* (NDVI). Verharding is bepaald aan de hand van *spectral unmixing* op basis van *endmembers* in een door in opdracht van ESA ontwikkeld open source programma: BEAM/VISAT.

Amsterdam heeft percentages ruimtegebruik per hectare voor alle categorieën (waar de TOP 10 kaart onderscheid naar maakt) aangeleverd als GIS-bestanden. Het Algemeen Hoogtebestand Nederland 2 (AHN-2) is gebruikt om een analyse uit te voeren ten aanzien van schaduwwerking en de relatieve omvang van de gebouwschil per hectare. Een aparte software tool is gebruikt om de sky-view factor te berekenen: SVF Computation code (SAV).

Multivariate regression analysis

Multivariate regression analysis is gebruikt om het warmte-eiland overdag (oppervlaktetemperatuur) in verband te brengen met de indicatoren ruimtegebruik.

De buitenluchttemperatuur kent overdag een gering warmte-eiland effect en is slechts in een resolutie van een vierkante kilometer beschikbaar. De oppervlaktetemperatuur vertoont daarentegen significante verschillen bij een veel hogere resolutie. De oppervlaktetemperatuur draagt via de zogenaamde voelbare warmte (QH) ook bij aan de buitenluchttemperatuur. Om die reden is het verband tussen ruimtegebruik en oppervlaktetemperatuur van belang. De oppervlaktetemperatuur zoals waargenomen door satellieten wordt tevens voor een belangrijk deel bepaald door de temperatuur van daken en gevels, door de gebouwschil dus. De warmte die de schil passeert bepaalt weer deels de binnentemperatuur. Bewoners en werknemers bevinden zich overdag het grootste deel van de tijd in gebouwen. Ook dat spreekt voor het gebruik van de oppervlaktetemperatuur als afhankelijke variabele. Het resultaat van de *multivariate regression analysis* leverde een top-zes op van ruimtegebruik indicatoren die bepalend zijn voor de oppervlaktetemperatuur.

Cluster-analyse

De top-zes van indicatoren is gebruikt als input voor de cluster-analyse, samen met de oppervlaktetemperatuur. Die clustering heeft de typologie ruimtegebruik opgeleverd. De typologie kwetsbaarheid bewoners is het resultaat van een cluster-analyse van oppervlaktetemperatuur, energielabel, leefbaarheid en leeftijd. Energielabels zijn aangeleverd op postcode-6 niveau. Op basis van 150.000 beschikbare labels ontstond echter geen dekkend beeld. Met behulp van interpolatie via de Inverse Distance Weighted (IDW) methode is het kaartbeeld aangepast. Leefbaarheidsgegevens (op basis van de zogenaamde Leefbaarometer) zijn aangeleverd door het Ministerie van BZK op een (met oog op privacy) aangepast postcode-6 niveau. Bevolkingsgegevens zijn aangeleverd door Amsterdam. Al deze gegevens zijn vertaald naar het hectare grid in GIS. Cluster-analyse van de waardes voor energielabel, leefbaarheidsscore, 75-plussers voor elke hectare levert de typologie kwetsbaarheid bewoners op. De typologie energie-efficiëntie werkplek is het resultaat van een cluster-analyse van oppervlaktetemperatuur, werkplekdichtheid en energielabels.

b. Amsterdam

De warmte-eiland typologieën in deze studie zijn ontwikkeld op basis van één specifieke stad: Amsterdam, de grootste stad van Nederland.

Amsterdam

De gemeente Amsterdam telt eind 2012 800.000 inwoners. Door de vingerachtige structuur heeft het stedelijk gebied van de stad veel raakvlakken met de groene omgeving. Direct aan de westkant van de stad Amsterdam liggen twee omvangrijke economische gebieden: Haven Amsterdam en Amsterdam Airport Schiphol.

Regio

De regio Groot-Amsterdam telt 1,3 miljoen inwoners (CBS). De regio is in het westen begrensd door de Noordzee en in het oosten door het Markermeer. In het noorden is de regio afgebakend door Waterland en in het zuiden door het Groene Hart.

Dichtheid

Het centrum van de stad Amsterdam is dichtbebouwd. De Grachtengordel is daarbij verweven met water. Dat werkt overdag verkoelend maar 's nachts geeft oppervlaktewater juist weer de warmte af die het overdag heeft opgenomen. De schil om de grachtengordel is eveneens dichtbebouwd, maar kent daarentegen weinig groen of water. Compacte bebouwing koelt 's nachts slechts langzaam af. De naoorlogse wijken die met name buiten de Ring Amsterdam te vinden zijn, zijn groener en minder compact.

Landschap

De landschapselementen hebben elk hun uitwerking op de regionale temperatuur. De Noordzee is relatief koel, ook 's nachts. Het Markermeer is overdag koel maar behoort gedurende zomernachten tot de warmste gebieden van Nederland. Waterland en het Groene Hart zijn als weidegebieden relatief koel overdag. Ze verliezen 's nachts de in de bodem opgeslagen warmte snel omdat ze goed blootgesteld zijn aan het hemelgewelf.

Mainport

De Haven Amsterdam en Amsterdam Schiphol Airport behoren door hun verharde oppervlak overdag tot de warmste gebieden in de regio. Maar ook deze terreinen verliezen 's nachts hun warmte snel door een geringe bebouwing.

b.1 Amsterdam

inhoud Landsat 5 beeld Amsterdam.

waardes Band 3 = Rood, Band 2 = Groen, Band 1 = Blauw.

methode Landsat 5 beeld is atmosferisch gecorrigeerd.

software BEAM-VISAT, ATCOR2, MATLAB.

data NASA, Landsat 5, 16 juli 2006, 12:32 uur.

legenda -



c. Energiebalans

Het stedelijk warmte-eiland is het product van de energiebalans van het aardoppervlak. In het Engels wordt dit de surface energy balance genoemd. Om de processen achter het stedelijk warmte-eiland beter te kunnen duiden, schetsen we de belangrijkste principes achter deze energiebalans.

Oppervlakte energiebalans

De oppervlakte energiebalans gaat uit van het principe dat energie niet verloren gaat. De energie die het aardoppervlak ontvangt van de zon, samen met de energie die het resultaat is van menselijk handelen, is dan ook gelijk aan de energie die omgaat in de processen op het aardoppervlak. In formulevorm kan dit als volgt opgeschreven worden:

$$Q^* + QF = QH + QE + \Delta S + \Delta A$$

waarbij Q^* = de netto straling die het aardoppervlak ontvangt, QF = de warmte als resultaat van menselijke activiteiten, QH = voelbare warmte, QE = de energie die gebruikt wordt tijdens verdamping, ΔS = warmte opslag, en ΔA = afgevoerde warmte.

Q^* : straling van de zon

Q^* is de energie die het aardoppervlak ontvangt van de zon. Het aardoppervlak heeft echter eigenschappen die de straling kan weerkaatsen of uitstralen: albedo en emissiviteit.

Albedo drukt de mate uit waarin het aardoppervlak straling weerkaatst. Emissiviteit geeft de mate weer waarin het oppervlak straling die het ontvangen heeft weer uitstraalt. De emissiviteit verschilt binnen stedelijk gebied maar weinig. Vaak wordt een standaard waarde gebruikt: 0.95 of 0.96. De albedo kan echter sterk variëren. We vinden in stedelijk gebied waardes tussen 0.2 en 0.4. Daarmee is albedo een belangrijk aspect waarop we kunnen sturen. Hoe hoger de albedo, des te meer zonlicht direct weerkaatst wordt. De straling die weerkaatst wordt draagt niet bij aan de opwarming van de stad of haar regio, tenzij de straling weer teruggekaatst wordt door bewolking of luchtverontreiniging.

QF : warmte als gevolg van energiegebruik

Naast de zon dragen mensen bij aan de opwarming van de stad. Dat doen ze onder andere door energiegebruik voor de verwarming en koeling van gebouwen, bedrijfsmatige processen, en in het verkeer. In de zomer, tijdens hittegolven, speelt het energiegebruik voor de koeling van gebouwen een rol.

Naar mate de inrichting van de stad sterk bijdraagt aan het warmte-eiland effect, wordt de behoefte om te koelen groter. De energie die gebruikt wordt in dat proces zorgt dan voor een verdere versterking van het warmte-eiland.

QH: voelbare warmte

Voelbare warmte is de energie die nodig is voor het verwarmen van lucht. Deze opwarming vindt met name plaats boven oppervlaktes met een hoge temperatuur. In de omzetting van oppervlaktetemperatuur naar luchttemperatuur spelen (kleine) turbulenties een belangrijke rol. Deze worden aangeduid als eddies.

QE: latente warmte

Latente warmte is de energie die nodig is voor de verdamping van water. Groen is een belangrijke 'gebruiker' van latente warmte. Bomen vangen echter niet alleen warmte af. Ze hebben als bijkomend voordeel dat ze schaduw bieden.

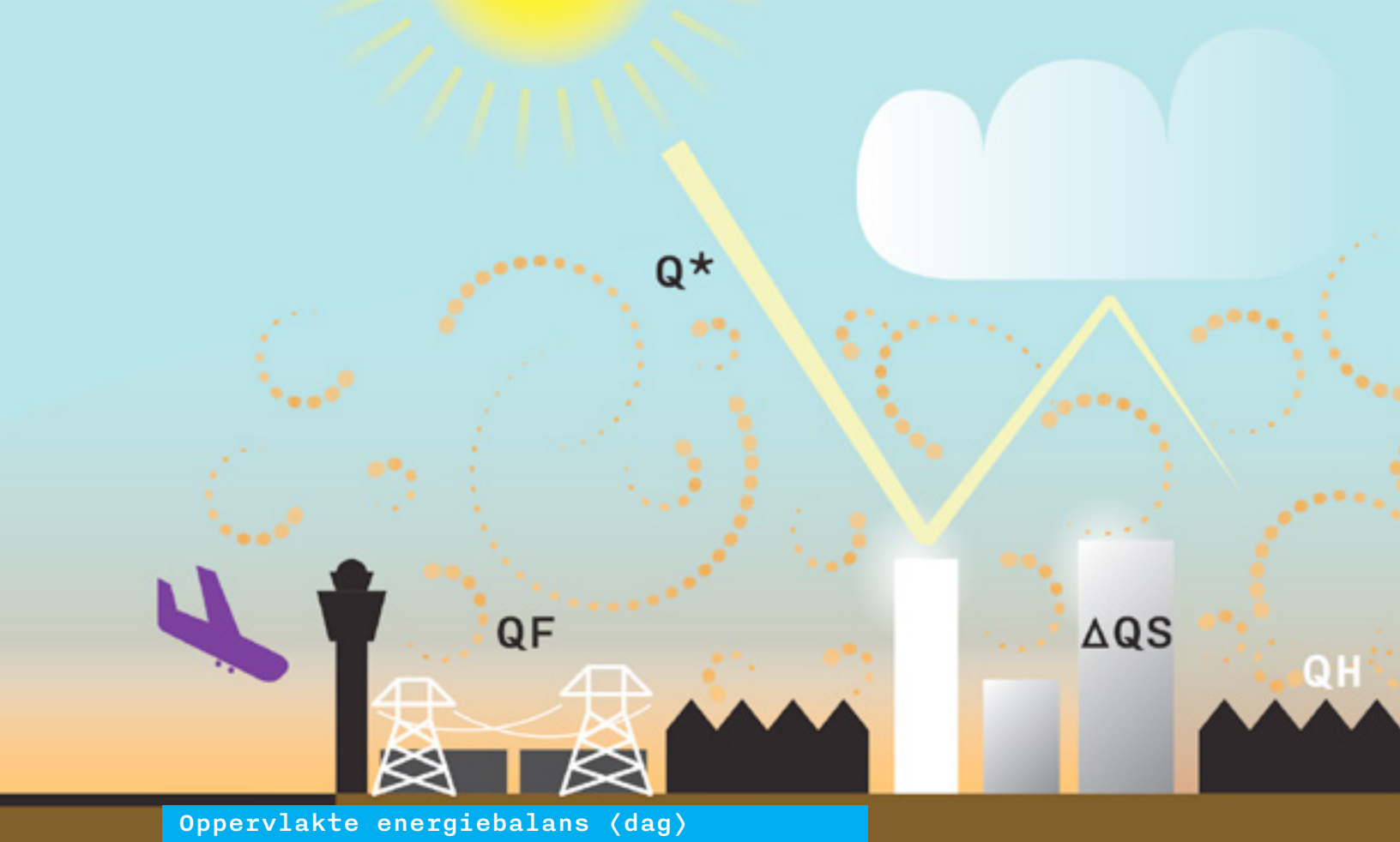
Oppervlaktewater wordt vaak genoemd als een verkoelende factor met oog op warmte-eilanden. Zolang de warmte die water ontvangt opgaat aan verdamping klopt dat ook. Echter, de koelende werking van oppervlakte water overdag ontstaat deels doordat water warmte opslaat. 's Nachts geeft oppervlakte water die warmte weer langzaam af en draagt het juist bij aan het warmte-eiland. Het grootste nachtelijke warmte-eiland in Nederland is het IJsselmeer. De Noordzee met haar grote omvang en diepte tot 40 meter laat zich minder snel opwarmen en blijft daardoor relatief koel.

