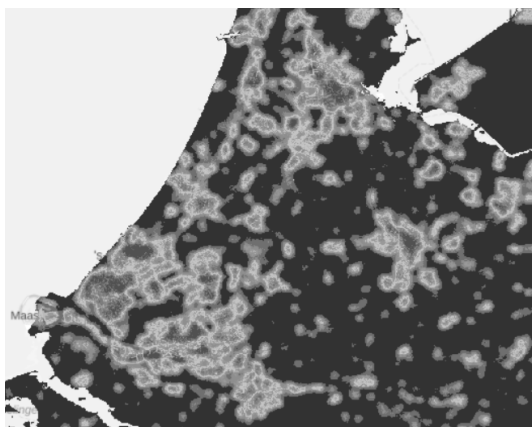


Hitte-eiland

Gebouwen, huizen, wegen en stenen houden veel warmte vast waardoor het in steden, vooral in warme perioden, warmer wordt dan in de nabije omgeving. Een stad waar de temperatuur hoger is dan de temperatuur in de nabije omgeving van die stad wordt een **hitte-eiland** genoemd. Dat er verschil in temperatuur ontstaat, wordt het **stedelijk hitte-eiland effect** genoemd. Algemeen geldt: hoe groter een stad, hoe groter het temperatuurverschil als gevolg van het stedelijk hitte-eiland effect. Hierbij wordt het inwonersaantal van een stad als maat voor de grootte van een stad gebruikt.

In figuur 1 is op een kaart het stedelijk hitte-eiland effect in de Randstad weergegeven. De lichte vlekken op kaart die door het RIVM is uitgegeven, geven de hitte-eilanden weer.

figuur 1



In het voorjaar van 2013 werd in het Duitse tijdschrift *Meteorologische Zeitschrift* een onderzoek naar hitte-eilanden in Europa gepubliceerd. Volgens dit onderzoek geldt voor Europese steden:

$$V_{\max} = 2,01 \cdot \log(P) - 4,06 \quad (\text{formule 1})$$

Hierin is P het inwonersaantal van de stad en $V_{\max}$ het grootst mogelijke verschil tussen de temperatuur van een hitte-eiland en de (lagere) temperatuur in de nabije omgeving van dat hitte-eiland in graden Celsius.

Tijdens een hittegolf in de zomer van 2019 meldden diverse media dat het in sommige steden in Nederland 'wel 13 graden Celsius warmer' zou kunnen worden dan in hun nabije omgeving.

- 3p **8** Bereken hoeveel inwoners een stad volgens formule 1 zou moeten hebben om een temperatuurverschil van 13 graden Celsius mogelijk te maken **en** leg daarmee uit waarom zo'n groot verschil in Nederland niet reëel is.

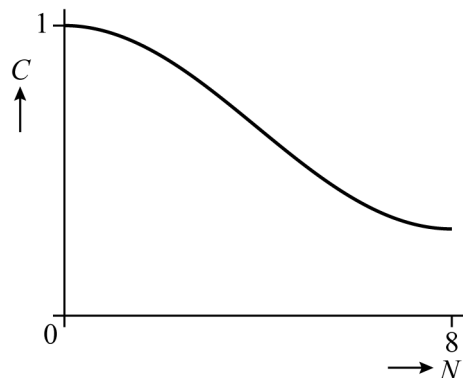
Het inwonersaantal is niet de enige factor die meespeelt bij het stedelijk hitte-eiland effect. Twee andere belangrijke factoren zijn de bewolking en de wind. Door deze factoren zal het werkelijke verschil tussen de temperatuur van een hitte-eiland en de temperatuur in de nabije omgeving meestal kleiner zijn dan $V_{\max}$. Er geldt:

$$V = V_{\max} \cdot C \cdot W \quad (\text{formule 2})$$

Hierin is V het verschil tussen de temperatuur van een hitte-eiland en de temperatuur in de nabije omgeving van dat hitte-eiland in graden Celsius, C de bewolkingsfactor en W de windfactor.

In figuur 2 is geschetst hoe de mate van bewolking N en de bewolkingsfactor C samenhangen. Hierbij betekent $N = 0$ dat het onbewolkt is en $N = 8$ dat er sprake is van volledige bewolking.

figuur 2



We bekijken de situatie dat op een dag de mate van bewolking toeneemt en de windfactor constant blijft. Als dan de temperatuur in de nabije omgeving constant blijft, daalt de temperatuur in de stad.

- 3p **9** Beredeneer met behulp van figuur 2 en formule 2 dat dit juist is.

Hoe harder het waait, hoe kleiner het temperatuurverschil als gevolg van het stedelijk hitte-eiland effect. Hierbij heeft wind in kleine steden een grotere remmende werking op het temperatuurverschil als gevolg van het stedelijk hitte-eiland effect dan in grote steden. De onderzoekers spreken daarom over de **windlimiet**. Dat is de maximale windsnelheid waarbij er nog sprake is van het stedelijk hitte-eiland effect. Volgens de onderzoekers geldt:

$$L = (0,567 \cdot \log(P) - 0,513)^2 \quad (\text{formule 3})$$

Hierin is P het inwonersaantal van de stad en L de windlimiet in m/s.

Berlijn is de grootste stad van Duitsland. In 2018 had Berlijn 3 600 000 inwoners. Hamburg, de tweede stad van Duitsland, had toen 1 830 700 inwoners. De windlimiet voor Berlijn was toen groter dan de windlimiet voor Hamburg.

- 3p **10** Bereken hoeveel procent groter. Geef je antwoord in één decimaal.

Voor de in figuur 2 weergegeven samenhang tussen de mate van bewolking N en de bewolkingsfactor C geldt de formule:

$$C = 0,65 + 0,35 \cdot \sin\left(\frac{1}{8}\pi(N + 4)\right) \quad (\text{formule 4})$$

Voor de windfactor W stelden de onderzoekers de volgende formule op:

$$W = 0,5 + 0,5 \cdot \sin\left(\pi\left(\frac{1}{L} \cdot v + 0,5\right)\right) \quad (\text{formule 5})$$

Hierin is v de windsnelheid in m/s en L weer de windlimiet in m/s.

De warmste dag in de zomer van 2019 was 24 juli. In de nabije omgeving van Eindhoven was het die dag 36,4 graden Celsius bij een windsnelheid van 3 m/s en een mate van bewolking van 3.

Eindhoven had toen 230 000 inwoners.

- 5p **11** Bereken met behulp van de vijf gegeven formules de maximum temperatuur in Eindhoven op 24 juli 2019. Geef je antwoord in één decimaal.