



Het is heet onder onze voeten

Kunnen koele bestratingsmaterialen verkoeling bieden in de gebouwde omgeving?

Tijdens warm weer kunnen verharde oppervlakken in stedelijk gebied door de zon erg heet worden. Het asfalt smelt en je voelt de warmte van de straat afkomen, zelfs als de zon allang weg is. Zouden we met een koelere bestrating hittestress in stedelijk gebied kunnen beperken?

Het is belangrijk om hittestress te voorkomen en ervoor te zorgen dat het bebouwde gebied koel en aangenaam blijft tijdens hete zomerdagen. Hiertoe kiest men in de stedelijke inrichting voor ontwerpen met meer schaduw door bomen en meer groen en blauw. Ook waterdoorlatende verharding of bestrating

met een lichte kleur worden vaak genoemd. Maar zorgen deze koelere bestratingsmaterialen daadwerkelijk voor een verlaging in de lucht- of gevoelstemperatuur die merkbaar is voor mensen op straat? Welke materiaaleigenschappen zorgen voor een koeler oppervlak en hoe groot is het effect op de omgeving? Om

deze en andere veel gehoorde praktijkvragen te beantwoorden, heeft de Hogeschool van Amsterdam literatuuronderzoek gedaan. De antwoorden hebben we opgenomen in een zogeheten online Effect-checker.¹ In dit artikel vatten we de belangrijkste resultaten samen. We laten zien dat koele bestratingsmaterialen

doorgaans weinig verkoeling geven aan gebruikers van de openbare ruimte, maar dat er ook toepassingsmogelijkheden zijn. Eerst geven we wat achtergrond over de fysische processen die een rol spelen bij koele bestratingsmaterialen.

Oppervlaktetemperatuur en luchttemperatuur

Op een zonnige dag warmt bestrating de lucht in de omgeving gewoonlijk op doordat de oppervlaktetemperatuur van bestrating hoger is dan die van de lucht. Hoe groot dit effect is, hangt af van hoe hard het waait, het temperatuurverschil tussen de bestrating en de lucht en de opbouw van de atmosfeer.

De oppervlaktetemperatuur hangt op haar beurt weer af van de thermodynamische ei-

genschappen van de bestrating en de ondergrond, en het weer (straling, wind en luchttemperatuur). Figuur 1 toont de warmteoverdrachtsprocessen die hierbij een rol spelen en samen de energiebalans van een verhard oppervlak vormen: inkomende en gereflecteerde zonnestraling (kortgolvlige straling), inkomende en uitgaande langgolvlige straling, convectie, verdamping of condensatie aan het oppervlak (latente warmte), en de warmtewisseling met neerslag, verkeer en de ondergrond (conductie).

De thermodynamische eigenschappen van de bestrating die van invloed zijn op de oppervlaktetemperatuur zijn onder andere de albedo, de emissiviteit, de thermische geleidbaarheid en de specifieke warmtecapa-

citeit (zie kadertekst). Door materialen met de juiste materiaaleigenschappen te kiezen, is het mogelijk dat de oppervlaktetemperatuur minder hoog oploopt tijdens een hete dag, waardoor er minder warmte afgegeven wordt aan de atmosfeer.

Dit is echter niet het enige dat nodig is voor een merkbaar verkoelend effect. De koelere lucht nabij het oppervlak moet ook de omgeving kunnen bereiken op een hoogte en plek waar mensen de koelte normaal gesproken voelen: een hoogte van 1 tot 2 meter. Dit vereist dat ook de lengte van het oppervlak waarover de wind blaast (de aanstrijk lengte) voldoende is, waardoor een koele luchtlag opgebouwd kan worden die op die hoogte merkbaar is. Als vuistregel kan worden gesteld dat een koel oppervlak

KOELE MATERIAALEIGENSCHAPPEN

Door bestratingsmaterialen te kiezen met de juiste materiaaleigenschappen, is het mogelijk dat de oppervlaktetemperatuur minder hoog oploopt tijdens een hete dag. De **albedo** wordt beschouwd als de belangrijkste materiaaleigenschap die de oppervlaktetemperatuur kan beïnvloeden. Door deze te verhogen, reflecteert het oppervlak meer zonnestraling en wordt minder warmte geabsorbeerd. Tabel 1 geeft een overzicht van albedowaarden van veelgebruikte bestratingsmaterialen.