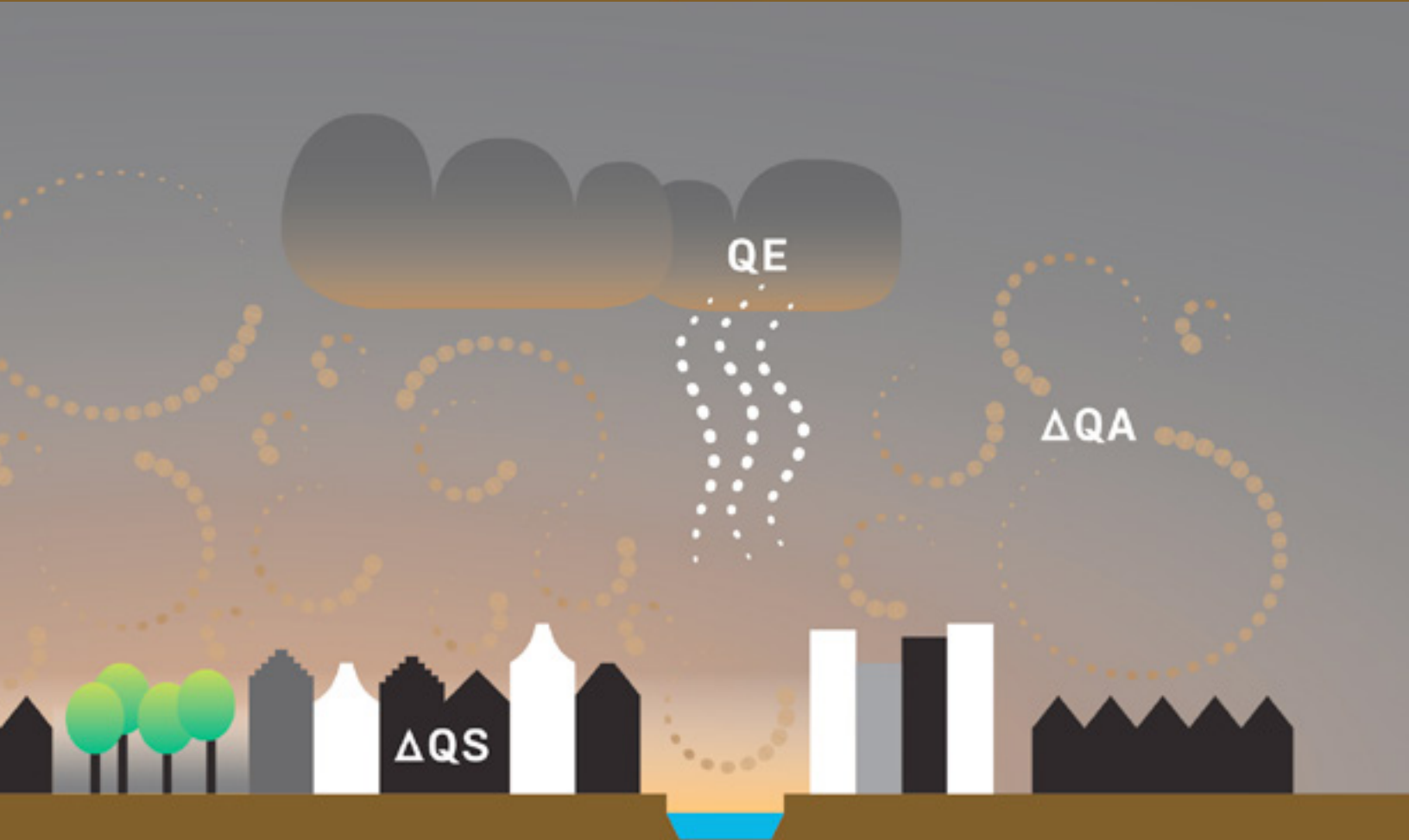
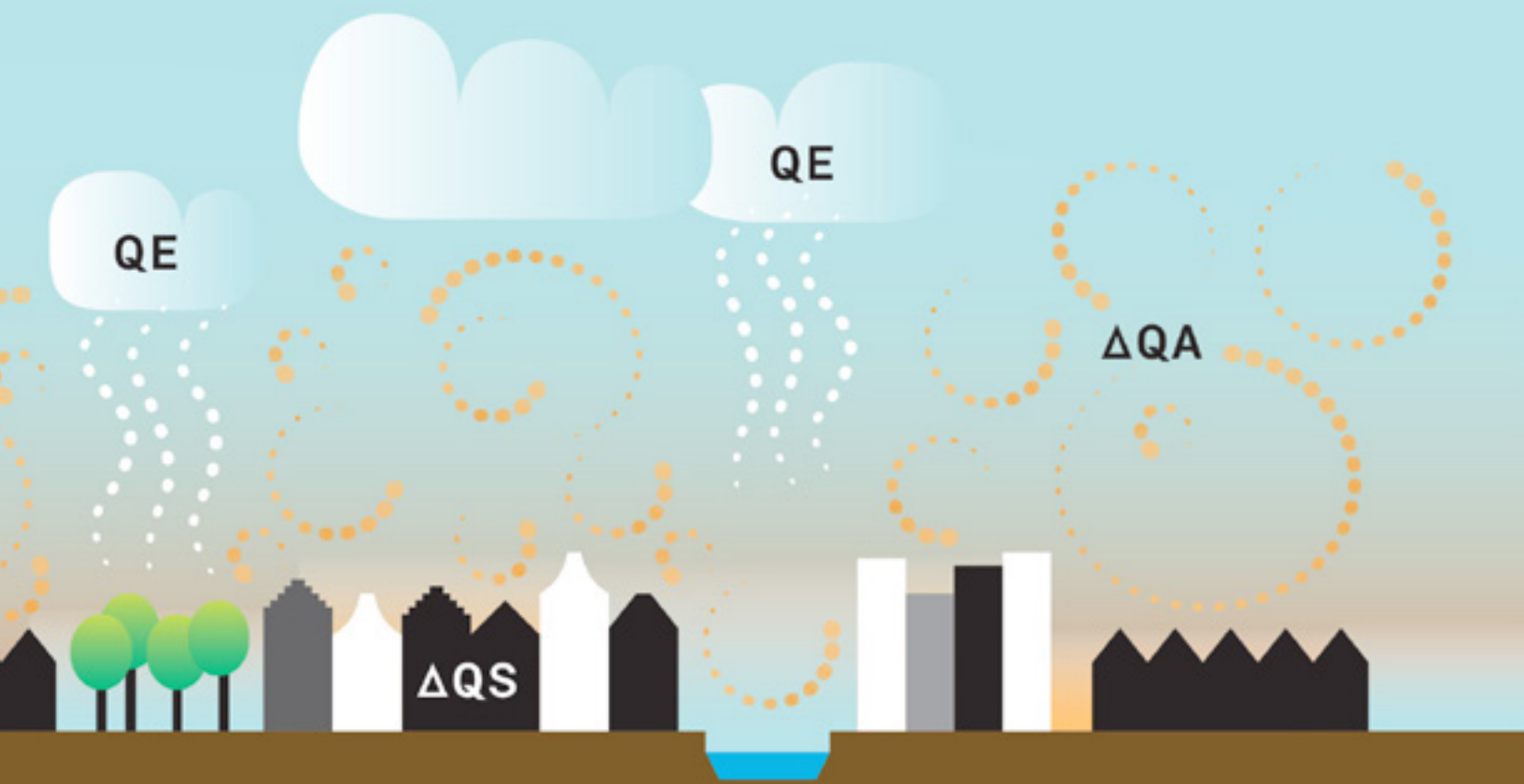
ΔQS : warmte opslag

Een belangrijk deel van de straling van de zon gaat niet naar de opwarming van de lucht of naar de verdamping door vegetatie. Straling wordt ook opgeslagen als warmte in de bodem, in gebouwen, en in oppervlaktewater. De opgeslagen warmte is vrijwel geheel verantwoordelijk voor het nachtelijk warmte-eiland. Wanneer het stadsoppervlak en de daarbij behorende bebouwing goed blootgesteld is aan het hemelgewelf dan koelt de stad relatief snel af. Wanneer de blootstelling geblokkeerd wordt door bebouwing of door bomen dan blijft de warmte langer vast in de stad met als gevolg relatief hoge nachtelijke temperaturen. De mate van blootstelling aan het hemelgewelf is vervat in een speciale indicator, de sky-view factor.

ΔQA : warmte transport

Warmte wordt ook getransporteerd door middel van lucht- en waterstromen. Regenwater koelt het stadsoppervlak relatief snel af en neemt die warmte mee het riool in. Koele wind van zee kan de warmte van de stad eveneens meevoeren. Daar staat tegenover dat wind uit warme gebieden juist weer warmte kan meebrengen.





d. Indicatoren ruimtegebruik

Het verband tussen het ruimtegebruik in Amsterdam en het warmte-eiland effect, is verkend aan de hand van specifieke indicatoren. In deze paragraaf wordt een overzicht gegeven van die indicatoren en wordt tevens geschetst of ze het warmte-eiland in de hand werken of juist niet. Sommige indicatoren doen echter beide.

Alle indicatoren zijn in cijfers uitgedrukt voor elke hectare die de stad Amsterdam rijk is. Vervolgens zijn die gegevens statistisch bewerkt om verbanden vast te stellen tussen ruimtegebruik en stedelijk warmte-eiland.

Bij de analyse is gebruik gemaakt van drie type gegevens: bewerkingen van een Landsat 5 satellietbeeld, bewerkingen van gegevens verkregen uit het gemeentelijke GIS systeem en gegevens die ontleend zijn uit een 3D-model van de stad Amsterdam en haar omgeving.

Satelliet

Het satellietbeeld dat voor de gedetailleerde analyse is gebruikt, is een Landsat 5 beeld (TM), genomen op 16 juli 2006 tijdens de meest recente hittegolf. De bewerkingen betreffen het verkrijgen van de oppervlaktetemperatuur overdag, de mate van verharding (via *spectral unmixing*), de albedo, en de *normalised difference vegetation index* (NDVI). De NDVI is een indicator voor vegetatie.

De oppervlakte temperatuur levert een indicator op die uit te drukken is in graden Celsius. De mate van verharding, de albedo en de NDVI zijn dimensieloze indicatoren. Het zijn dus geen centimeters of percentages, maar gewoon getallen op een bepaalde schaal: 0-1.0 of 0-100.

Gemeentelijk GIS

Aan de hand van het gemeentelijk GIS is voor elke hectare bepaald wat het procentuele ruimtegebruik is. Alle categorieën waar van het gemeentelijk GIS onderscheid naar maakt, zijn meegenomen: bedrijventerrein, gebouwen, bos, groen, verkeer, en water. In deze paragraaf zijn alleen de kaarten m.b.t. water en verkeersruimte weergegeven. De kaarten drukken percentages uit.

3D-model

Op basis van het Algemeen Hoogtebestand Nederland 2 (AHN-2) zijn de sky-view factor, de schaduw en de gebouwschil-index berekend. De laatste is de verhouding tussen de oppervlakte van de gebouwschil (dak en gevel) en het stedelijk oppervlak.

Multivariate regression analysis

Met behulp van de verkregen waarden voor de indicatoren is een statistische bewerking voor elke hectare uitgevoerd (*multivariate regression analysis*) om de verbanden vast te stellen tussen oppervlaktetemperatuur en ruimtegebruik.

Factoren

De uitkomst van de analyse laat zien dat de oppervlaktetemperatuur vooral bepaald wordt door de mate waarin het gebied verhard is.

In mindere mate zijn oppervlaktewater, vegetatie index (NDVI), verkeersruimte, gebouwschil en schaduw aan te wijzen als factoren die bepalend zijn voor de oppervlaktetemperatuur in Amsterdam tijdens de hittegolf van 2006.

Satelliet versus GIS

Tests zijn uitgevoerd door satellietgegevens en GIS data met elkaar te vergelijken. De verhardingsindex op basis van Landsat 5 geeft een betere verklaring van de oppervlaktetemperatuur dan de som van verkeersruimte en bebouwing uit het gemeentelijk GIS. De verhardingsindex is dus uiteindelijk gebruikt.

Zo is ook de NDVI vergeleken met de groencategorieën uit het gemeentelijk GIS. De groencategorieën in gemeentelijk GIS verklaren de oppervlaktetemperatuur minder goed dan het bewerkte satellietbeeld van Landsat 5. Het gemeentelijk GIS definieert ruimtegebruik dat te boek staat als groen. Satellietbeelden maken het mogelijk om de fotosynthetische activiteit te meten. Deze verschillen zijn dus bepalend. Ook op dit punt is slechts één van de beide factoren gebruikt: NDVI en niet de groencategorieën uit het GIS.

Afhankelijkheid

Tests zijn uitgevoerd ten aanzien van albedo en sky-view factor. Verharding en albedo zijn teveel afhankelijk aan elkaar. Ook schaduw en sky-view factor zijn te zeer afhankelijk van elkaar. Vanuit een statistisch oogpunt is het niet juist om deze van elkaar afhankelijke factoren mee te nemen in de cluster-analyse. Dat neemt niet weg dat albedo en sky-view factor wel degelijk belangrijk zijn met oog op het warmte-eiland.

Er is tenslotte ook een statistische test gedaan ten aanzien van verkeersruimte en verhardingsindex. Verkeersruimte is echter wel voldoende onderscheidend ten opzichte van de verhardingsindex om mee te kunnen nemen in de typologie. Dat is dus ook gebeurd.

d.1 Schaduw

Schaduw is een effectief middel tegen het warmte-eiland effect. Schaduw voorkomt dat het stads- of aardoppervlak blootgesteld wordt aan zonnestraling (Q^*), de belangrijkste bron van stedelijke warmte.

d.2 Sky-view factor

De sky-view factor is een indicator die de mate weergeeft waarin het stads- of aardoppervlak blootgesteld is aan het hemelgewelf. Bij een geringe blootstelling kunnen gebouwen, straten en de bodem de warmte die overdag opgeslagen is 's nachts moeilijk kwijt (ΔQS). Een bekend voorbeeld van dit effect is het niet bevriezen van water onder bruggen in de winter. De sky-view factor is vooral van invloed op het nachtelijk warmte-eiland.

d.3 Albedo

Albedo is een indicator die uitdrukt in welke mate materialen zonnestraling (Q^*) weerkaatsen. Des te meer zonnestraling weerkaatst wordt, des te geringer de bijdrage aan het warmte-eiland effect. Bewolking of luchtverontreiniging kan die straling weer terugkaatsen naar het aardoppervlak. In het algemeen geldt echter dat een hoge albedo-waarde het warmte-eiland effect reduceert. Oppervlaktewater en groen hebben doorgaans lage albedo-waardes maar zijn wel relatief koel. Deze tegengestelde effecten moeten apart geanalyseerd worden.

d.4 Groen/vegetatie

Vegetatie verdampt water door middel van transpiratie, en gebruikt daarbij latente energie (QE). Daarmee vermindert vegetatie het stedelijk warmte-eiland. Grasvelden kennen een hoge sky-view factor, terwijl bossen juist een lage sky-view factor kennen. Hoewel beide groengebieden overdag koel zijn, blijven bossen 's nachts warm terwijl grasvelden (weilanden) relatief snel afkoelen.

d.5 Oppervlaktewater

Water verbruikt door verdamping latente energie (QE) en werkt zo verkoelend. Oppervlaktewater heeft echter een zeer lage albedo-waarde en neemt als geen ander medium zonnestraling op (ΔQS). De diepte en de omvang van dat water bepaalt of het wel of niet snel opwarmt. Overdag hoort oppervlaktewater in de zomer tot de koele delen van het aardoppervlak. 's Nachts draagt oppervlaktewater juist bij aan het (stedelijk) warmte-eiland effect.

d.6 Verharding

Verharding (beton, asfalt, baksteen, opgespoten zand) is de belangrijkste veroorzaker van het warmte-eiland. Verharding sluit de bodem af, voorkomt dat water verdampt en het verhindert de groei van vegetatie. Daarmee voorkomt verharding dat zonnestraling wordt omgezet in latente energie (QE).

