



AAN

Carolyn Jonkers en Erik Leemreijze

VAN

dr.ir. Cor (CMJ) Jacobs en Shannen (SNT) Dill MSc

Wageningen, 23 november 2020

Beste Carolyn en Erik,

Hierbij onze rapportage over de metingen van 2020 in het kader van CoolTowns. Daarbij hebben we ongeveer dezelfde lijn gevolgd als in voorgaande jaren, inclusief een analyse van de maximale gevoelstemperatuur (UTCI) in de zomermaanden. Ook nu is een bijlage toegevoegd over de (grootste) problemen met de metingen en de gekozen oplossing. Verder is het grootste deel van de toelichtende teksten overgenomen uit de eerdere rapportages, zodat ook deze rapportage op zichzelf te lezen blijft.

Hopelijk is de rapportage naar jullie zin. Als jullie nog gekke dingen tegenkomen of als er nog aanpassingen nodig zijn horen wij dat graag. Een Excel bestand met de gegevens en de daaruit afgeleide gevoelstemperaturen volgt nog.

Begin volgend jaar komen wij met een voorstel voor de eindrapportage.

Met vriendelijke groet,
Cor Jacobs en Shannen Dill

Memo

Environmental
Sciences Group

DATUM

23 november 2020

ONDERWERP

Rapportage CoolTowns 2020

POSTADRES

Postbus 47
6700 AA Wageningen

BEZOEKADRES

Wageningen Campus, Gebouw
100 (Lumen),
Droevendaalsesteeg 3
6708 PB Wageningen

INTERNET

www.wur.nl

CONTACTPERSOON

dr.ir. Cor (CMJ) Jacobs

TELEFOON

+31 317486460

E-MAIL

cor.jacobs@wur.nl

Rapportage hittemetingen CoolTowns: 2020

Inleiding

De afgelopen drie zomers in Nederland waren gedenkwaardig. De zomer van 2018 was erg warm en duurde lang. In 2019 werden hitte records verbroken met maxima boven 40°C. Ook in 2020 kwam extreem warm weer voor met een recordaantal aaneengesloten tropische dagen en een hete dagen laat in de zomer. Volgens de klimaatscenario's van het KNMI neemt het aantal periodes met hitte en hun intensiteit in de komende decennia toe, maar dat hitte records al zó snel en zó intens zouden sneuvelen had niemand verwacht. De belangstelling voor het hitteprobleem groeit dan ook sterk. Het besef dringt door dat hittestress niet alleen nadelig uitpakt voor de gezondheid, maar ook voor zaken variërend van arbeidsproductiviteit tot drinkwatervoorziening. In stedelijk gebied moet aan de hitte die op de KNMI-weerstations gemeten wordt vooral in de nacht nog het stedelijk hitte-eiland worden toegevoegd. Hitte is dan ook niet voor niets een onderdeel van de klimaatstresstest die gemeentes moeten uitvoeren.

Achtergrond

Kennis over hittestress in Nederland is vooral gebaseerd op onderzoek in (grote) steden. Dit roept de vraag op in hoeverre die kennis toepasbaar is in landelijke regio's. Dit geldt zeker voor waterrijke regio's als de Provincie Zeeland. Tot voor kort werd gedacht dat hitte in Zeeland niet of nauwelijks een probleem is, maar dat beeld kantelt. Het wordt steeds duidelijker dat nabijheid van water geen garantie is voor verkoeling, met name niet in nachten aan het eind van de zomer of aan het begin van de nazomer. Water kan dan juist bijdragen aan het vóórkomen van warme nachten. Tijdens warme periodes komt de wind vaak uit het zuiden tot oosten, doorgaans met een lagere snelheid dan uit westelijke en noordelijke richtingen. In zulke periodes blijft de verkoeling van zee overdag vaak beperkt tot een smalle kuststrook. Ook het landelijke karakter van Zeeland en de relatief kleine kernen zijn geen garantie voor koelte. Aanvoer van lucht uit het oosten of zuiden bepaalt de achtergrond-temperatuur en ook kleine kernen kennen een zogenoemd hitte-eiland effect.

In het kader van het EU Interreg project CoolTowns worden metingen uitgevoerd die moeten helpen de gevoeligheid van Zeeland voor hitte te kwantificeren. Meetresultaten over het jaar 2018 en 2019 zijn eerder gerapporteerd en geanalyseerd. In het kader van een bachelorstudie van de Campus Kortrijk is op grond van de data uit 2019 specifiek naar de oorzaak van warme nachten

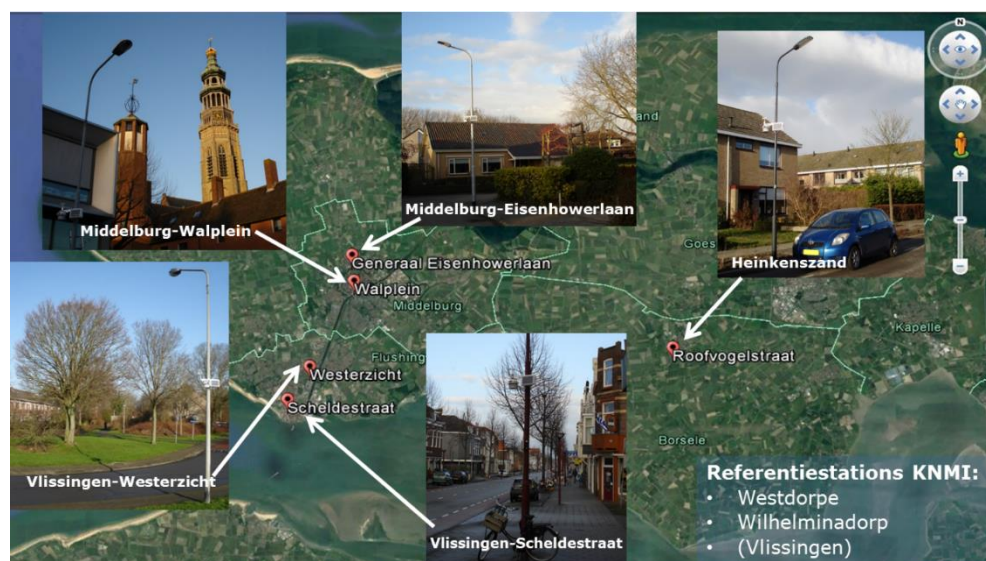
in Zeeland gekeken. Naar aanleiding van de resultaten uit die studie heeft KNMI de data van zijn vijf hoofdstations, waaronder Vlissingen, nader geanalyseerd.