Tabel 1

De albedo van veelgebruikte materialen.

Materiaal	Albedo
Asfalt	0,05-0,2
Beton	0,10-0,4
Rode bakstenen	0,30
Wit marmeren kiezels	0,55
Grint	0,72
Wit gips	0,93

De **emissiviteit** van een materiaal bepaalt hoe effectief warmte kan worden uitgestraald. Maar omdat deze voor de meeste traditionele bestratingen al relatief hoog is, is er weinig ruimte om hiermee de verkoelende eigenschappen van bestrating te verbeteren. De **thermische geleidbaarheid** bepaalt de hoeveelheid warmte die wordt geleid van warme naar koude plekken in de bestratingconstructie. Een toename ervan verlaagt overdag de oppervlaktetemperatuur van de bestrating, omdat er meer warmte naar de diepere lagen wordt afgevoerd. Verhardingen met een hoge thermische geleidbaarheid kunnen ook meer warmte opslaan. 's Nachts komt deze warmte weer vrij. Hierdoor zorgt een hogere thermische geleidbaarheid overdag dus voor lagere oppervlaktetemperaturen en 's nachts voor hogere. De thermische geleidbaarheid van bijvoorbeeld asfalt kan worden verhoogd door metaaldeeltjes toe te voegen.



Voorbeeld van waterdoorlatende bestrating.

De **specifieke warmtecapaciteit** van een materiaal is de energie die nodig is om de temperatuur van een eenheidsmassa met 1 graad Celsius te verhogen. Verharding met een hoge warmtecapaciteit heeft meer energie nodig om op te warmen en heeft hierdoor overdag vaak een lagere oppervlaktetemperatuur. 's Nachts treedt een tegenovergesteld effect op en blijft het oppervlak langer warm. De warmtecapaciteit kan worden verhoogd door de porositeit te verhogen.

met een lengte van in ieder geval 200 meter nodig is om een temperatuureffect te kunnen creëren op 1 tot 2 meter hoogte.

Gevoelstemperatuur

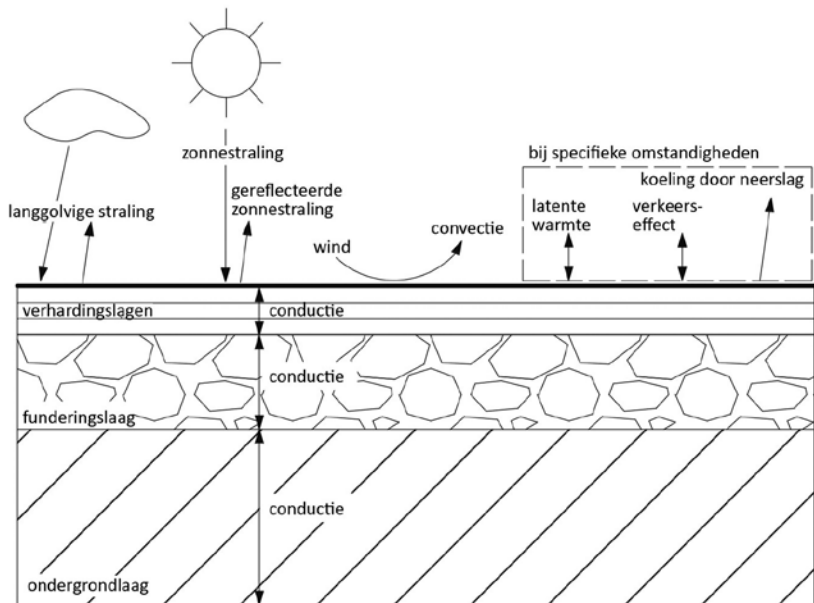
Daarnaast is het gewenst dat koele bestratingsmaterialen niet alleen de luchttemperatuur verlagen, maar ook de gevoelstemperatuur. De gevoelstemperatuur is de temperatuur die een persoon ervaart. Deze kan anders zijn dan de luchttemperatuur en wordt bepaald door de straling die iemand ontvangt, de windsnelheid, de luchtvochtigheid, de kleding en de activiteit van een persoon. Een veel gebruikte index in Europa om de gevoelstemperatuur mee aan te duiden is de PET.³