Verharding heeft tevens het vermogen om warmte op te slaan overdag. Deze opgeslagen warmte wordt 's nachts weer afgegeven (ΔQS).

Verharding heeft in vergelijking tot groen of oppervlaktewater een relatief hoog albedo. Deze eigenschap reduceert het warmte-eiland effect door het weerkaatsen van zonnestraling (Q^*). Men kan beton, asfalt of baksteen voorzien van een coating met een hoge albedo-waarde om dit principe uit te nutten.

In het algemeen geldt, des meer verharding, des te groter het warmte-eiland effect. Nadat een oppervlakte eenmaal verhard is, kan de albedo vaak verhoogd worden. Dat helpt het warmte-eiland effect terug te dringen.

d.7 Verkeersruimte

Verkeersruimte is verhard oppervlak. Anders dan bij gebouwen veroorzaakt verkeersruimte geen schaduw en kent het een hoge sky-view factor. Dat maakt dat verkeersruimte overdag sneller opwarmt. Het geeft 's nachts die warmte ook weer makkelijker af aan zijn bebouwde omgeving.

d.8 Gebouwschil

De gebouwschil is de interface tussen binnen- en buitenklimaat en is bepalend voor zowel de blootstelling van gebouwen aan de straling van de zon, als voor de blootstelling van het gebouwvolume aan de omgeving en het hemelgewelf. Vergelijk het zowel met een zonnecollector, als met een radiator.

Overdag bepaalt de gebouwschil hoeveel zonnestraling ontvangen wordt. 's Nachts is de oppervlakte bepalend voor de warmteafgifte (ΔQS). Overdag is weinig gebouwschil gunstig. 's Nachts zou veel gebouwschil beter zijn onder de voorwaarde van een gunstige sky-view factor.

Wind

Wind heeft het vermogen om warmte af te voeren (ΔQA). Gegevens over de gemiddelde windsnelheid is echter grofkorrelig. Modellen van het KNMI berekenen de gemiddelde windsnelheid voor gridcellen van 2,5 bij 2,5 kilometer. Dat is te grof voor dit onderzoek. In principe geldt: des te meer wind, des te sneller bebouwing afkoelt 's nachts, aangenomen dat de wind koeler is dan de stedelijke omgeving. Wind wordt gereduceerd door bebouwing.

Nabijheid

Tevens is verkend in hoeverre de nabijheid van Haven Amsterdam, Amsterdam Airport Schiphol, het Groene Hart, Waterland, het Markermeer, en de stadsrand van Amsterdam van invloed zijn op de temperatuur in de stad. Geen verband van betekenis is vastgesteld.

d.1 Schaduw

inhoud Schaduwwerking midden juli. Schaduwwerking door vegetatie is meegenomen in de analyse.

waardes 0 - 600, 0 = geen schaduw. 600 = maximale schaduw.

methode De schaduwwerking is berekend tot 12:30 uur in de ochtend, het moment dat de Landsat 5 satelliet opnames maakt boven Amsterdam.

software ArcGIS, hill shade.

data Actueel Hoogtebestand Nederland 2 (AHN 2), Rijkswaterstaat (RWS).

legenda  0 500



d.2 Sky-view factor

inhoud Sky-view factor geeft de mate aan waarin het (dak)oppervlak blootgesteld is aan het hemelgewelf.

waardes 0-1, 0 = geen blootstelling, 1 = volledige blootstelling.

methode De sky-view factor is berekend voor elke gridcel van 0.5 x 0.5 meter, waarbij gebruik gemaakt is van 32 zoekrichtingen en een zoekradius van 100 pixels. Het resultaat is geaggregeerd naar een gemiddelde waarde per ha.

software SVF Computation code (SAV), version 1.11, for ENVI, by Research Centre of the Slovenian Academy of Sciences and Arts.

data Actueel Hoogtebestand Nederland 2 (AHN 2), Rijkswaterstaat (RWS).

legenda  0 1



d.3 Albedo

inhoud De mate van reflectie van het zonlicht door het aard- of stadsoppervlak.

waardes 0-1, 0 = geen reflectie, 1 = maximale reflectie.

methode Albedo is vastgesteld aan de hand van een Landsat 5 beeld waaruit eerst de schaduwwerking is verwijderd. Het Landsat 5 beeld is tevens atmosferisch gecorrigeerd.

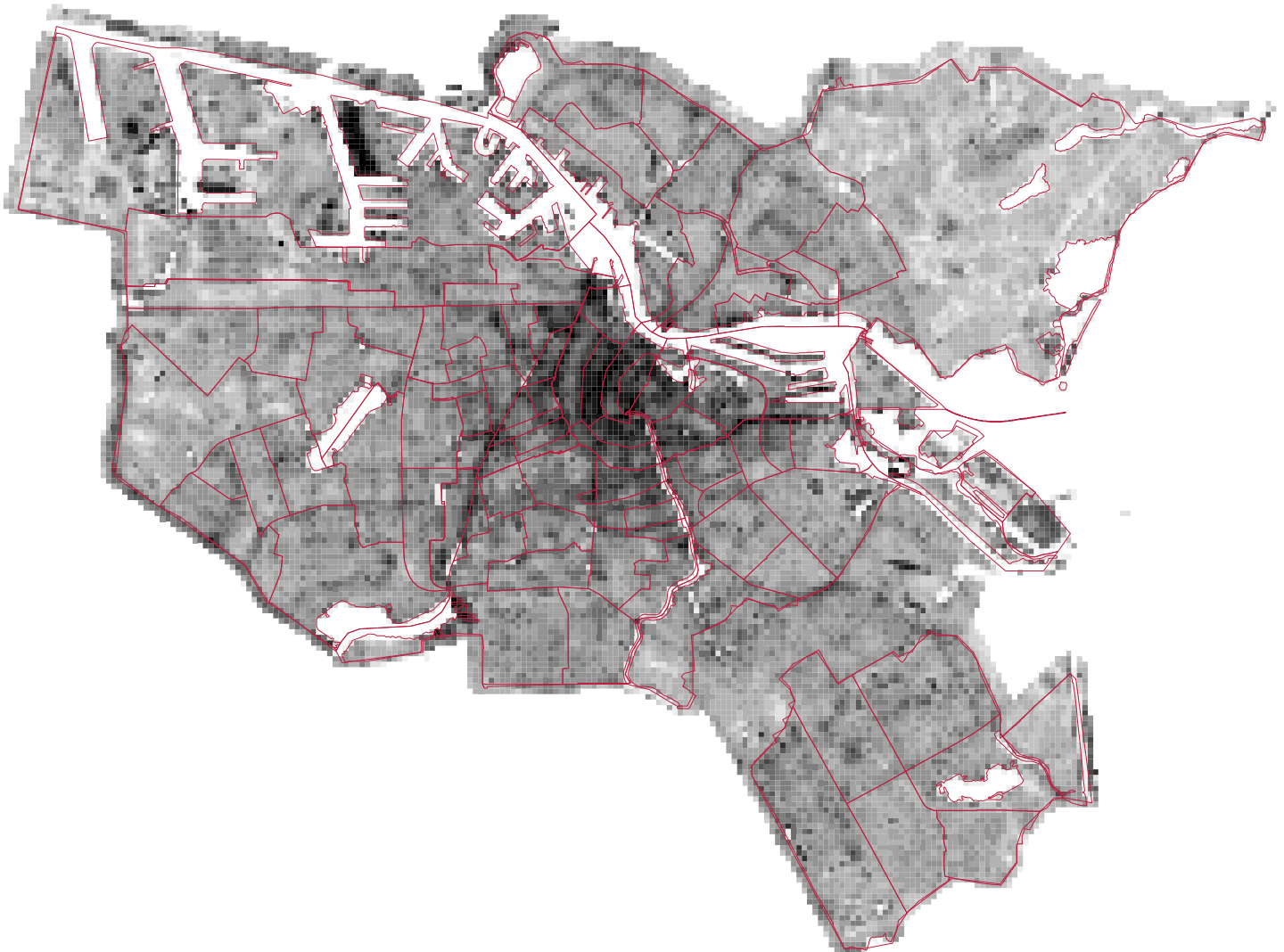
software BEAM-VISAT, ATCOR2, MATLAB, ArcGIS.

data NASA, Landsat 5, 16 juli 2006, 12:32 uur.

legenda



0.0 0.5



d.4 Vegetatie index (NDVI)

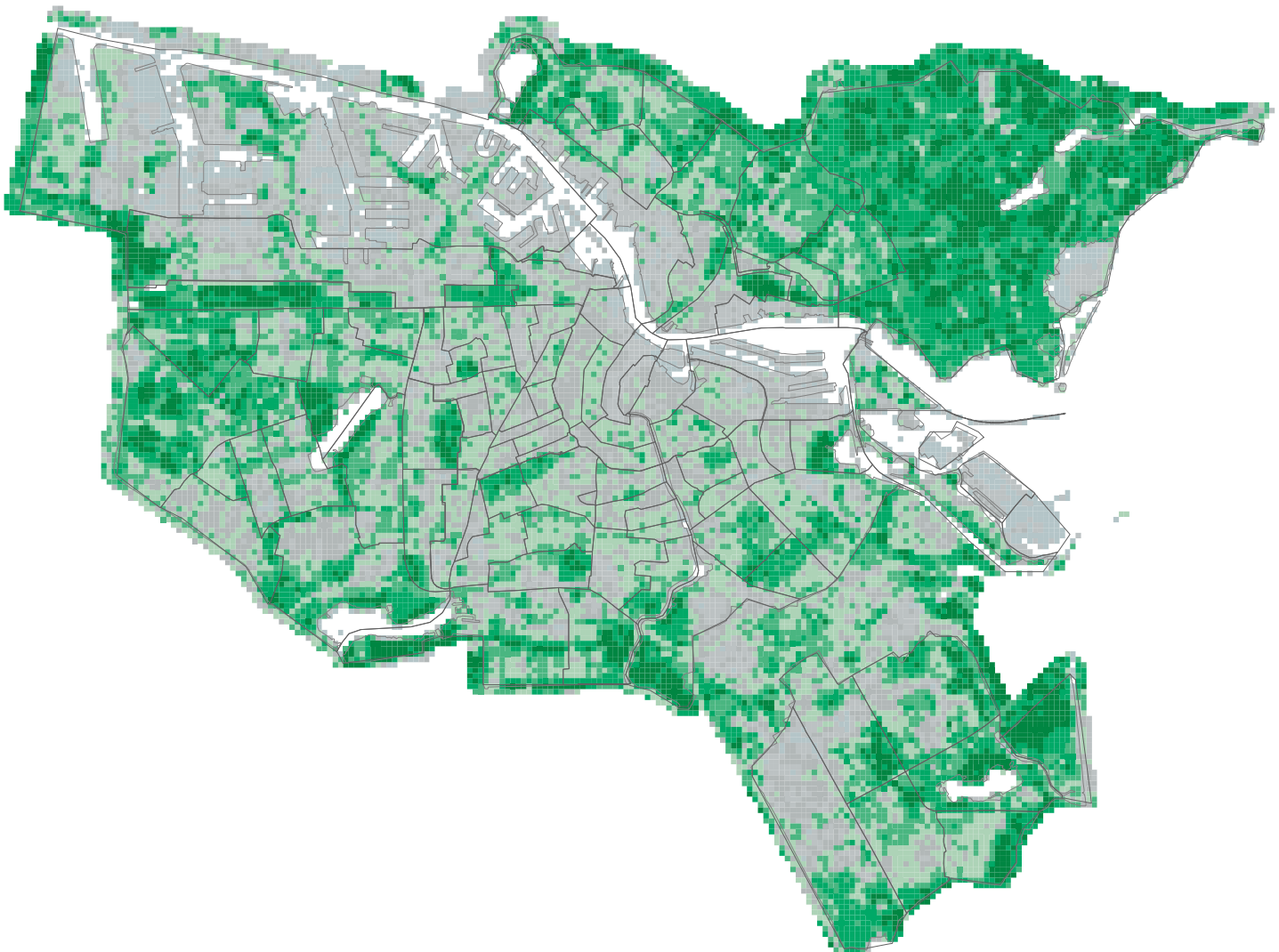
inhoud *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI).*

waardes 0-1, 0 = geen vegetatie, 1 = maximale vegetatie. Waardes zijn geen percentages ruimtegebruik.

methode De NDVI is berekend aan de hand van de formule $(\text{Band 4} - \text{Band 3}) / (\text{Band 4} + \text{Band 3})$. Het Landsat 5 beeld is atmosferisch gecorrigeerd.

software BEAM-VISAT, ATCOR2, MATLAB, ArcGIS.

data NASA, Landsat 5, 16 juli 2006, 12:32 uur.



d.5 Oppervlaktewater

inhoud Percentage oppervlaktewater per hectare.

waardes 0-100%.

methode Binnen ArcGIS is voor elke hectare het percentuele ruimtegebruik bepaald op basis van de TOP 10 kaart.

software ArcGIS.

data TOP 10, Amsterdam.

legenda  1 100



d.6 Verhardingsindex

inhoud Verhardingsindex geeft de mate aan waarin het aardoppervlak bedekt is met stenige materialen of (opgespoten) zand (zie IJburg).

waardes 1-100. 0 = minst verhard, 100 = meest verhard. Waardes zijn geen percentages ruimtegebruik.

methode *Spectral unmixing* is toegepast om de mate van verhard gebied te bepalen. Het Landsat 5 beeld is atmosferisch gecorrigeerd.

software BEAM-VISAT, ATCOR, ArcGIS.

data NASA, Landsat 5, 16 juli 2006, 12:32 uur.

legenda  0 100



d.7 Verkeersruimte

inhoud Percentage verkeersruimte per hectare.

waardes 0-100%.

methode Binnen ArcGIS is voor elke hectare het percentuele ruimtegebruik bepaald op basis van de TOP 10 kaart.

software ArcGIS.

data TOP 10, Amsterdam.

legenda  1 100



d.8 Gebouwschil index

inhoud Vierkante meter gebouwschil per hectare.