De huidige rapportage gaat over het zomerhalfjaar (1 april t/m 30 september) van 2020 en volgt ongeveer dezelfde lijn als de rapportage over de metingen in 2018 en 2019. De rapportage gaat in op de vraag in hoeverre de metingen in de relatief kleine steden en dorpen in Zeeland duiden op een hitteprobleem en hoe vaak bepaalde voor hittestress belangrijke gebeurtenissen voorkomen, zoals tropische nachten of middagen met een hoog potentieel hittestressniveau.

De meetgegevens zullen waar mogelijk ook gebruikt worden om op enkele plaatsen de hittekaarten uit het project CoolTownns te evalueren. Die evaluatie gebeurt aan de Hogeschool van Amsterdam en is geen onderdeel van deze rapportage.

Meetstations

De hitemetingen vinden plaats op een beperkt aantal, strategisch opgestelde weerstations. Figuur 1 toont een overzicht van de meetlocaties. Twee weerstations staan in relatief versteende en dichtbebouwde wijken van Vlissingen en Middelburg. Twee andere stations staan juist in wat meer open wijken van die steden, met meer publiek en privaat groen. Een vijfde station is opgesteld in Heinkenszand, om zo ook metingen te verzamelen in een relatief kleine kern. Bij de keuze van de meetlocaties is verder rekening gehouden met afstand tot de kust en praktische zaken als vandalisme en mogelijkheden voor montage.



Figuur 1. Overzicht van CoolTownns meetlocaties in gebouwd gebied.



Figuur 2. Impressie van meetstation in gebouwd gebied. De metingen vinden plaats op een hoogte van ongeveer 3.5 m. Uit de metingen van luchttemperatuur, luchtvochtigheid, windsnelheid en intensiteit van de zonnestraling wordt de UTCI berekend.

Naast de meetgegevens van de stations in het gebouwde gebied worden gegevens van de KNMI-weerstations te Vlissingen, Westdorpe en Wilhelminadorp gebruikt.

Figuur 2 geeft een impressie van de meetstations in gebouwd gebied. Op alle stations vinden waarnemingen plaats aan weerkundige variabelen die belangrijk zijn voor hitte-onderzoek: luchttemperatuur, luchtvochtigheid, inkomende zonnestraling en windsnelheid. Warmtestraling wordt niet direct gemeten en ook niet expliciet gerapporteerd. Waar nodig wordt deze variabele wel geschat op basis van de hiervoor genoemde metingen en verrekend in de gevoelstemperatuur.

In 2020 zijn sommige meetgegevens van één station verloren gegaan door technische problemen. Waar mogelijk zijn de daardoor ontstane gaten gevuld volgens aanbevelingen in de wetenschappelijke literatuur. Wanneer de periode met uitval beperkt bleef tot 1 uur of korter zijn de ontbrekende gegevens aangevuld middels lineaire interpolatie. Ontbrekende gegevens over veel langere periodes zijn gereproduceerd op basis van een vergelijking tussen gegevens van meetstations uit de eerdere jaren en de daaruit afgeleide statistische wetmatigheden op het jaar 2020 toe te passen. Het is evident dat zulke uit een eerder meetjaar afgeleide gegevens voorzichtig gebruikt moeten worden. Meer details hierover zijn beschreven in relevante delen van deze rapportage en in de bijlage.

Gevoelstemperatuur

In de hitteproblematiek speelt de gevoelstemperatuur een belangrijke rol. Bij voorkeur houdt een gevoelstemperatuur rekening met het feit dat mensen hun kerntemperatuur constant proberen te houden op een waarde van ongeveer 37°C. Hierin spelen energiestromen tussen mensen en hun omgeving een belangrijke rol. Deze energiestromen zijn niet alleen afhankelijk van de luchttemperatuur, maar ook van de luchtvochtigheid, de hoeveelheid straling (zonnestraling en warmtestraling) en ventilatie door luchtstroming, in de buitenlucht meestal wind. Daarnaast spelen persoonlijke factoren een rol zoals leeftijd, geslacht, activiteit en isolatiewaarde van kleding die gedragen wordt.

In de hier gebruikte gevoelstemperatuur worden de omgevingsfactoren wél meegenomen. Persoonlijke factoren worden niet of op een standaard manier verwerkt, bijvoorbeeld door een standaard keuze voor geslacht, leeftijd, activiteit en isolatiewaarde voor kleding. Dat maakt het mogelijk verschillende plekken toch te vergelijken op basis van het weer op microschaal. De uitkomst zegt iets over de kans op hittestress en staat dichterbij hittebeleving van mensen dan de luchttemperatuur alleen. Zo wordt warm weer doorgaans als warmer ervaren bij hoge luchtvochtigheid. Het maakt uiteraard veel uit of iemand in de zon staat of in de schaduw en een verkoelende wind voelt of niet. Psychologische factoren zoals het effect van waardering van groen op de beleving of het "temperatuurgevoel" zijn niet verwerkt in de hier gebruikte temperaturen. Desondanks spreken we hier voor het gemak over "gevoelstemperatuur".