Voor een lage gevoelstemperatuur dient een bestratingsoppervlak weinig straling te weerkaatsen of weinig warmte uit te stralen, zodat een persoon weinig straling van de bestrating ontvangt. Het verhogen van de albedo van bestrating voor een lagere oppervlaktetemperatuur is dus helaas ongunstig voor de gevoelstemperatuur. Doordat meer zonlicht reflecteert, zal iemand meer straling ontvangen en een hogere gevoelstemperatuur ervaren. Een experiment in Toronto liet zien dat de gevoelstemperatuur (PET) 5 graden Celsius steeg door de albedo van een plein te verhogen van 0,1 naar 0,5.⁴

Soorten bestratingsmaterialen

Er zijn grofweg vier soorten koele bestratingsmaterialen te onderscheiden, die we hier uitwerken.

1. **Reflecterende bestratingsmaterialen** hebben een hogere albedo, zoals witte, lichtgekleurde en gladde oppervlakken. De albedo van bestrating verandert met de tijd. Als asfalt wordt blootgesteld aan verkeer, wordt het grijzer en neemt de albedo toe. Nieuw asfalt heeft over het algemeen een albedo tussen 0,05 en 0,1, die kan oplopen tot 0,1 en 0,2 als het veroudert. Voor beton gebeurt het tegen-



Figuur 1: Schematische weergave van de energiebalans van verharding.²

overgestelde: de albedo van nieuw beton varieert tussen 0,35 en 0,4 en kan in de loop van de tijd dalen naar waarden tussen 0,1 en 0,3. Onderzoek laat zien dat een stijging van 0,1 in albedo kan zorgen voor een daling in de oppervlaktetemperatuur van ongeveer 4 graden Celsius. Het effect is afhankelijk van de windsnelheid: meer wind vermindert de invloed van een hogere albedo en zorgt voor een lagere oppervlaktetemperatuur. Bestrating met een hogere albedo kan de luchttemperatuur lokaal met maximaal 2 graden Celsius verlagen. En als in een hele stad bestrating met een hogere albedo wordt toegepast (0,35 in plaats van 0,1), zou de luchttemperatuur met ongeveer een halve graad kunnen worden gereduceerd.

2. **Waterdoorlatende bestrating** helpt de oppervlaktetemperatuur laag te houden door middel van verdamping, zoals doorlatend beton of asfalt, grasbetontegels of kunststof straatstenen, met of zonder vegetatie. De energie die nodig is voor verdamping wordt onttrokken aan het oppervlak, waardoor de oppervlaktetemperatuur lager blijft. Het temperatureffect van doorlatende verharding hangt af van de beschikbaarheid van water en de poriegrootte van het materi-

aal. Als het een lange tijd niet heeft geregend, zal er minder water beschikbaar zijn voor verdamping. Materialen met een kleine poriegrootte verdampen over het algemeen meer water en over een langere periode. Het poreuze karakter van doorlatende verharding heeft echter ook een lagere albedo als gevolg. Hierdoor kan meer zonnestraling geabsorbeerd worden, waardoor de oppervlaktetemperatuur toeneemt. Metingen aan doorlatende verharding in Californië laten zien dat op het warmste moment van de dag en onder natte omstandigheden doorlatende verharding 15 tot 35 graden Celsius koeler kan zijn dan ondoorlatende verharding.

3. **Materialen met een verbeterde warmteopslag** zijn materialen die bijvoorbeeld geïmpregneerd zijn met PCM (*phase change materials*). Hierdoor wordt de warmtecapaciteit van het materiaal verhoogd en kan het meer energie opslaan. Overdag wordt de energie gebruikt om het PCM te smelten. 's Nachts stolt het PCM en geeft het materiaal de opgeslagen warmte vrij. Hierdoor worden extreme oppervlaktetemperaturen voorkomen of verkort. Het oppervlak van bestratingsmaterialen met PCM kan overdag tot 8 graden Celsius lager zijn.

4. **Bestrating dat warmte kan onttrekken** zijn systemen met fotovoltaïsche zonnepanelen of warmtewisselaars. De warmte die onttrokken wordt, kan bijvoorbeeld worden gebruikt voor de productie van warm tapwater of voor verwarming van gebouwen. Constructie en onderhoud van deze systemen kunnen soms duur zijn. Bovendien kan dit soort verharding veelal niet worden blootgesteld aan intensief verkeer.