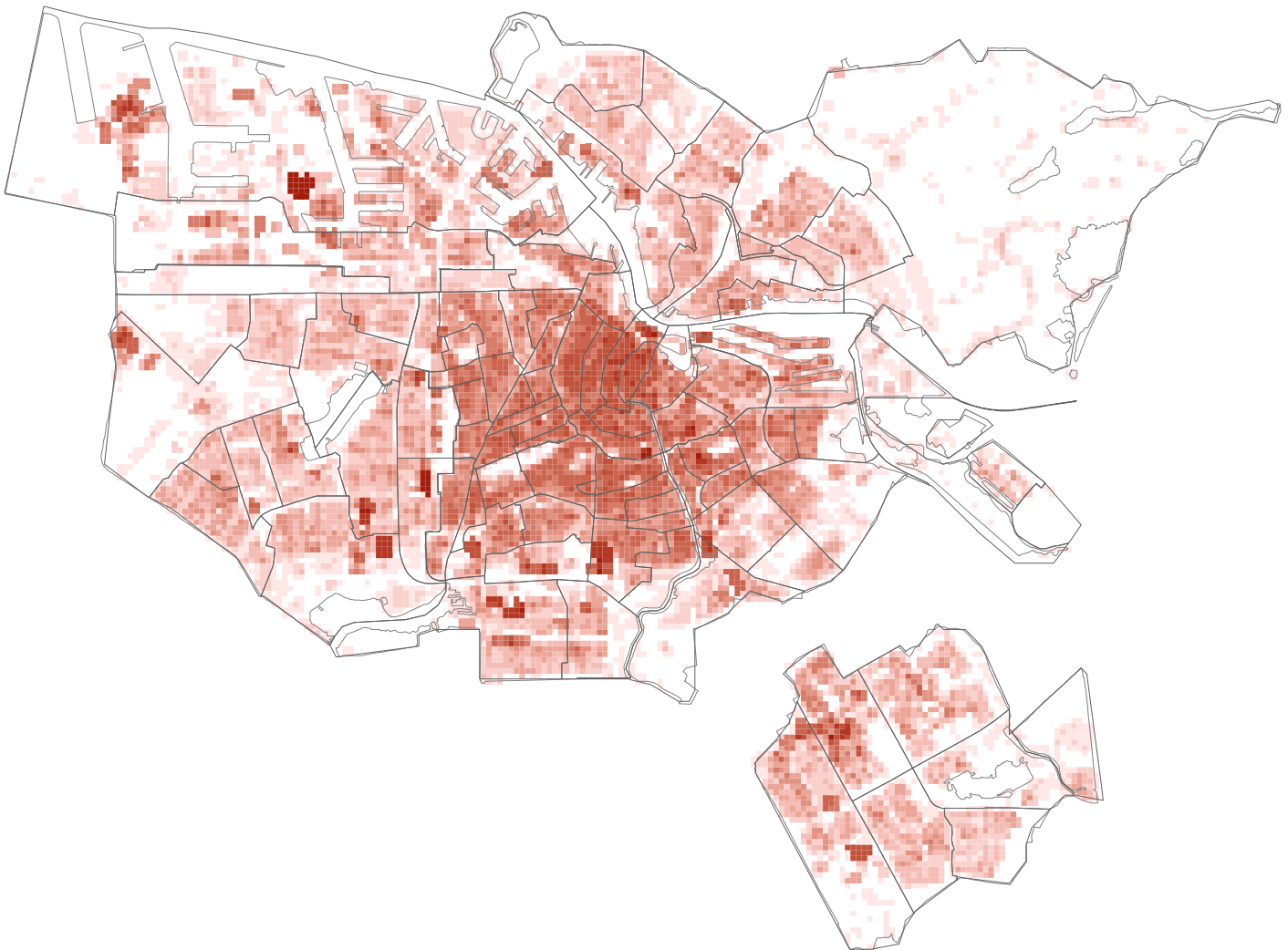
waarden Vierkante meters.

methode Aan de hand van een 3D-model van de stad Amsterdam is de oppervlakte van de buitenkant van de bebouwing berekend per hectare.

software ArcGIS.

data BAG; Kadaster; Nederland; Basisregistraties; Actueel Hoogtebestand Nederland (AHN 2) Rijkswaterstaat (RWS).

legenda 
laag hoog



e. Energielabels, leefbaarheid, inwoners en werkenden

Wanneer het warm is in de stad, wanneer een woning snel opwarmt omdat het een energielabel G heeft, wanneer de betreffende buurt laag scoort op de Leefbaarometer, dan is het nog niet gezegd dat alle bewoners in gelijke mate hinder of problemen ondervinden van het stedelijk warmte-eiland. Veel hangt af van wie er in die buurt woont of werkt.

e.1 Energielabels gebouwen

De mate waarin de schil van een gebouw warmte doorlaat speelt een rol van betekenis bij de problemen die optreden rond het stedelijk warmte-eiland. Een goede indicator voor dit aspect zijn de energielabels van gebouwen. Een bestand van meer dan 150.000 energielabels was beschikbaar voor Amsterdam.

e.2 Leefbaarheid, Leefbaarometer

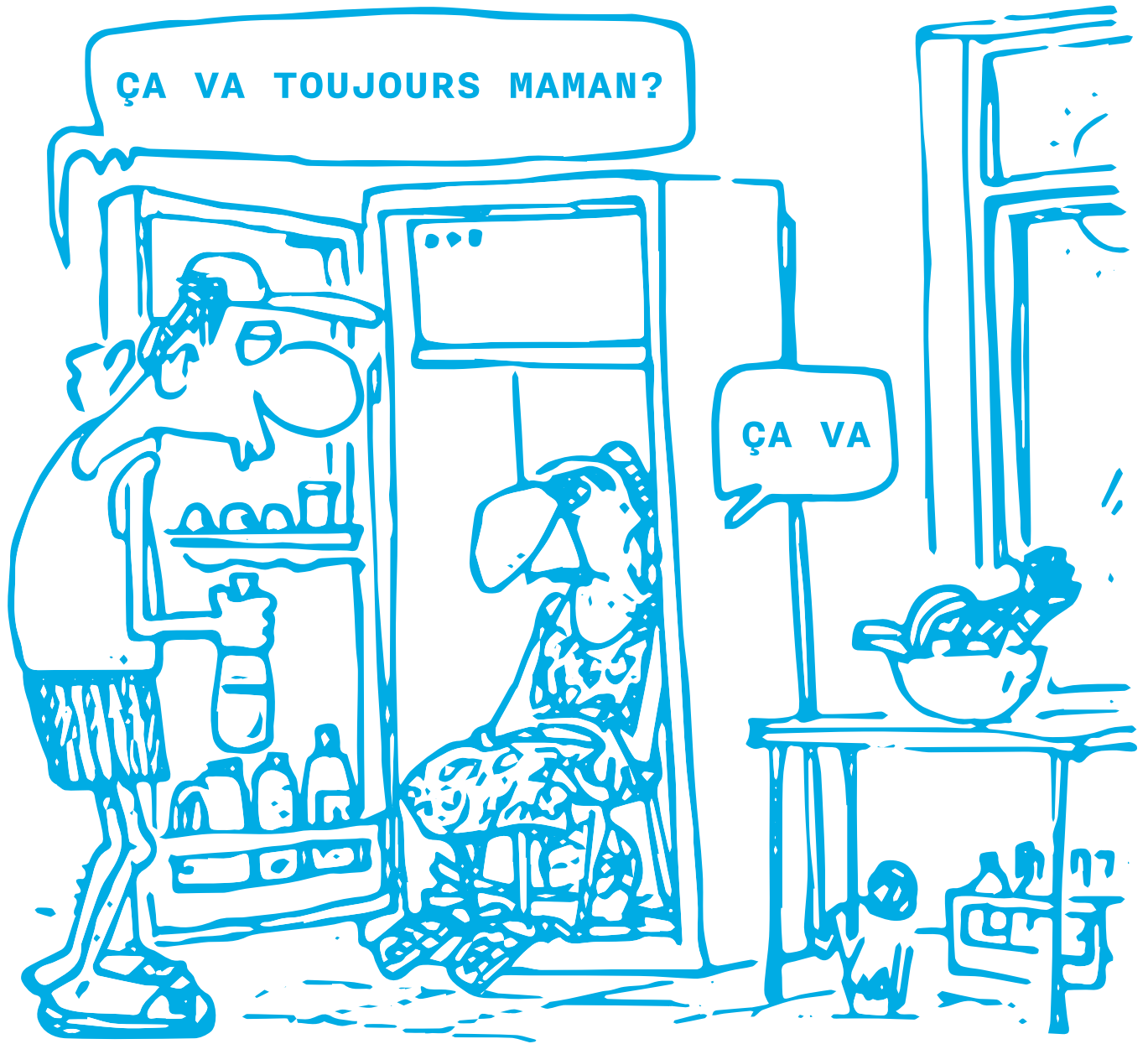
Ook de buurt waarin we wonen is van invloed. Gezondheidsdeskundigen geven aan dat bewoners in buurten met een geringe leefbaarheid, eerder gezondheidsproblemen vertonen dan inwoners in buurten met een hoge mate van leefbaarheid. De index die door het Ministerie van BZK onderhouden wordt, is daarbij een goede indicator: de zogenaamde Leefbaarometer, zie ook www.leefbaarometer.nl.

e.3 75-plussers

Bijzondere aandacht dient uit te gaan naar ouderen (mensen die 75 jaar oud zijn of ouder). Zij hebben doorgaans een verminderde warmte-sensatie. Deze groep is goed in kaart te brengen op basis van gegevens uit de gemeentelijke basisadministratie persoonsgegevens.

e.4 Werkplekken

De groep werkenden is om een andere reden interessant. Werkgebouwen met een niet zo best energielabel hebben meer koeling nodig. Door de plekken met relatief veel werkenden in kaart te brengen, kunnen we ons een beeld vormen waar mogelijk veel energie gebruikt wordt door airconditioners en andere installaties. Dit zijn eveneens gebieden waar een zogenaamd koude-net diensten kan verlenen.



e.1 Energielabels

inhoud Gemiddelde van de energielabels van gebouwen per hectare.

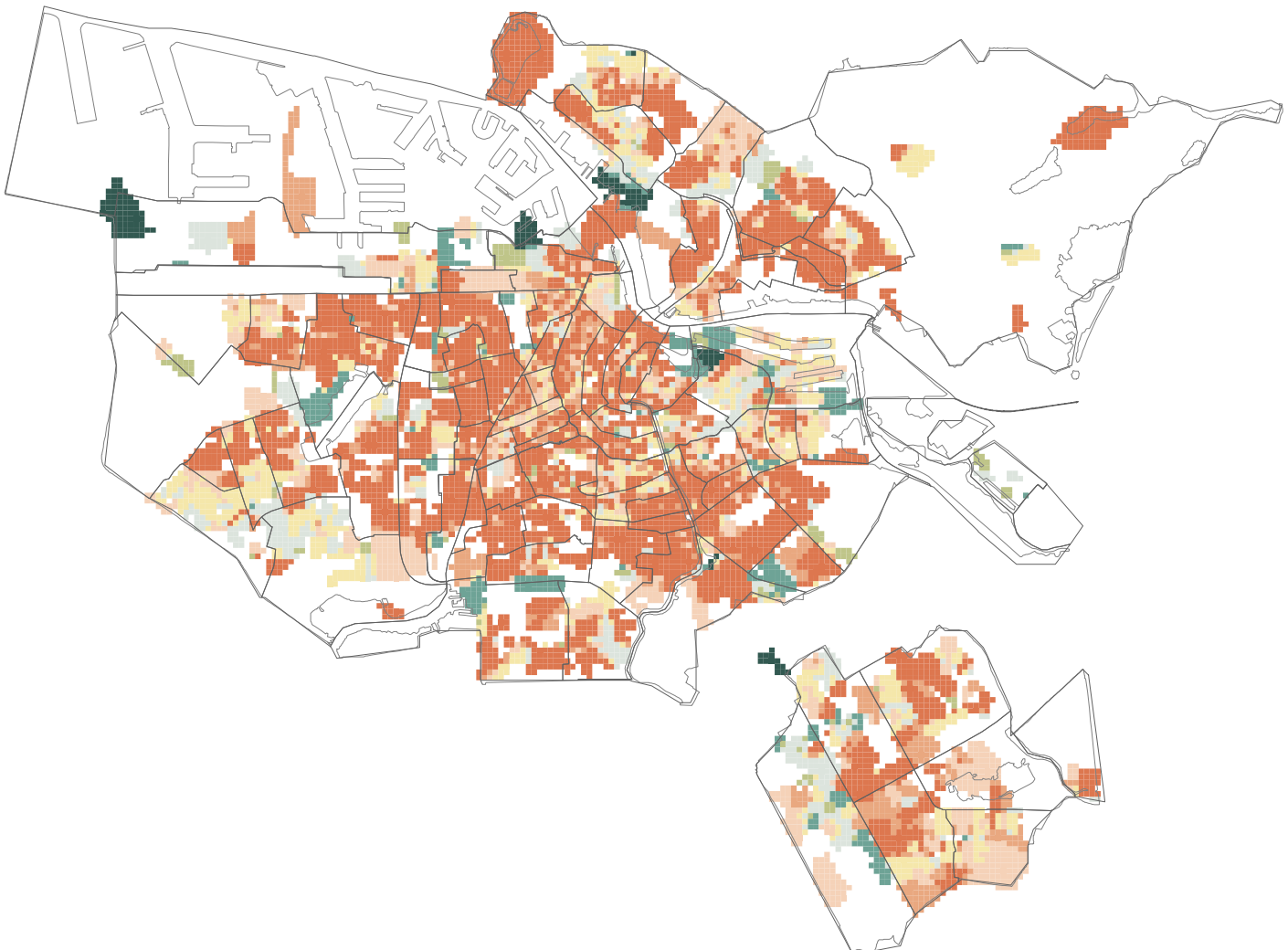
waardes A+, A, B, C, D, E, F, G.

methode EU standaard.

software ArcGIS.

data Agentschap NL. De energielabels zijn aangeleverd op postcode 6 niveau. Op basis van de 150.000 labels ontstaat echter nog geen dekkend beeld. Aan de hand van interpolatie via de Inverse Distance Weighted (IDW) methode is het beeld aangepast.

legenda



e.2 Leefbaarheid

inhoud Score op de Leefbaarometer van het Ministerie van BZK, 2008.