Uit de combinatie van gemeten luchttemperatuur, luchtvochtigheid, hoeveelheid binnenkomende zonnestraling en windsnelheid schatten we op elke meetplek een hoogwaardige gevoelstemperatuur, de zogenoemde *Universal Thermal Climate Index* (UTCI). Omrekening van meetgegevens naar UTCI is uitgevoerd volgens in de internationale wetenschappelijke literatuur beschreven methodes.

Hitte-eiland effect en warme nachten

In steden is het warmer dan in het omliggende landelijke (vrijwel onbebouwde) gebied. Dit verschijnsel wordt het stedelijk hitte eiland effect genoemd: steden nemen overdag meer warmte op en staan deze 's nachts maar langzaam weer af, waardoor vooral de nachten warmer blijven in de stad. Op individuele zomerdagen, vooral in de nachten na een heldere, windstille dag, kunnen de verschillen tussen stad en platteland flink oplopen. Met name de

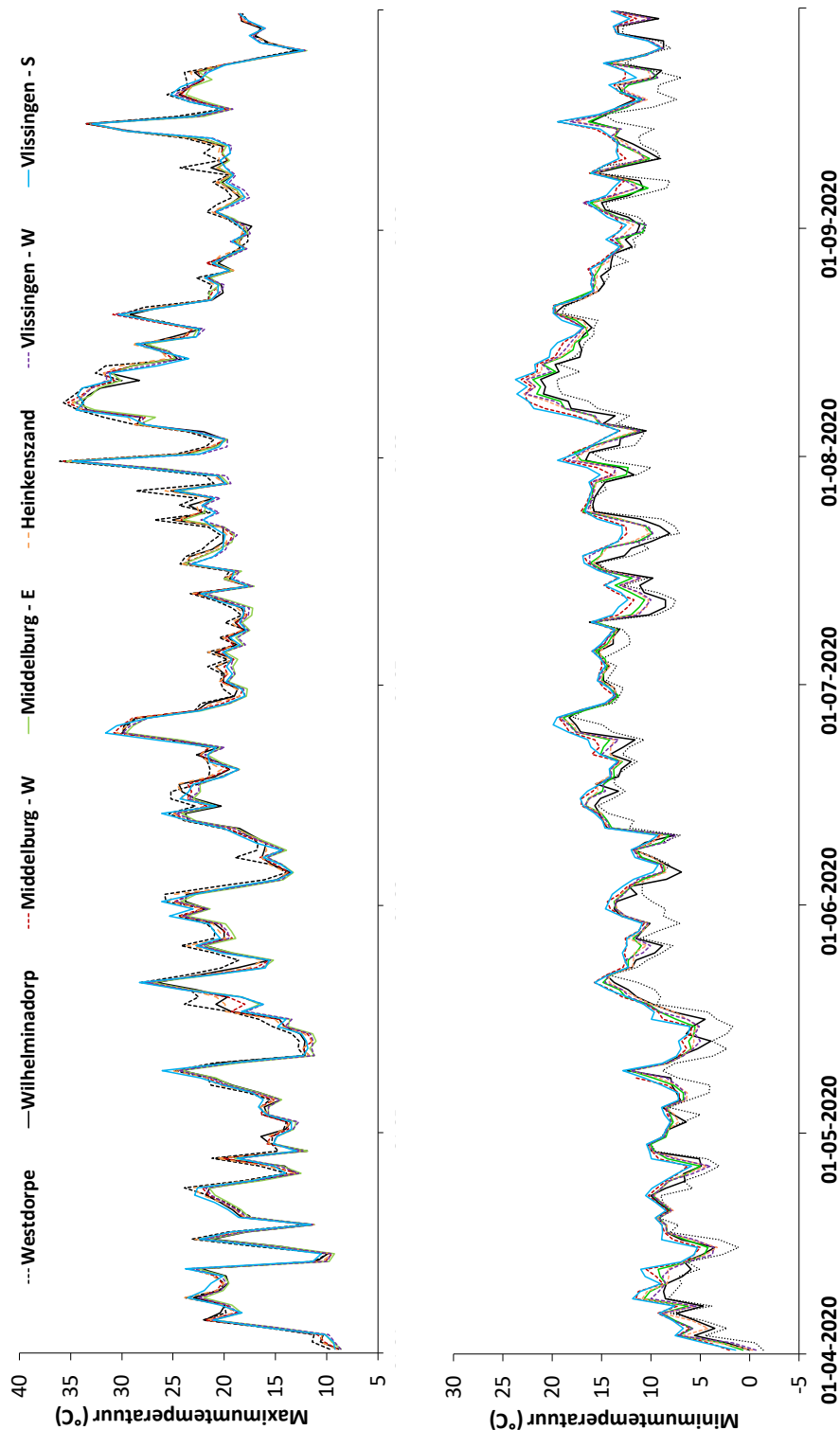
minimumtemperatuur in stedelijk gebied is dus hoger dan in het landelijke gebied. Dit leidt tot meer zogenoemde tropische nachten in gebouwd gebied. In tropische nachten blijft het warmer dan 20°C. Zulke nachten hebben een bijzondere betekenis in de hitteproblematiek. Tijdens warme nachten slapen mensen slechter met mogelijk negatieve gevolgen voor gezondheid en arbeidsproductiviteit. Meer in het algemeen koelen objecten, dus ook huizen, minder snel af naarmate de buitentemperatuur hoger is (onder vergelijkbare overige omstandigheden). Daarom is het aantal tropische nachten als hitte-indicator opgenomen in de Klimaateffectatlas (www.klimaateffectatlas.nl).