Verkoelend effect

Ondanks dat bovenstaande koele bestratingsmaterialen de oppervlaktetemperatuur potentieel met tientallen graden kunnen verlagen, wijst het onderzoek ook uit dat het effect hiervan op de luchttemperatuur in de omgeving veelal beperkt is. Dit heeft, zoals we eerder al zeiden, met name te maken met het feit dat de grootte van het oppervlak waarover de wind blaast groot genoeg moet zijn (in ieder geval 200 meter) voor een substantieel temperatuureffect op leefhoogte. Als dit wel het geval is, en een plein of straat met aanzienlijke afmetingen koel bestraat is, kan de luchttemperatuur op leefhoogte met ongeveer 1 tot 2 graden Celsius worden gereduceerd. Dat is op een tropische dag waarop het warmer wordt dan 30 graden Celsius niet veel.

Daarnaast hebben we kunnen concluderen dat het effect van koele bestrating op de gevoelstemperatuur zowel positief als negatief kan uitpakken. Vooral een hogere albedo kan vanwege de extra stralingsreflectie een negatief effect op de gevoelstemperatuur hebben, waardoor deze met ongeveer 5 graden Celsius (PET) kan toenemen.

Kortom, koele bestratingsmaterialen lijken de omgevingstemperatuur in geringe mate te verlagen en doorgaans weinig verkoeling te geven aan gebruikers van de openbare ruimte.



Het effect van koele bestrating op de gevoelstemperatuur kan zowel positief als negatief uitpakken

Wat dan wel?

Voor het creëren van koele plekken in de stedelijke omgeving zijn vooral schaduw, bomen en meer groen effectieve maatregelen. Schaduw zorgt al snel voor een sterke verlaging in de gevoelstemperatuur van veelal 10 graden Celsius of meer. Schaduw, bomen en meer groen vormen daarom de belangrijkste elementen binnen de drie ontwerprichtlijnen voor een koele inrichting van de stedelijke buitenruimte.⁵

Aan de andere kant zien we ook een aantal mogelijkheden voor koele bestratingsmaterialen. Met name waterdoorlatende bestratingsmaterialen zouden ingezet kunnen worden om ongewenste opwarming van het drinkwaterleidingnet te voorkomen.⁶ Steeds warmere zomers en verstedelijking zorgen namelijk voor een stijging van de drinkwatertemperatuur en bedreigen daar-

mee de drinkwaterkwaliteit.

Ook voor heel grote oppervlakken, zoals pleinen, zouden koele bestratingsmaterialen ervoor kunnen zorgen dat het in ieder geval iets minder heet wordt onder onze voeten, waardoor hittestress wordt beperkt.

Tenslotte kunnen we op basis van dit literatuuronderzoek concluderen dat zowel zwart asfalt als heel reflecterende materialen beter kunnen worden vermeden. De eerste wordt erg heet of smelt en de tweede kan verblinden. *

Noten

1. Zie www.hva.nl/kc-techniek/gedeelde-content/contentgroep/klimaatbestendigestad/resultaten/effact-checker.html.
2. Chen, J., Wang, H., & Xie, P. (2019). Pavement temperature prediction: Theoretical models and critical affecting factors. *Applied Thermal Engineering*, 158, 113755.
3. PET staat voor Physiological Equivalent Temperature; zie ook: Höpke, P. (1999). The physiological equivalent temperature - a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment.
4. Taleghani, M., & Berardi, U. (2018). The effect of pavement characteristics on pedestrians' thermal comfort in Toronto. *Urban Climate*, 24:449-459.
5. Kluck, J., E.J. Klok, A. Solcerová, L. Kleerekoper, L.I. Wilschut, C.M.J. Jacobs en R. Loeve (2020). De hittebestendige stad: Een koele kijk op de inrichting van de buitenruimte. Hogeschool van Amsterdam, Faculteit Techniek, Onderzoeksprogramma Urban Technology. Zie ook: Kleerekoper, L. en Kluck, J. (2021) Hittebestendige inrichting met de CoolKit. *Stadswerk magazine* nr. 9/2021: 32-35.
6. Vossen, J. van, Stofberg, S.F. & Agudelo-Vera, C. (2019). Effectiviteit maatregelen tegen opwarming drinkwater in leidingen. KWR-rapport 2019.080.