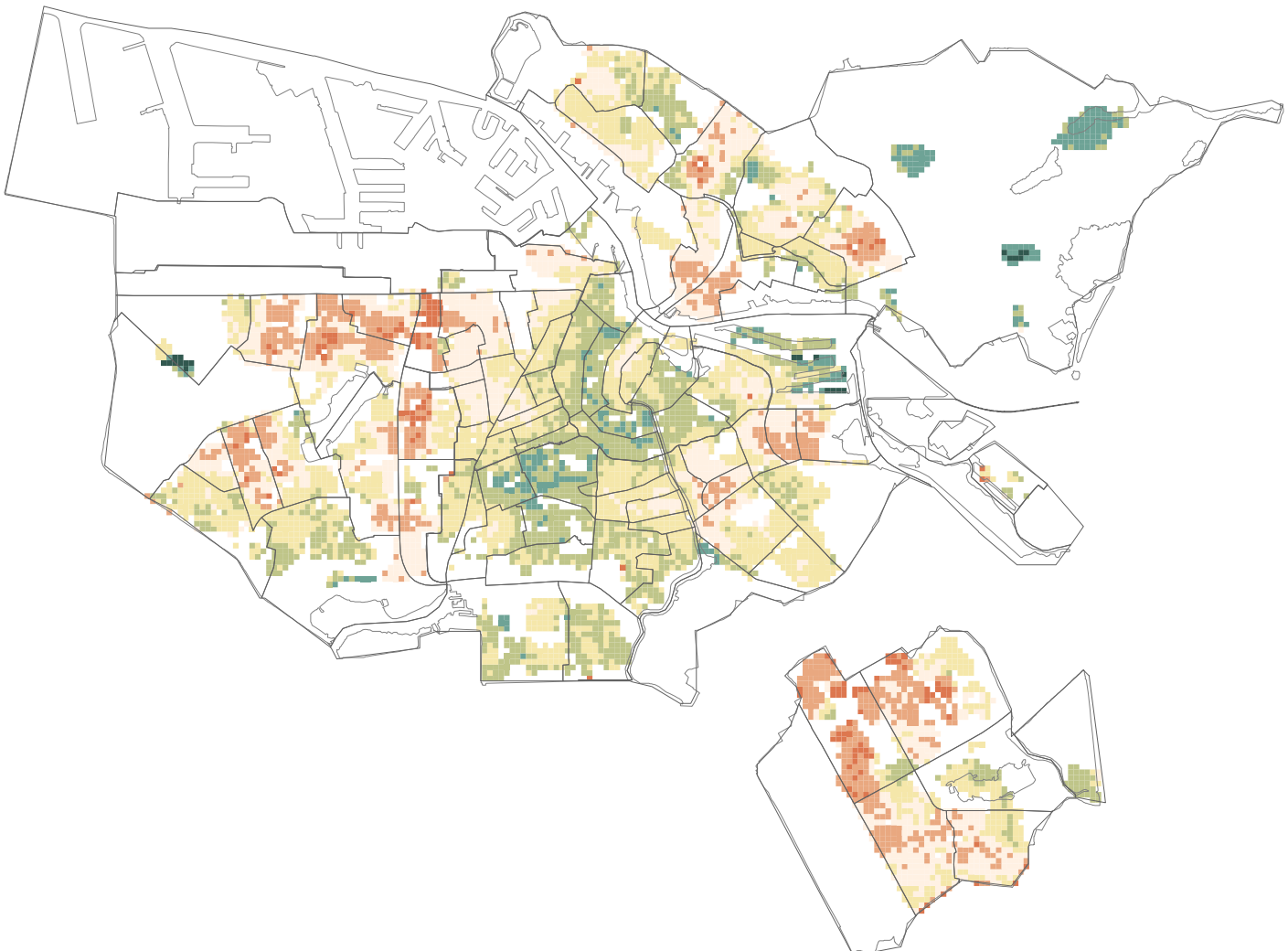
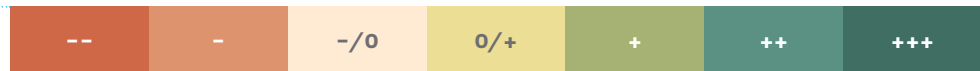
waarden Zeer negatief (--), Negatief (-), Matig negatief (-/0), Matig positief (0/+), Positief (+), Zeer positief (++), Uiterst positief (+++).

methode De Leefbaarometer is gebaseerd op 49 indicatoren: www.leefbaarometer.nl

software ArcGIS.

data Ministerie van BZK. Gegevens zijn aangeleverd op een (met oog op privacy) aangepast postcode 6 nivo.

legenda



e.3 75-plussers

inhoud Inwoners van 75 jaar of ouder per hectare.

waardes Absolute aantallen.

methode -

software ArcGIS.

data Gemeentelijke basisadministratie persoonsgegevens.



e.4 Werkenden

inhoud Werkenden per hectare in de gemeente Amsterdam.

waardes Absolute aantallen.

methode -

software ArcGIS.

data Gemeente Amsterdam, dRO.



f. Clustering

De eigenschappen die een rol spelen bij het warmte-eiland overdag (oppervlaktetemperatuur) zijn in de vorige paragraaf in beeld gebracht.

Er bestaat een zekere samenhang tussen die indicatoren. Ze komen niet in willekeurige samenstellingen voor op een enkele hectare Amsterdam. Bebouwing (gebouwschil index) gaat bijvoorbeeld niet samen met oppervlaktewater. Verhard gebied en verkeersruimte komen daarentegen wel vaak samen voor.

Cluster-analyses zijn uitgevoerd om dergelijke verbanden vast te stellen. Door dit clusteren worden de typologieën verkregen. De resultaten van deze analyses zijn weergegeven op de volgende bladzijden. Elk van die typologieën heeft een korte aanduiding en een kleur gekregen.

In de tabel is een overzicht gegeven van de gemiddelde waarde per hectare per aspect.

f.1 Ruimtegebruik

Allereerst kijken we naar de samenhang tussen de gebouwde omgeving en de oppervlaktetemperatuur overdag. Deze clusters geven een beeld van de mate waarin de stad zelf oorzaak is van het warmte-eiland. Waar kan een organisatie als de dRO op sturen? Indicatoren die overdag bepalend zijn voor de oppervlaktetemperatuur zijn verhardingsindex, groen (NDVI), water, verkeersruimte, gebouwschil en schaduw.

f.2 Kwetsbaarheid bewoners

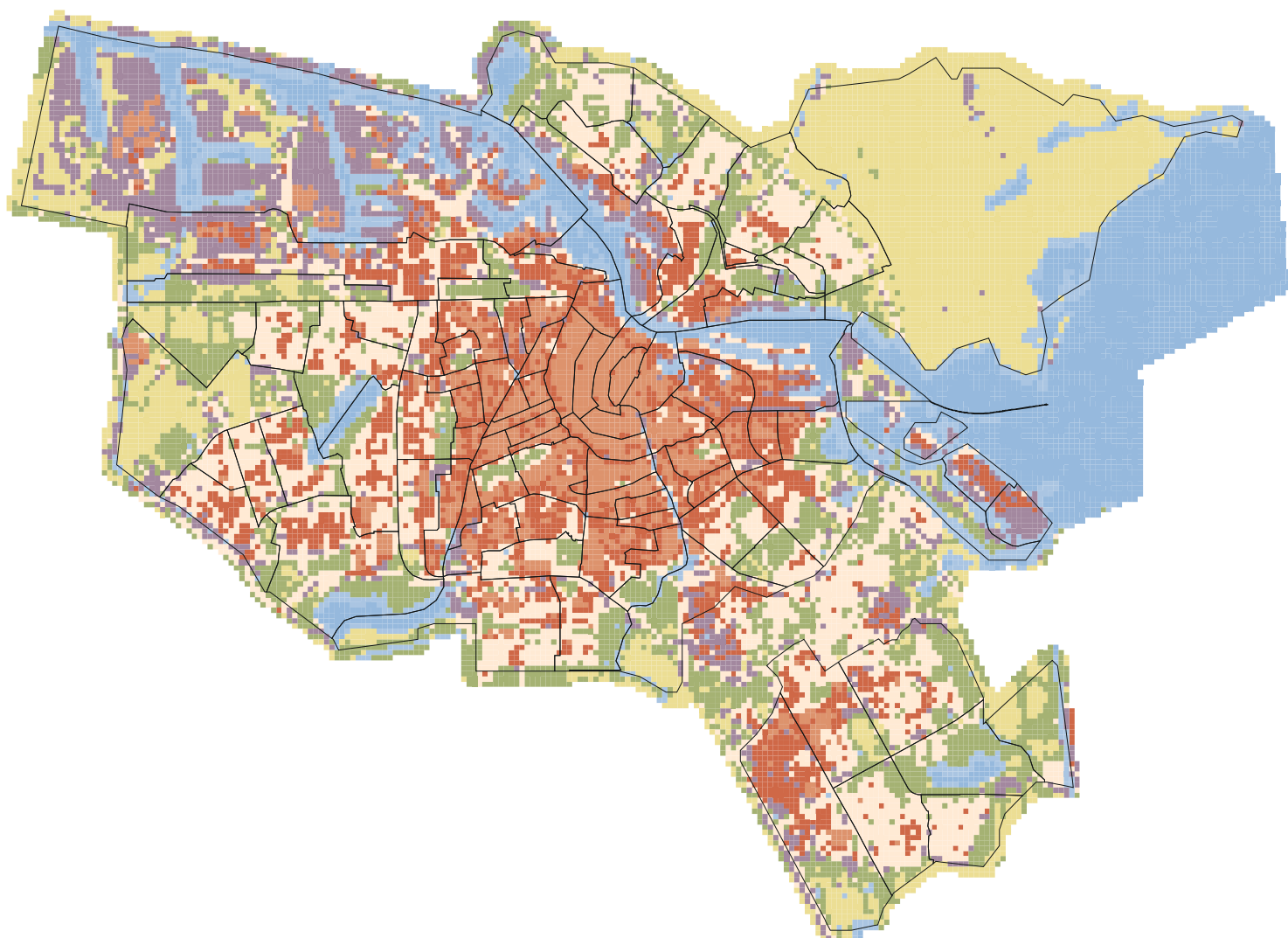
Concentraties van kwetsbare bewoners (75-plussers) zijn weergegeven in relatie tot oppervlaktetemperatuur, leefbaarheid en energielabel. Deze kaart geeft een goede indicatie waar vanuit gezondheidsoptiek prioriteiten liggen.

f.3 Energie-efficiëntie werkplek

Tenslotte zijn de hectares die gekenmerkt worden door relatief hoge concentraties werkenden, geclusterd met de oppervlaktetemperatuur en de gemiddelde energielabels. Deze kaart geeft aan in welke delen van de stad onevenredig veel energie nodig is om werkplekken te koelen.