Luchttemperatuur

Het waargenomen verloop van de dagelijks maximum- en minimumtemperatuur is voor alle meetstations weergegeven in figuur 3. Helaas zijn de temperatuur- en vochtmetingen in Middelburg Eisenhowerlaan in de periode van 1 april tot 15 juli tot mislukt. Het verloop van deze grootheden op Middelburg Eisenhowerlaan is daarom geschat op basis van een vergelijking van de in 2019 gemeten temperaturen en vochtgehaltes tussen Middelburg Eisenhowerlaan en de andere stations. De zo berekende temperatuur en luchtvochtigheid wordt voldoende betrouwbaar geacht voor algemene beschrijvingen van het temperatuurverloop en bepaling van het verloop van de UTCI, zij het dat enige voorzichtigheid nodig is. Bij de sterkte van het hitte-eiland gaat het om relatief kleine getallen en is met name de betrouwbaarheid voor individuele uren minder. Voor gemiddelden is de schatting waarschijnlijk heel behoorlijk. Zie Bijlage 1 voor meer details over de reconstructie van de gegevens voor Middelburg Eisenhowerlaan.

De lente van 2020 wordt gekenmerkt door een periode met hoge temperaturen in het midden van mei, waarin een aantal zomerse voorkwam (maxima van 25°C of hoger). Deze temperaturen werden zowel op landelijk, als op regionaal niveau in Zeeland gemeten.

De zomer van 2020 wordt verder over het algemeen gekarakteriseerd door gematigde temperaturen, maar met een paar relatief warme onderbrekingen. Tegen het einde van juni (24 en 25) werd een maximale temperatuur gemeten van rond de 30°C. In de maand juli kwamen temperaturen boven de 25°C pas in de laatste week voor. Maar met name de warme periode in de maand augustus (7-13) was opvallend wegens het grote aantal tropische dagen (maxima van 30°C of hoger), waarbij de temperatuur geregeld opliep tot tegen 35°C. Hierbij werd in Middelburg-W een temperatuur gehaald van meer dan 35°C. De



Figuur 3. Verloop van dagelijkse maximumtemperatuur (boven) en minimumtemperatuur (beneden) in het zomerhalfjaar van 2020.

minimumtemperatuur kwam in de periode 9 tot 13 augustus niet lager dan 20 °C met uitzondering van Westdorpe, waar de minima varieerden tussen 17.2 en 19.5 °C. Verder valt op dat midden september (14 en 15) ook nog temperaturen bereikt werden van 30°C en meer, tot rond 33°C op 15 september. De minimumtemperatuur op de stadsstations

Middelburg Walplein en Vlissingen Scheldestraat, de stations in de meest versteende omgeving, kwam op 15 september met 19.4°C maar net onder de tropische grens van 20°C uit. Op de andere stations, in een groenere omgeving varieerden de minima tussen 16°C en 18°C.

Tabel 2 geeft het aantal zomerse dagen (maximumtemperatuur 25°C of hoger), tropische dagen (maximumtemperatuur 30°C of hoger) en de gemeten hoogste maximumtemperatuur tijdens het zomerhalfjaar van 2020. Het aantal zomerse dagen varieerde tussen 22 en 28 in het gebouwd gebied en Wilhelminadorp. Het zuidelijker gelegen Westdorpe telde 31 zomerse dagen, het vrijwel op de kust gelegen KNMI-station Vlissingen 22. Het aantal zomerse dagen was over het algemeen hoger dan in 2019, namelijk op alle drie de locaties in Vlissingen (22 t.o.v. 14), Heinkenszand (27 t.o.v. 24), Wilhelminadorp (25 t.o.v. 22) en de Eisenhowerlaan in Middelburg (22 t.o.v. 21). De meetlocatie op het Walplein in Middelburg had echter een lager aantal zomerse dagen, namelijk 22 in 2020 ten opzichte van de 23 in 2019. Het totaal aantal tropische dagen was overal juist lager dan in 2019, ondanks de ongekende warme periode in augustus.

In 2020 werd de hoogste gemeten temperatuur vastgesteld op 36.1°C. In 2019 werden hogere maximale temperaturen behaald, tot 40.5°C. Vlak aan zee, op KNMI-station Vlissingen was de hoogst gemeten temperatuur dit jaar "slechts" 33.3°C. Het aantal tropische nachten (minimum 20°C of hoger) en de hoogst gemeten minimumtemperatuur per locatie is ook gegeven. Het aantal

Tabel 2. Overzicht van het aantal zomerse dagen, tropische dagen en nachten en gemeten hoogste maximum- en minimumtemperatuur in het zomerhalfjaar van 2020. Middelburg Eisenhowerlaan is grijs weergegeven om aan te geven dat het hier om een schatting gaat op basis van gegevens van andere stations.