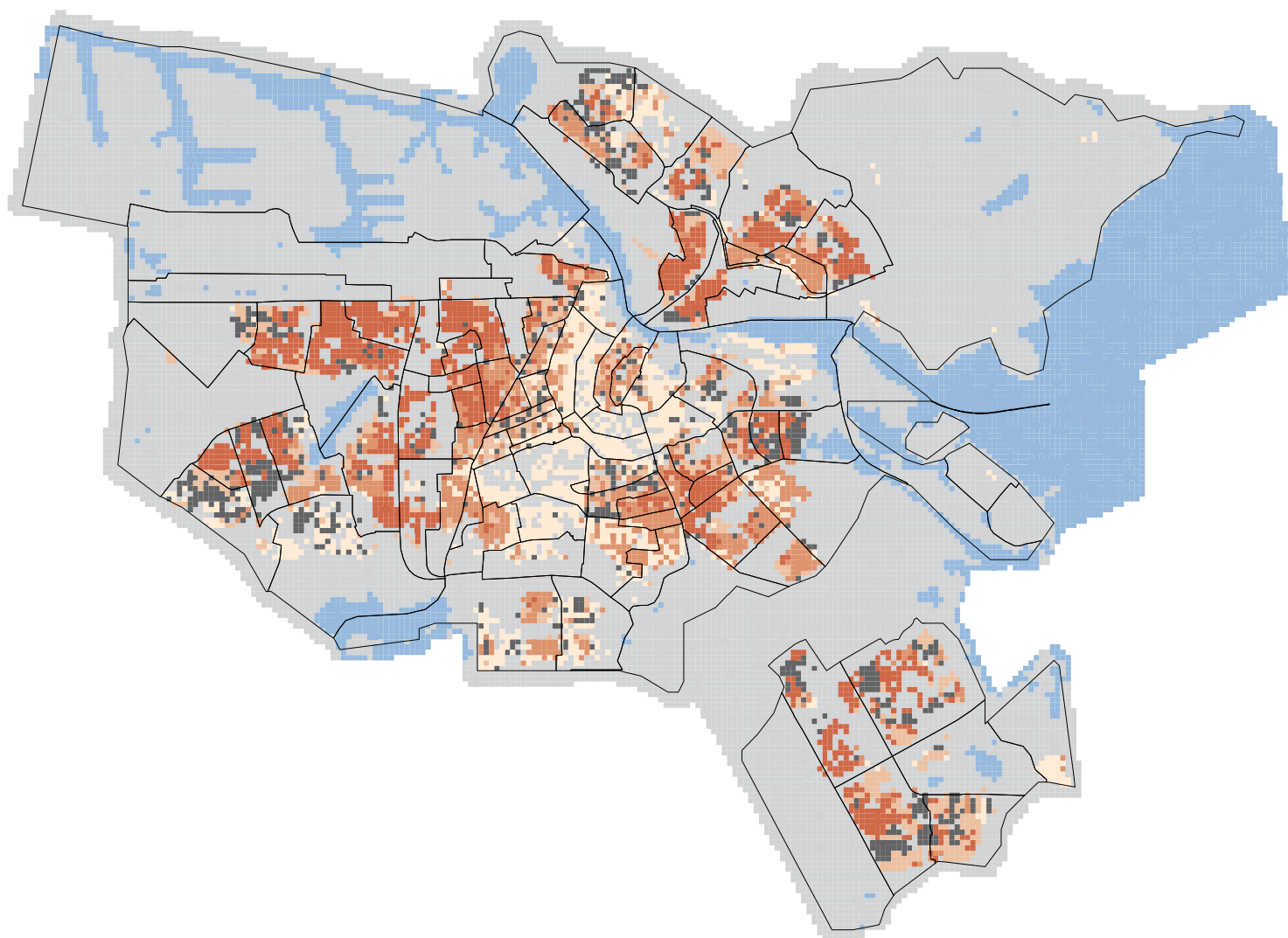
f.1 Typologie ruimtegebruik

	Satellietbeeld			Gemeente GIS		3D-model	
	Warmte- eiland LST	Verhar- dings- index 0-100	Vegeta- tie in- dex 0-1	% Oppervlakte water	% Ver- keersop- pervlak	Gebouw- schil index	Schaduw 0-600
warmst	10°C	52	0.4	5%	49%	1.8	281
warmer	9°C	56	0.4	6%	30%	4.9	321
heet	9°C	50	0.3	14%	9%	0.4	148
warm	7°C	33	0.5	5%	37%	0.9	278
koel	3°C	18	0.7	11%	15%	0.2	293
koeler	2°C	11	0.7	7%	3%	0.0	30
koelst	0°C	19	0.3	72%	4%	0.1	76
fris	-5°C	2	0.0	98%	0%	0.0	9



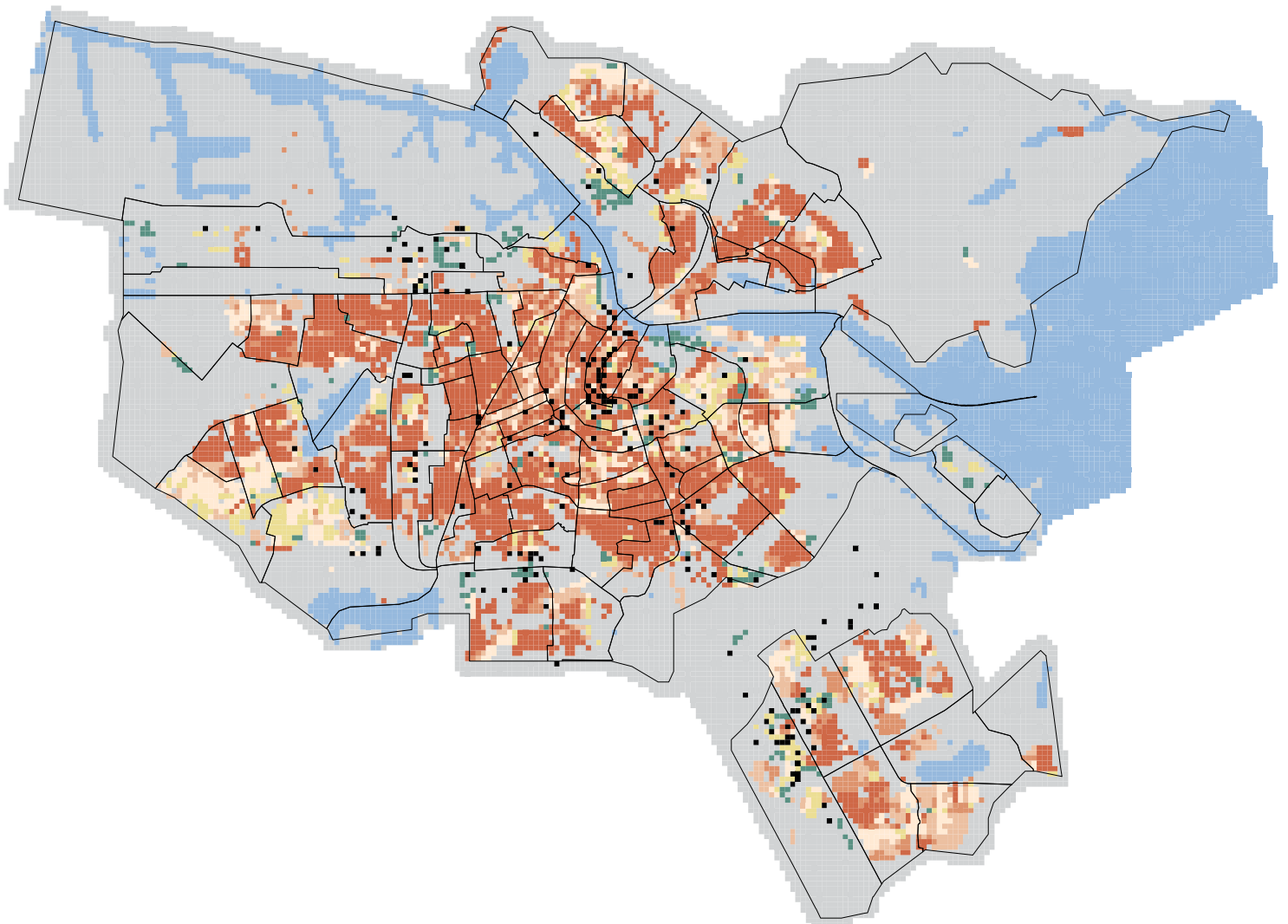
f.2 Typologie kwetsbaarheid bewoners

	Warmte-eiland oppervlakte-temperatuur	Leefbaarheid	Gemiddeld energielabel	75+ers/ha
kwetsbaarst	8 C°	matig positief	D	18.3
kwetsbaarder	8 C°	matig	G	5.0
kwetsbaar	8 C°	matig positief	G	6.5
matig kwetsbaar	8 C°	matig positief	E	4.6
matig kwetsbaar	7 C°	positief	G	4.5
overig	-	-	-	< 1.5
water	-6 C°	-	-	0



f.3 Typologie energie-efficiëntie werkplek

	Warmte-eiland oppervlakte-temperatuur	Gemiddeld energielabel	Werkenden/ha
zeer inefficiënt	9 C°	G	1058
inefficiënt	8 C°	G	43
inefficiënt	8 C°	F	53
weinig efficiënt	8 C°	E	48
weinig efficiënt	8 C°	D	48
matig efficiënt	8 C°	C	45
efficiënt	8 C°	A	90



g. Verband oppervlaktetemperatuur en ruimtegebruik

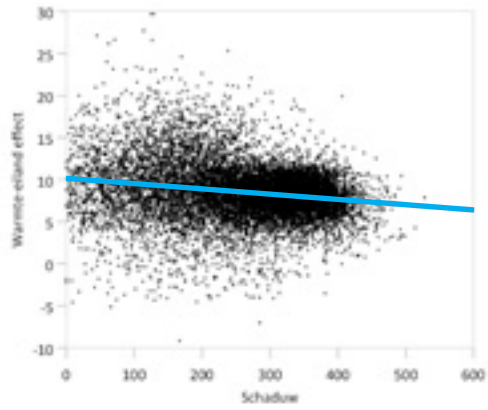
In deze paragraaf wordt het verband vastgesteld tussen de oppervlaktetemperatuur en het ruimtegebruik.

De scatterplots op de rechter pagina geven met zwarte stippen alle hectares weer in het stedelijk gebied van Amsterdam: ruimtegebruik types: 'warm', 'warmer', 'heet' en 'warmst'. Parken, weidegebieden en wateroppervlaktes zijn nadrukkelijk niet meegenomen. Horizontaal is de indicator ruimtegebruik weergegeven, verticaal het warmte-eiland effect in graden Celsius. Het lineaire verband tussen beide is bepaald en weergegeven met de blauwe lijn. Des te steiler de lijn, des te groter het verband met de oppervlaktetemperatuur. Een dalende lijn geeft een verkoelend effect weer, een stijgende lijn geeft een opwarmend effect aan. In de onderstaande tabel zijn de indicatoren ruimtegebruik elk weergegeven met de bijbehorende minimum en maximumwaarde (bijvoorbeeld 0 - 1.0), zoals weergegeven in de scatterplot. In de kolom 'gemiddelde verandering oppervlaktetemperatuur' is de gemiddelde verkoeling of opwarming vermeld tussen de minimum en maximumwaardes. Voorbeeld: het gemiddelde verschil qua oppervlaktetemperatuur tussen geen verharding (0) en geheel verhard (100) bedraagt 11.6 graden Celsius.

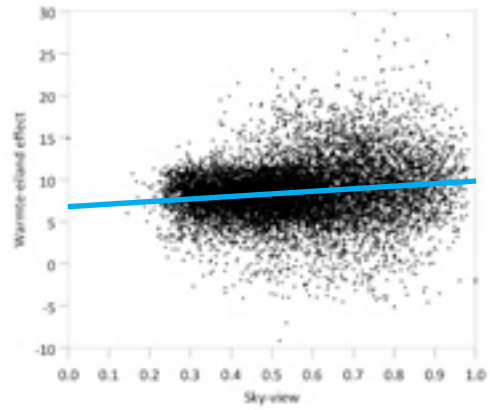
Er zijn twee opvallende resultaten in dit overzicht: albedo en verkeersoppervlak. Het resultaat suggereert dat een hogere albedo gelijk opgaat met een hogere oppervlaktetemperatuur, terwijl meer verkeersoppervlak verkoelend werkt. Beide aspecten worden apart behandeld.

Verband oppervlaktetemperatuur - ruimtegebruik

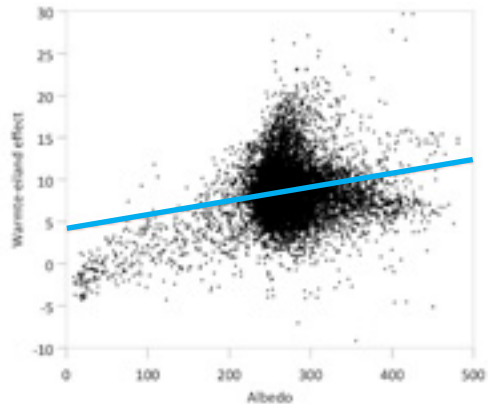
indicator ruimtegebruik	minimum/maximumwaarde	gemiddelde verandering oppervlaktetemperatuur
Schaduw	0 - 600	-3.6°C
Sky-view	0 - 1.0	-3.0°C
Albedo	0 - 0.5	8.2°C
Vegetatie (NDVI)	0 - 1.0	-5.3°C
Oppervlaktewater	0 - 100%	3.3°C
Verharding	0 - 100	11.6°C
Verkeersoppervlak	0 - 100%	-1.0°C
Gebouwschil	0 - 120.000	2.0°C



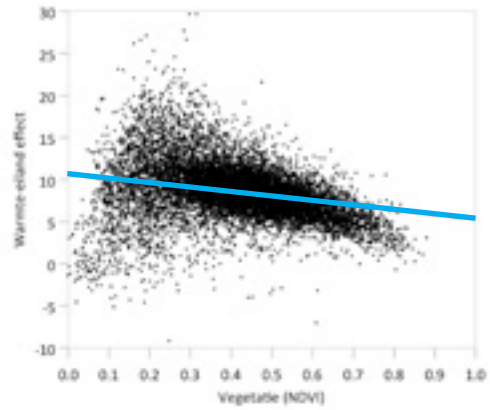
1. Schaduw



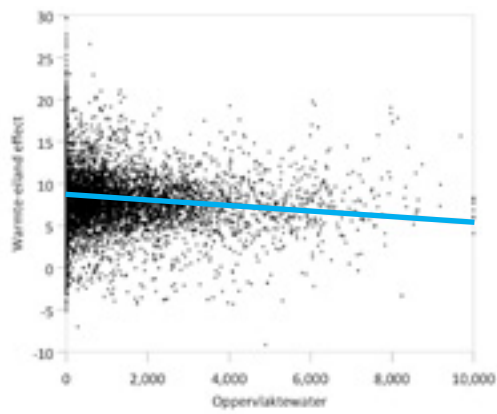
2. Sky-view



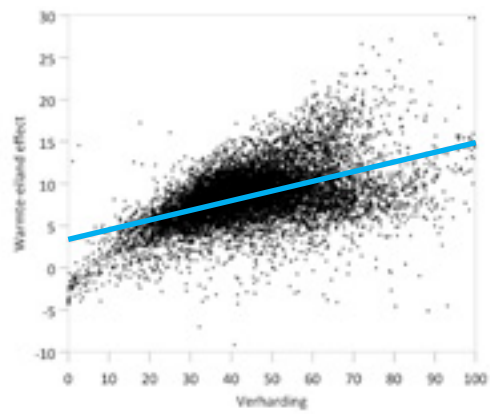
3. Albedo



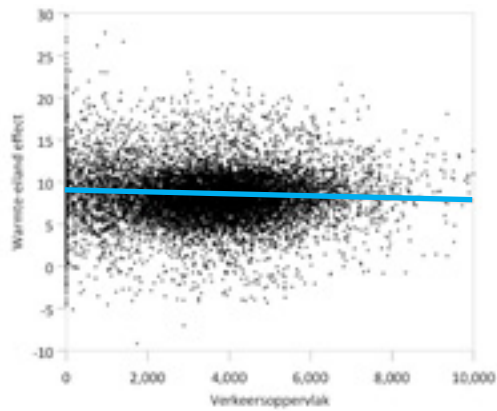
4. Vegetatie (NDVI)



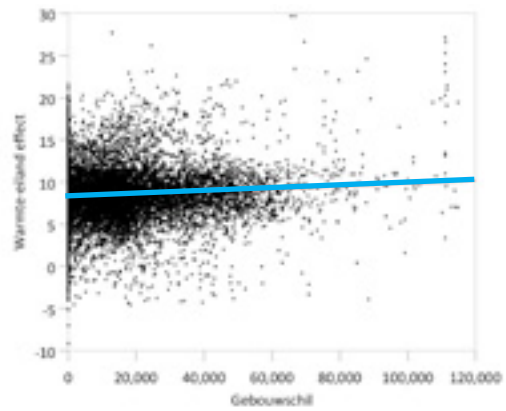
5. Oppervlaktewater



6. Verharding



7. Verkeersruimte



8. Gebouwschil

Verkeersoppervlak

Ruimte die in het GIS van de gemeente Amsterdam te boek staat als verkeersoppervlak werkt licht verkoelend in het stedelijk gebied. Een verklaring hiervoor is dat veel van de verkeersruimte afgedekt wordt door boomkruinen en daarmee groene eigenschappen heeft.