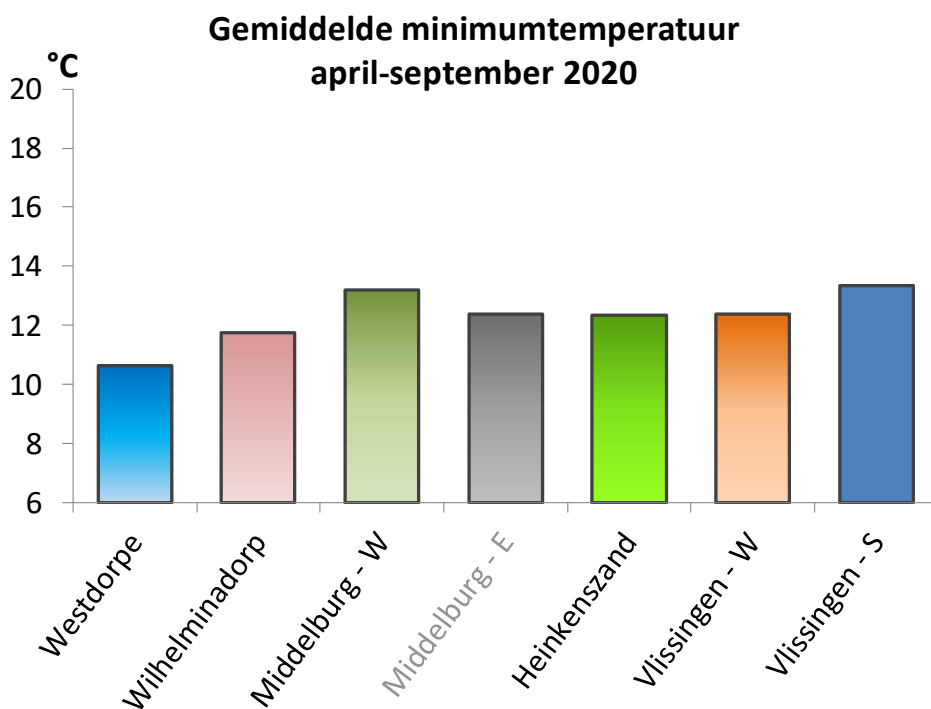
	Vlissingen	Westdorpe	Wilhelminadorp	Middelburg - Walplein	Middelburg - Eisenhowerlaan	Heinkenszand	Vlissingen - Westerzicht	Vlissingen - Scheldestraat
Zomerse dagen	22	31	25	22	22	27	22	28
Tropische dagen	6	12	7	11	9	11	9	11
Hoogst gemeten max (°C)	33.3	36.1	34.6	35.7	35.4	35.1	34.6	34.9
Tropische nachten	8	0	3	7	4	6	5	9
Hoogst gemeten min (°C)	22.5	19.5	21.2	23.1	22.0	22.8	22.7	23.8

tropische nachten is geteld aan de hand van de dagelijkse (24-h) minima. Zoals de recente analyse van het KNMI laat zien zou de minimumtemperatuur bepaald tussen 20 uur 's avonds en 8 uur in de volgende ochtend een groter aantal opleveren. Deze maat zal in de eindrapportage vergeleken worden met de maat die tot nu toe is gebruikt.

Het aantal tropische nachten in 2020 bedroeg 3 in Wilhelminadorp, varieerde van 4 tot 7 bij de stations in gebouwd gebied en was zelfs 9 bij KNMI-station Vlissingen. Station Westdorpe kende geen tropische nachten. De hoogste minima kwamen dit jaar uit tussen 19.5°C en 23.8°C. Het aantal tropische nachten is geteld aan de hand van de dagelijkse (24-h) minima. Zoals de recente analyse van het KNMI laat zien zou de minimumtemperatuur bepaald tussen 20 uur 's avonds en 8 uur in de volgende ochtend een groter aantal opleveren. Deze maat zal in de eindrapportage vergeleken worden met de maat die tot nu toe is gebruikt.

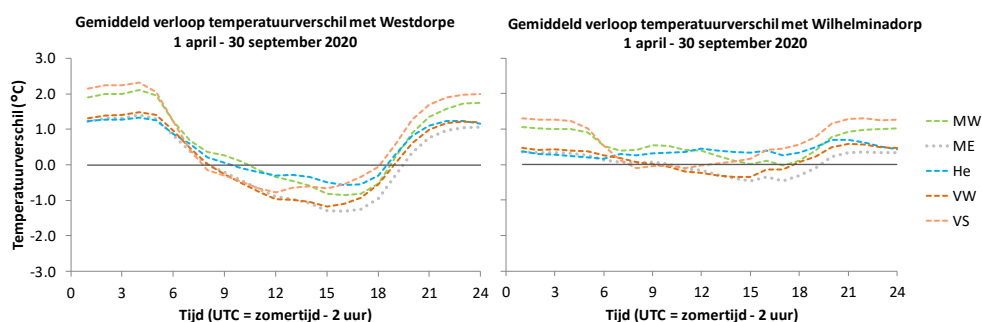
Nachtelijke temperatuur en hitte-eiland effect

De gemiddelde minimumtemperatuur op de verschillende meetplekken is weergegeven in figuur 4. Deze laat duidelijk zien dat de minima ook in gebouwd gebied in Zeeland hoger zijn dan in het omliggende platteland, zoals verwacht op basis van de theorie over de vorming van het hitte-eiland. Dit resultaat was in feite ook al af te leiden uit de minima die in figuur 3 getoond worden en is consistent met het aantal tropische nachten per station. De



Figuur 4. Gemiddelde minimumtemperatuur uit metingen van de stadsstations en de KNMI-stations Westdorpe en Wilhelminadorp. Ook hier is het resultaat voor Middelburg Eisenhowerlaan grijs gekleurd omdat dit grotendeels uit gegevens van andere stations is afgeleid.

gemiddelde minimumtemperatuur bij Middelburg-W was 1.4°C hoger dan die bij Wilhelminadorp, die in Vlissingen-S zelfs 1.6°C. De verschillen ten opzichte van Westdorpe zijn 1.1°C groter voor deze stadsstations. Maar de groenere wijken (Middelburg-E, Vlissingen-W en Heinkenszand) koelden net als in 2018 en 2019 duidelijk verder af (rond 1°C) dan de meer versteende stadsdelen. Figuur 5 laat het gemiddelde verloop van de hitte-eiland intensiteit over de dag zien. De waarden in de nachtelijke uren zijn representatief voor het klassieke hitte-eiland. Deze waarden komen overeen met de verschillen in de minima die in figuur 4 te zien zijn. Overdag lijkt er net als in voorgaande jaren sprake te zijn van een flink "koelte-eiland" wanneer Westdorpe als referentie gebruikt wordt, maar het is de vraag of dit daadwerkelijk een koelte eiland is. Wanneer Wilhelminadorp als referentie geldt zijn de verschillen niet alleen duidelijk kleiner, maar is het verloop ook anders.



Figuur 5. Temperatuurverschil tussen stadsstations en KNMI-station Westdorpe (links) of Wilhelminadorp (rechts). Gegevens van Middelburg Eisenhouwer zijn grijs gekleurd omdat het daarbij grotendeels om een schatting gaat uit gegevens van andere stations.