Albedo

Het onverwachte verband tussen albedo en oppervlaktetemperatuur vormt de aanleiding om nader te kijken naar de verbanden per type ruimtegebruik. Rechts zijn dezelfde scatterplots weergegeven als op de vorige bladzijde. De stippen (hectares) zijn nu gekleurd om de vier stedelijke types ruimtegebruik aan te duiden.

legenda

warmst

warmer

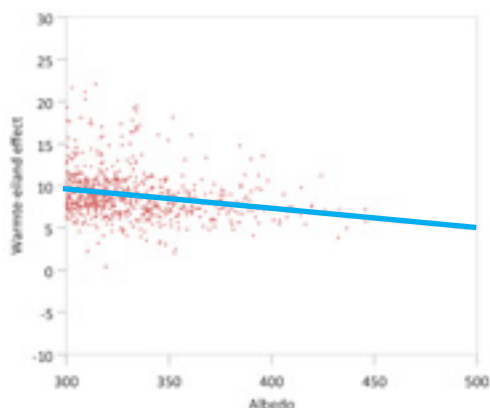
heet

warm

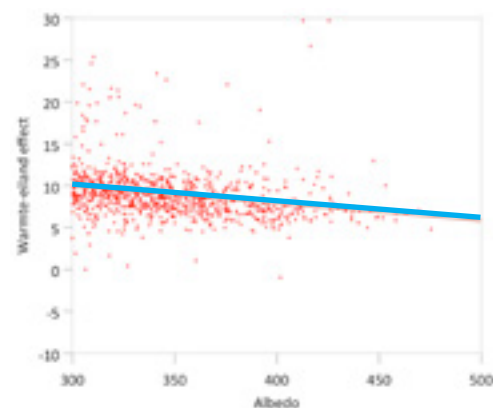
De types 'warmst' en 'warmer' onderscheiden zich met relatief hoge albedo waarden. Dit zijn tevens de meest verdichte types ruimtegebruik. Voor beide types is het verband tussen albedo en oppervlaktetemperatuur nader onderzocht voor de albedo-waarden gelijk aan 0.3 of hoger. De resultaten zijn onderstaand weergegeven. Een stijging van de albedo-waarde van 0.3 tot 0.5 komt overeen met een daling van de oppervlaktetemperatuur van 4.6 graad Celsius in type 'warmst' en 4.0 graad Celsius in type 'warmer'. De resultaten suggereren dat het verhogen van albedo een effectief element is in een adaptatie-strategie, passend bij een verdichtingsopgave. Een overzicht waar in Amsterdam albedo ≥ 0.3 optreedt, is weergegeven in kaart g.1

Verband oppervlaktetemperatuur - ruimtegebruik

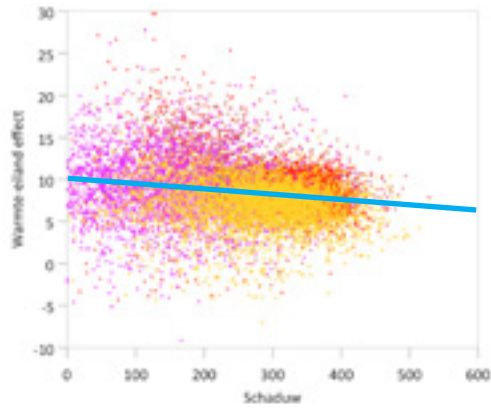
indicator ruimtegebruik	minimum/maximumwaarde	gemiddelde verandering oppervlaktetemperatuur
Albedo ≥ 0.3 'warmst'	0.3 - 0.5	-4.6 °C
Albedo ≥ 0.3 'warmer'	0.3 - 0.5	-4.0 °C



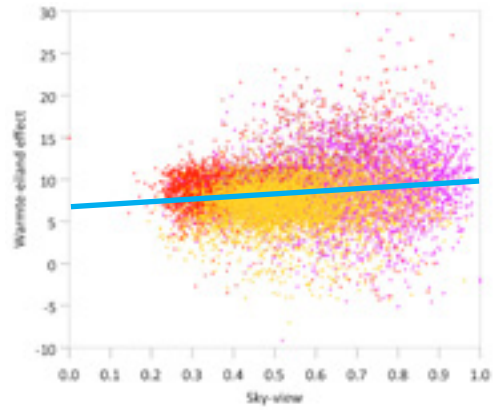
Albedo (≥ 0.3) type 'warmst'



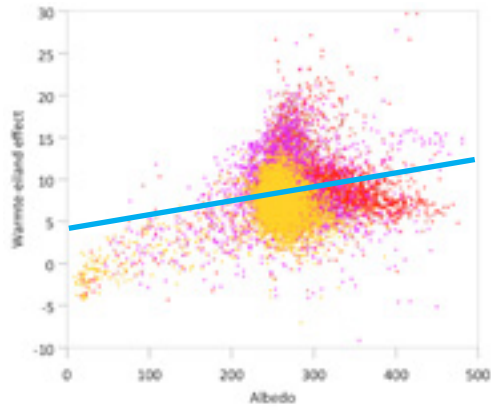
Albedo (≥ 0.3) type 'warmer'



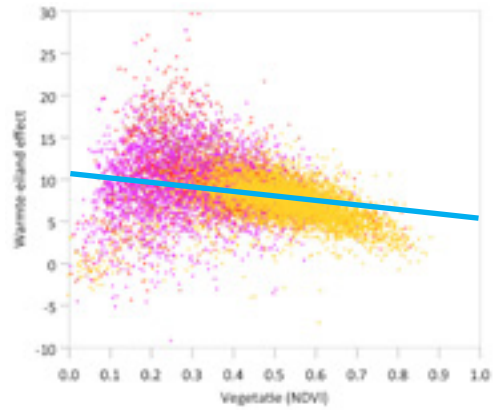
1. Schaduw



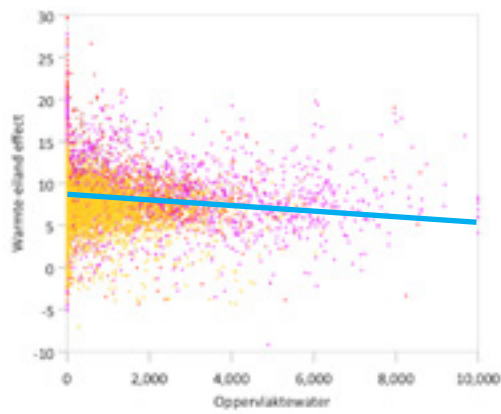
2. Sky-view



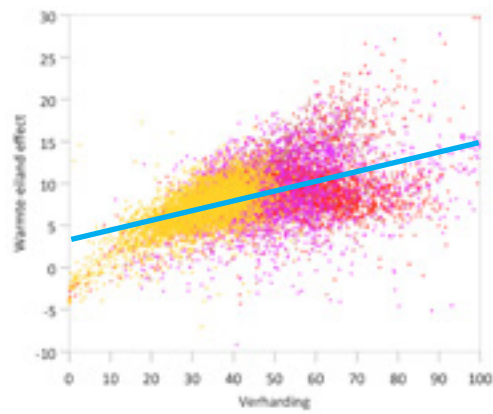
3. Albedo



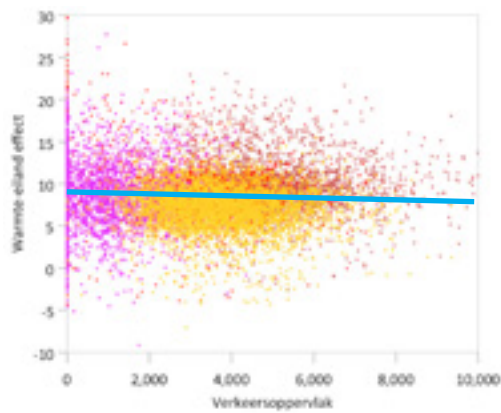
4. Vegetatie (NDVI)



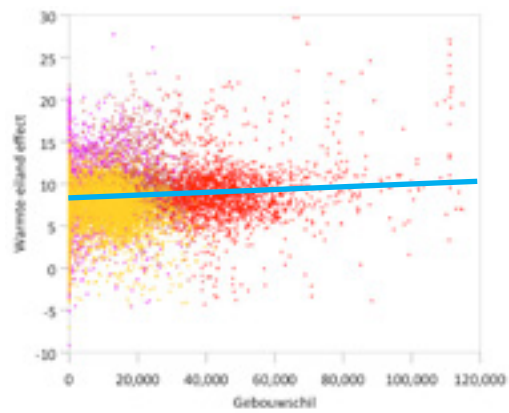
5. Oppervlaktewater



6. Verharding



7. Verkeersruimte



8. Gebouwschil

g.1 Albedo

inhoud De mate van reflectie van het zonlicht door het aard- of stadsoppervlak.

waardes 0-1, 0 = geen reflectie, 1 = maximale reflectie.

methode Albedo is vastgesteld aan de hand van een Landsat 5 beeld waaruit eerst de schaduwwerking is verwijderd. Het Landsat 5 beeld is tevens atmosferisch gecorrigeerd.

software BEAM-VISAT, ATCOR2, MATLAB, ArcGIS.

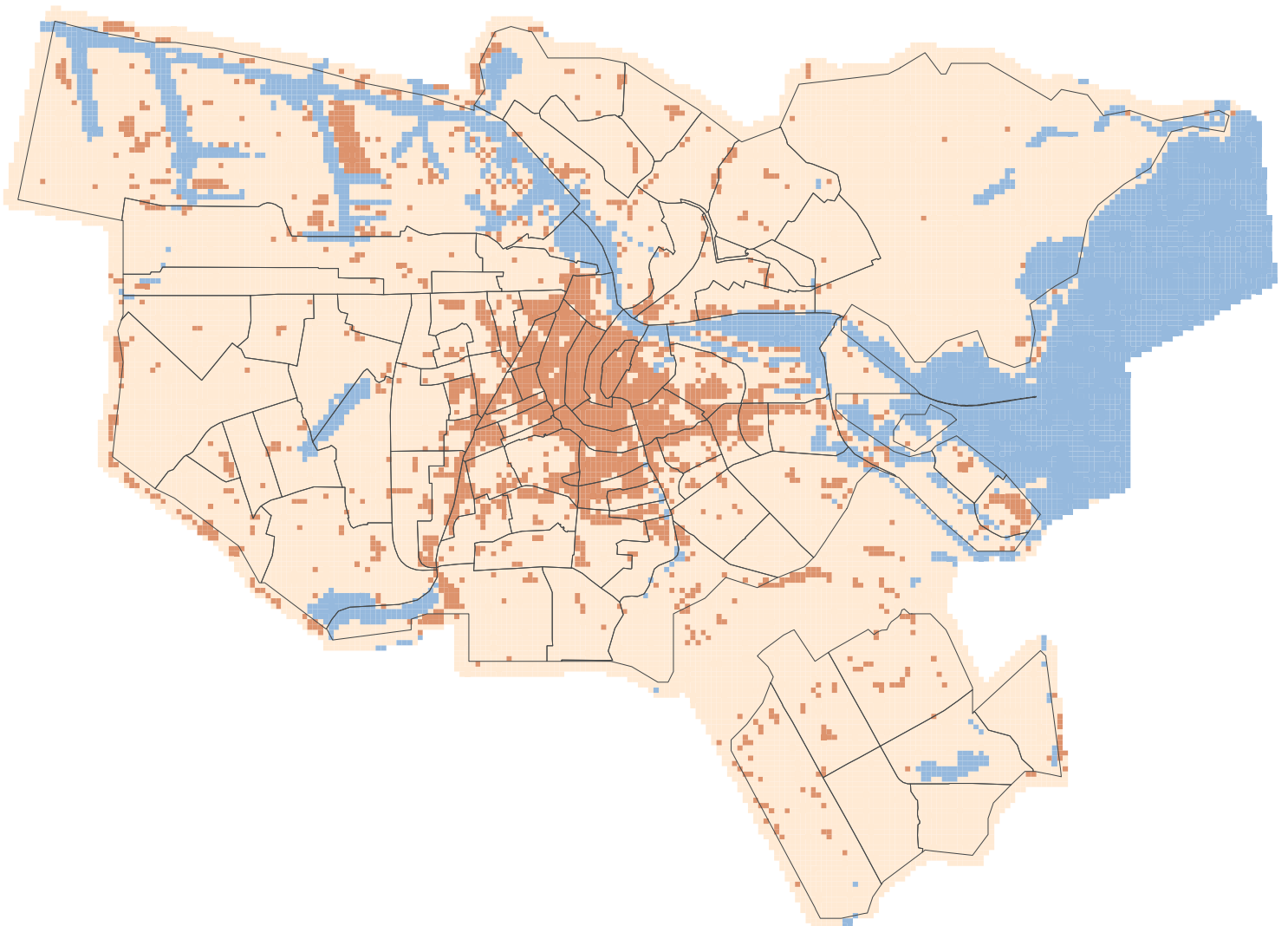
data NASA, Landsat 5, 16 juli 2006, 12:32 uur.

legenda

< 0.1

< 0.3

≥ 0.3



Climate Proof Cities

De Amsterwarm studie is verricht in het kader van het Climate Proof Cities programma. Climate Proof Cities (CPC) is één van de consortia binnen het nationale onderzoeksprogramma Kennis voor Klimaat. Het doel van CPC is het versterken van het aanpassingsvermogen en het verminderen van de kwetsbaarheid van het stedelijke systeem voor klimaatverandering. In samenwerking met diverse stakeholders worden strategieën en beleidsinstrumenten ontwikkeld voor de aanpassing van steden en gebouwen. Onderzoek wordt uitgevoerd binnen de brede context van stedelijke ontwikkeling, die niet alleen beïnvloed wordt door klimaatverandering maar ook door het milieu, sociale en economische ontwikkelingen en het stedelijke bestuursstelsel.