De verklaring van de verschillen in de resultaten voor de twee referentiestationen is terug te voeren op verschillende factoren:

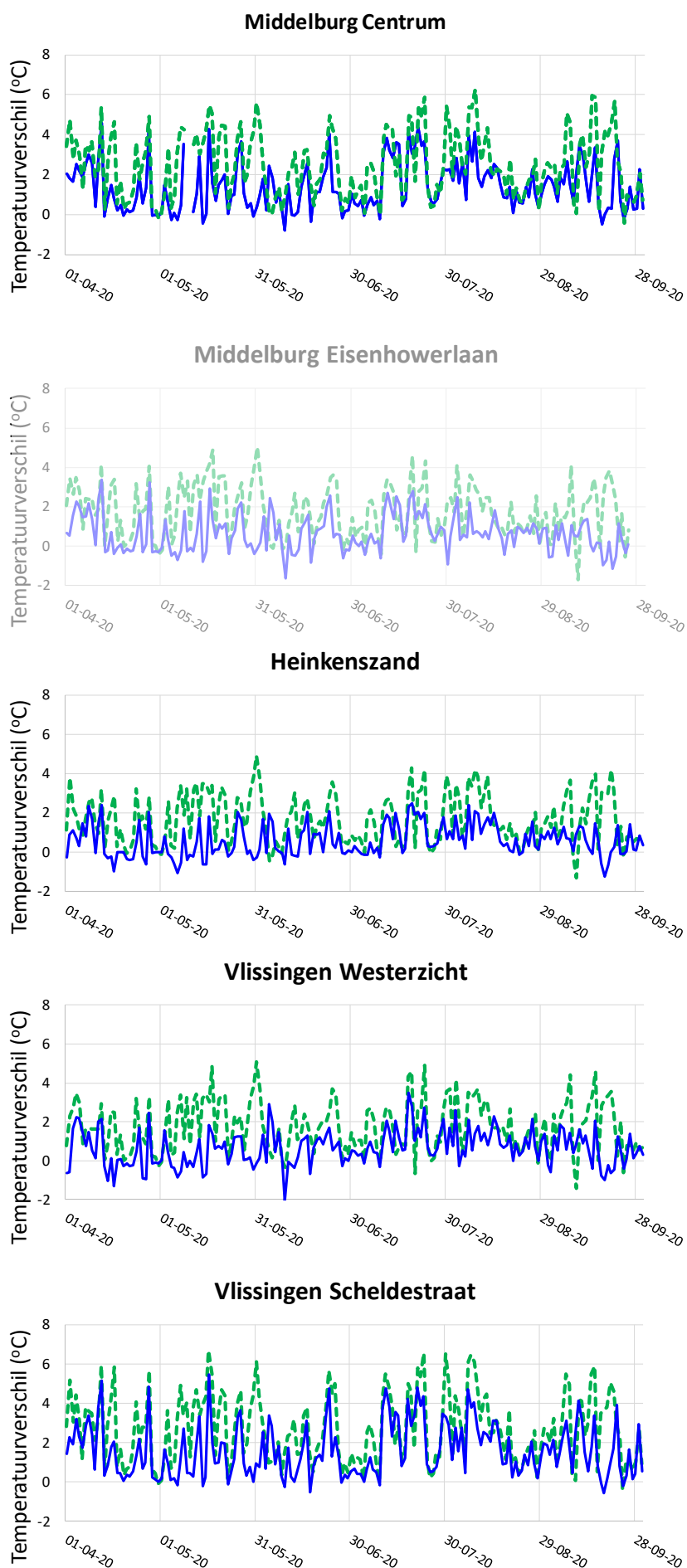
- 1) Westdorpe ligt op zandige grond en vertoont daarom grotere variaties over de dag;
- 2) Westdorpe ligt dichterbij de bron van warme lucht (namelijk oostelijker en zuidelijker dan Wilhelminadorp) en is daarom vooral overdag warmer;
- 3) Wilhelminadorp staat vaker onder invloed van aanvoer van zee en is daarom meer een "zeestation", enigszins vergelijkbaar met Vlissingen.

Tijdens specifieke nachten kunnen de verschillen tussen gebouwd gebied en het omliggende open gebied behoorlijk oplopen. Dit is te zien in figuur 6, dat het verloop van de verschillen in de minima tussen de verschillende stations toont. Afhankelijk van de locatie en het gebruikte referentiestation liepen de maximale verschillen in 2020 op tot rond 6.5°C op de meer versteende locaties

Middelburg Walplein en Vlissingen Scheldestraat en tot rond 5°C in de groenere wijken en Heinkenszand. Met name rond de Scheldestraat in Vlissingen kan ook de nabijheid van het water bijgedragen hebben aan het grote maximale verschil met Westdorpe.

DATUM
23 november 2020

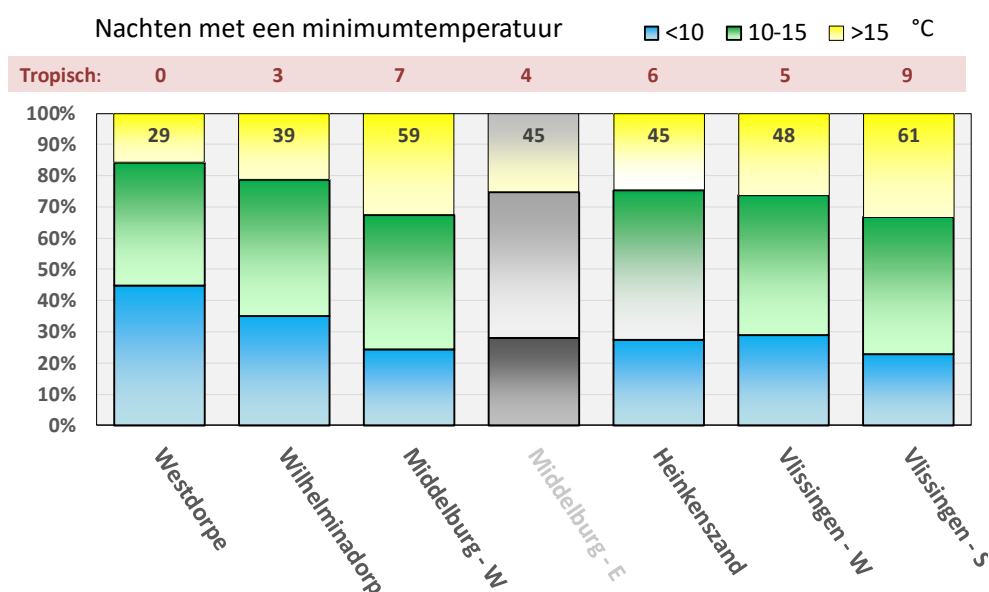
PAGINA
11 van 26



Figuur 6.
Verloop van de verschillen in minimumtemperatuur op de meetlocaties in gebouwd gebied en de referentiestations. Groene streepjes: referentiestation Westdorpe; blauwe getrokken lijn: referentiestation Middelburg Eisenhowerlaan is lichter gekleurd om aan te geven dat het daar grotendeels om schattingen gaat op basis van gegevens van andere stations.

Voor de praktijk is de exacte sterkte van het hitte-eiland een minder interessante indicator. Per definitie is dat een verschil, dat ook afhankelijk is van de omgeving zelf en het kan zelfs negatief worden. Een koelte-eiland betekent dus niet automatisch dat er sprake is van thermisch gunstige omstandigheden en omgekeerd bij een sterk hitte-eiland. Zo kan een hitte-eiland in hete droge gebieden negatief zijn, maar dit betekent nog geen koelte in de stad. In Nederland kan een hitte-eiland (of warmte-eiland) in de winter juist bijdragen aan thermisch wat gunstiger omstandigheden.

Een interessantere indicator is daarom de minimumtemperatuur zelf. Deze is weliswaar afhankelijk van de intensiteit van het hitte-eiland, maar bij gebruik van meetgegevens onafhankelijk van de keuze van het referentiestation of de omgeving. Voor de hier geanalyseerde periode hebben we de minimumtemperaturen verdeeld in klassen van 5°C en het aantal minimumtemperaturen in die klassen geteld. Het resultaat is te zien in figuur 7. In de meer versteende wijken rond Middelburg Walplein en Vlissingen Scheldestraat liep het aantal nachten met een minimumtemperatuur van 15°C of hoger op tot rond de 60 (rond 30% van de zomernachten). Dit is ongeveer gelijk aan de waarden van 2019. Toen werden voor Middelbrug-W 57 nachten met minima hoger dan 15°C geteld en in Vlissingen-S 64. Ook waren er meer tropische nachten dan in 2019. In 2019 werden in Middelburg-W



Figuur 7. Classificatie van minimumtemperaturen op grond van de meetgegevens. De gekleurde delen geven de percentages weer. Middelburg Eisenhowerlaan (E) is grijs omdat het hier deels indirecte gegevens betreft. De getallen in de top van de gestapelde kolommen geven het aantal nachten waarin de minimumtemperatuur hoger was dan 15°C. Daarvan bleef het aantal nachten gegeven in rode, met “tropisch” aangeduide getallen zelfs warmer dan 20°C.

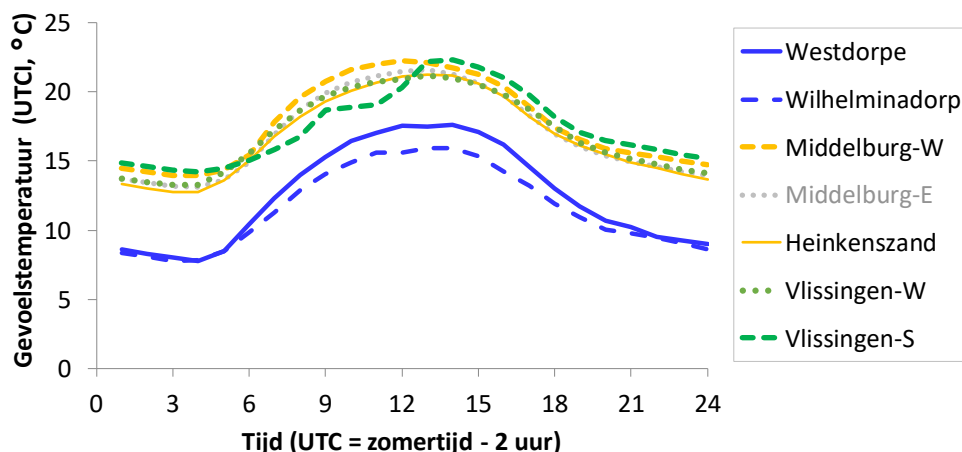
en Vlissingen-W 4 nachten waargenomen met minima hoger dan 20°C. In 2020 was dit aantal 7 voor Middelburg-W en zelfs 9 voor Vlissingen-S. In de andere, groenere wijken was het aantal warme nachten kleiner. Op de KNMI-stations Westdorpe en Wilhelminadorp was het aantal warme nachten ruwweg de helft à tweederde van het aantal in gebouwd gebied, waaruit duidelijk het effect van stedelijke warmte blijkt.

Gevoelstemperatuur (UTCI)

De gevoelstemperatuur die we hier gebruiken houdt rekening met luchttemperatuur en luchtvochtigheid, windsnelheid en zonnestraling. Voor Middelburg Eisenhowerlaan zijn daarvoor de uit andere stationsgegevens geschatte waarden voor de genoemde grootheden gebruikt tussen 1 april en 15 juli 2020 (zie bijlage 1).