Integraal adaptatie-onderzoek

Vanwege deze brede context is het belangrijk dat er intensieve samenwerking plaatsvindt tussen onderzoekers van verschillende achtergronden. De onderzoekers in het consortium vertegenwoordigen dan ook een verscheidenheid aan disciplines: klimaatwetenschappers, technische wetenschappers, stedenbouwkundigen, bestuurskundigen en ontwerpers. Daarnaast zijn zij afkomstig van diverse onderzoeksinstituten: TNO (consortiumleider), KWR, Universiteit Utrecht, TU Delft, TU Eindhoven, Wageningen Universiteit, Unesco-IHE, Deltares, Universiteit van Amsterdam, Radboud Universiteit Nijmegen, Manchester University, Universität Kassel en Universität Freiburg.

Praktijkcases in steden

Om de bruikbaarheid van de uitkomsten in de praktijk te vergroten werken onderzoekers en eindgebruikers (gemeenten, waterschappen en provincies) nauw met elkaar samen in een aantal praktijkgerichte deelprojecten. Deze cases liggen in verschillende Nederlandse stedelijke gebieden, te weten: Rotterdam, Haaglanden, Amsterdam, Arnhem/Nijmegen, Tilburg en Utrecht.

Het onderzoeksprogramma levert hierdoor geïntegreerde en toepasbare kennis op over de volledige keten van stedelijk klimaat en de impact van klimaatverandering op steden, tot de aansturing die nodig is voor de implementatie van adaptatiemaatregelen. Met deze kennis beoogt CPC weloverwogen besluiten over de noodzaak en de tijdigheid van aanpassingen in de gebouwde omgeving mogelijk te maken.

Literatuur

- Algemene Rekenkamer. (2012). Aanpassing aan klimaatverandering; strategie en beleid [kst-33470-1]. The Hague, waarden: Tweede Kamer.
- Barsi, J. A., Schott, J. R., Palluconi, F. D., Hook, S. J. (2005). Validation of a web-based atmospheric correction tool for single thermal band instruments. In J. J. Butler (ed.), Proc. SPIE 5882, Earth Observing Systems X, 58820E. Bellingham, WA: SPIE. doi: 10.1117/12.619990
- Daniele, V. (2010). Urban planning and design for local climate mitigation. A methodology based on remote sensing and GIS. Paper presented at the 46th ISOCARP Congress 2010, Nairobi, Kenya. Retrieved from http://www.isocarp.net/Data/case_studies/1815.pdf
- Dousset, B., Gourmelon, F., Laaidi, K., Zeghnoun, A., Giraudet, E., Bretin, P., Maurid, E. & Vandentorren, S. (2011). Satellite monitoring of summer heat waves in the Paris metropolitan area. *International Journal of Climatology*, 31(2), 313-323. doi:10.1002/joc.2222
- Dousset, B.; Gourmelon, F. (2003) Surface temperatures of the Paris Basin during summertime, Using satellite remote sensing data. In Proceedings of the 5th International Conference on Urban Climate, Lodz, Poland, September 2003. Retrieved from http://nargeo.geo.uni.lodz.pl/~icuc5/text/O_27A_2.pdf
- Fabrizi, R., Bonafoni, S., Biondi, R. (2010). Satellite and Ground-Based Sensors for the Urban Heat Island Analysis in the City of Rome. *Remote Sensing*. 2010, 2(5), 1400-1415. doi:10.3390/rs2051400
- Greater London Authority. (2006). London's Urban Heat Island: A Summary for Decision Makers. Retrieved from http://legacy.london.gov.uk/mayor/environment/climate-change/docs/UHI_summary_report.pdf
- Harman, I. N. (2003). The energy balance of urban areas. (Doctoral dissertation, The University of Reading, Reading, United Kingdom). Retrieved from <http://www.met.rdg.ac.uk/phdtheses/The%20energy%20balance%20of%20urban%20areas.pdf>
- Houston Advanced Research Center (2009) Dallas urban heat island. Dallas sustainable skylines initiative. Retrieved from <http://files.harc.edu/Projects/DallasUHI/FinalReport.pdf>
- JAM* Architecten & Merosch. (2011). Maxdak. Amsterdam, Netherlands: Programmabureau Klimaat & Energie & Projectbureau Wibaut aan de Amstel.
- Mavrogianni A., Davies M., Batty M., Belcher S.E., Bohnenstengel S.I., Carruthers D., Chalabi Z., (...), Ye Z. (2011) The comfort, energy and health implications of London's urban heat island. *Building Services Engineering Research and Technology*, 32 (1) , pp. 35-52. doi: 10.1177/0143624410394530
- Mavrogianni, A., Davies, M., Chalabi, Z., Wilkinson, P., Kolokotroni, M., & Milner, J. (2009). Space heating demand and heatwave vulnerability: London domestic stock. *Building Research & Information*, 37(5-6), 583-597. doi:10.1080/09613210903162597
- Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. 1982, 108(445), 1-24.
- Rahola, B. S. van Oppen, P., Mulder, K. (2009). Heat in the city. An inventory of knowledge and knowledge deficiencies regarding heat stress in Dutch cities and options for its mitigation. Netherlands, Delft: TU Delft.
- Robine, J. M., Cheung, S. L., Le Roy, S., Van Oyen, H., & Herrmann, F. R. (2007). Report on excess mortality in Europe during summer 2003 (EU Community Action Programme for Public Health, Grant Agreement 2005114). Retrieved from opa.eu/health/ph_projects/2005/action1/docs/action1_2005_a2_15_en.pdf
- SPUR. (2011). Climate change hits home. Adaptation strategies for the San Francisco Bay Area. San Francisco Planning and Urban Research Association, CA. Retrieved from <http://www.spur.org/publications/library/report/climate-change-hits-home>

United States Environmental Protection Agency (2008) Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies. Washington, DC: EPA. Retrieved from <http://www.epa.gov/hiri/resources/compendium.htm>

Van Hove, B., Steeneveld, G.-J., Jacobs, C., Heusinkveld, B., Elbers, J., Holtslag, B. (2011). Quantifying the Urban Heat Island Intensity. Literature review of observational studies and assessment of UHI intensity in the Netherlands. Wageningen, Netherlands: WUR.

Yale Center for Earth Observation. (2010). Converting Landsat TM and ETM+ thermal bands to temperature. Retrieved from http://www.yale.edu/ceo/Documentation/DN_to_Kelvin.pdf

Zakšek, K., Oštir, K., Kokalj, Ž. (2011). Sky-View Factor as a Relief Visualization Technique. Remote Sensing, 3(2), 398-415.

Websites

<http://knowledgeforclimate.climateresearchnetherlands.nl/climateproofcities>

<http://reverb.echo.nasa.gov/>

<http://www.energielabel.nl/woningen>

<http://www.knmi.nl/klimaatscenarios/knmi06/intro/index.html>

<http://www.leefbaarometer.nl>

<http://www.lml.rivm.nl/data/meetnet/index.html>

<http://www.luchtmetingen.amsterdam.nl>

<http://www.luchtmetingen.noord-holland.nl>

<http://www.knmi.nl/klimatologie/>

Data

GIS data met betrekking tot ruimtegebruik zijn verkregen van de gemeente Amsterdam, waaronder gegevens die afgeleid zijn van de TOP 10 Amsterdam en het Algemeen Hoogte Bestand Nederland 2 (AHN-2).

De satellietbeelden die in deze studie gebruikt zijn, zijn afkomstig van NASA (Landsat 5) en ESA (AATSR). De Landsat 5 beelden zijn gedownload van NASA's Reverb/Echo website: <http://reverb.echo.nasa.gov/>. De AATSR beelden van ESA zijn verkregen na de indiening en peer-review van een onderzoeksvoorstel.

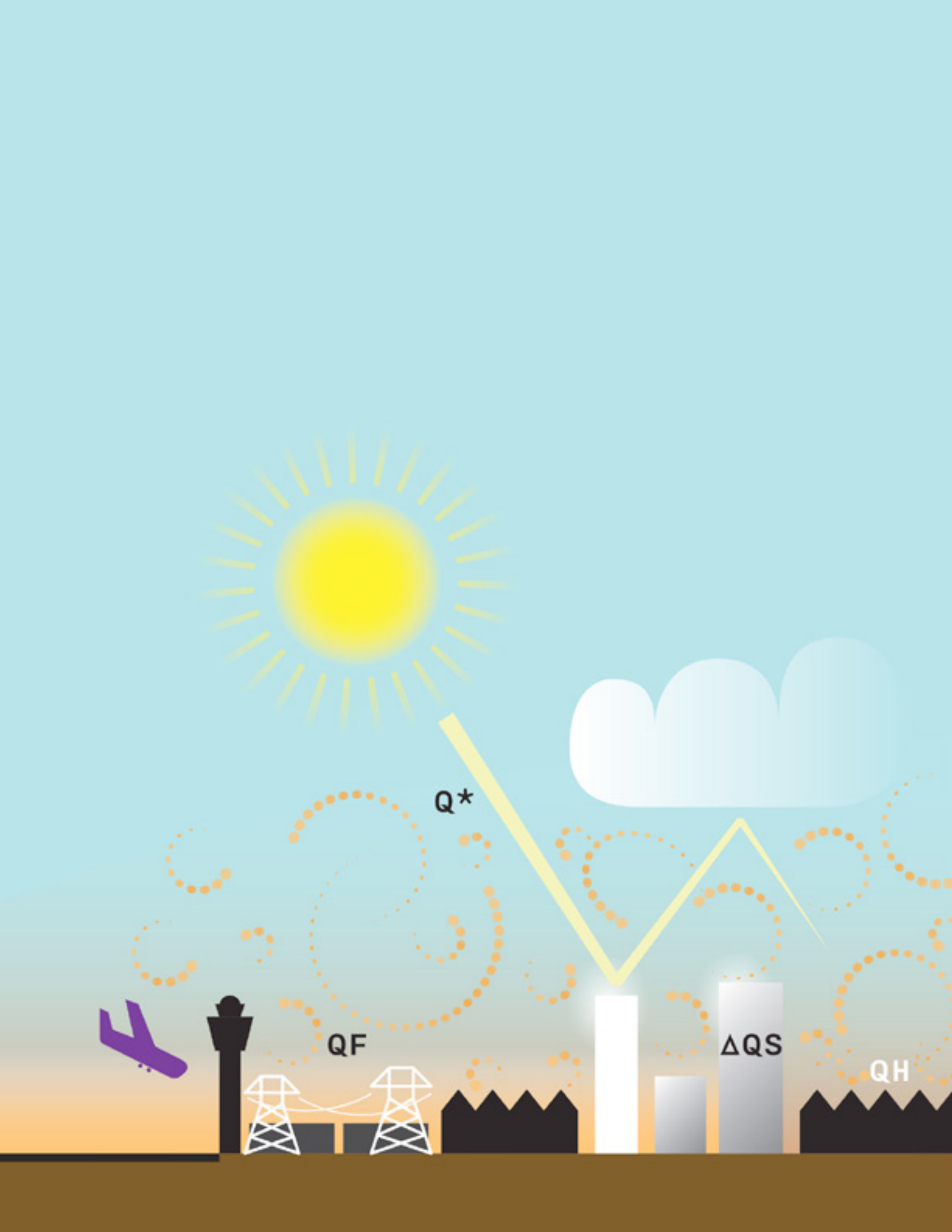
Temperatuurwaarnemingen zijn verricht door de GGD ten behoeve van de luchtkwaliteitsmetingen. De locaties zijn te vinden op de web-sites: <http://www.luchtmetingen.amsterdam.nl> en <http://www.luchtmetingen.noord-holland.nl>.

De RIVM heeft meetwaardes ter beschikking gesteld m.b.t. meetstations in West-Nederland en Brabant: <http://www.lml.rivm.nl/data/meetnet/index.html>

Tevens is gebruik gemaakt van KNMI-metingen: <http://www.knmi.nl/klimatologie/>

De gegevens met betrekking tot de Leefbaarometer zijn verstrekt door het Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijkrelaties. Ze zijn in geaggregeerde vorm tevens te zien op <http://www.leefbaarometer.nl/>

De gegevens met betrekking tot energielabels zijn verstrekt door Agentschap NL.



Q^*

Q_F

ΔQ_S

Q_H