Figuur 8 geeft een vergelijking van het gemiddelde dagverloop van de gevoelstemperatuur (UTCI) voor de stadsstations en de KNMI-stations Westdorpe en Wilhelminadorp. De figuur laat zien dat de UTCI, net als in 2018 en 2019, duidelijk hoger was in het gebouwde gebied, zowel overdag als in de nacht.

Zoals beschreven in de rapportage van 2018 zijn de verschillen in UTCI vooral te verklaren op basis van de verschillen in windsnelheid. Verder speelt in de resultaten voor Vlissingen Scheldestraat de schaduwwerking op die plek een belangrijke rol. Verschillen in luchttemperatuur zijn vooral 's nachts van betekenis voor verschillen in de UTCI.

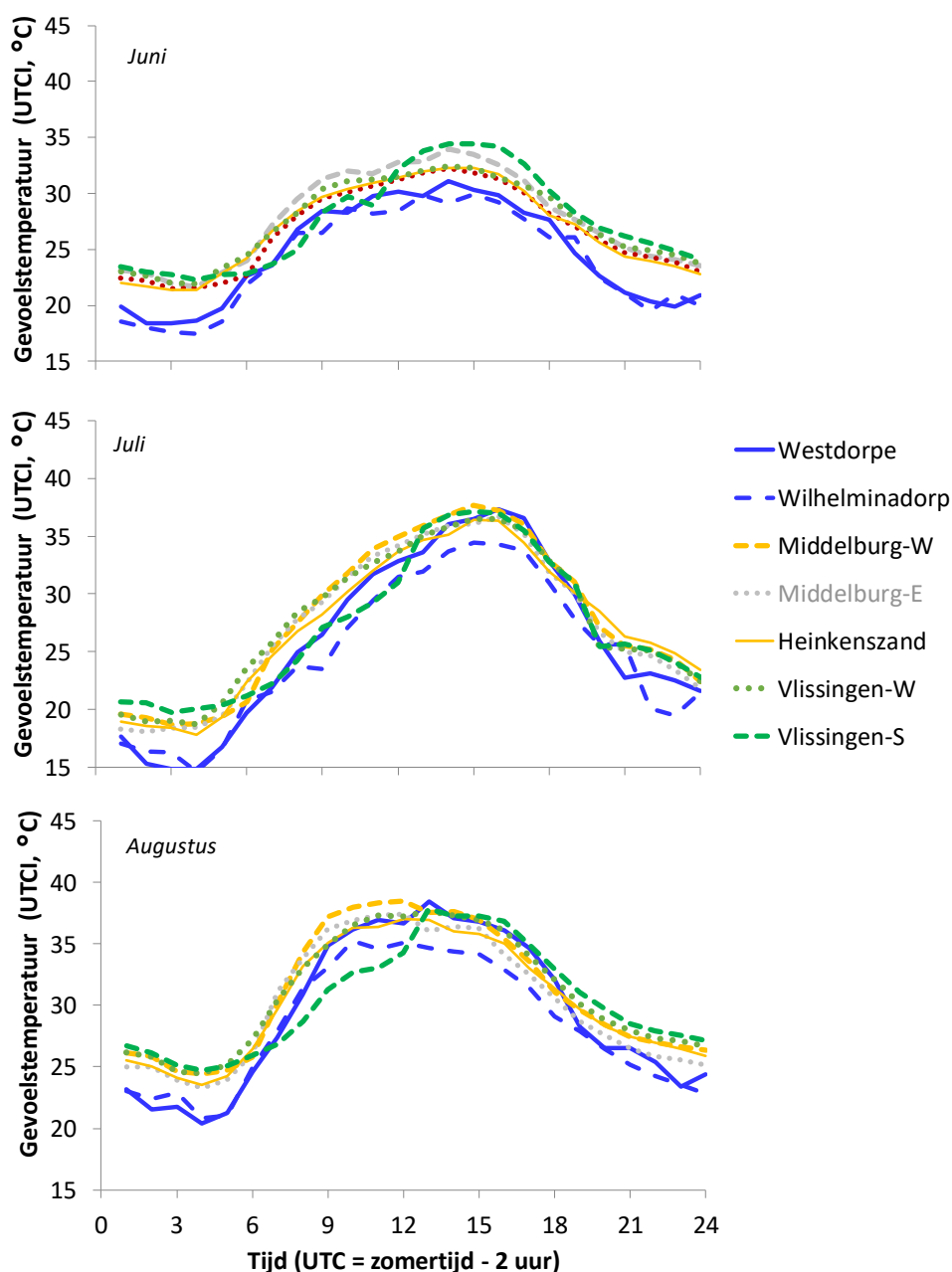


Figuur 8. Gemiddeld verloop van UTCI over de dag, bepaald uit de meetgegevens van luchttemperatuur, zonnestraling, windsnelheid en luchtvochtigheid. Middelburg Eisenhowerlaan (E) is grijs weergegeven omdat hier een groot aantal data uit op basis van metingen van andere stations is geschat.

Aan de hand van de metingen in het zomerhalfjaar van 2020 is per zomermaand (juni, juli en augustus) voor elk uur van de dag de maximum UTCI bepaald die op enige dag van de desbetreffende maand in een specifiek uur bereikt werd. Deze maximum UTCI komt overdag tot stand onder vrijwel windstille omstandigheden en bij maximale zonnestraling (helder weer). Omdat de stations niet al te ver uit elkaar liggen is de maximale stralingswaarde bij helder weer ongeveer hetzelfde voor elk station. Dit maakt de omstandigheden die tot deze maximale waarde leiden per uur vergelijkbaar. Vooral in de nacht leiden verschillen in de luchttemperatuur tot verschillen in maximale UTCI.

Bovenstaande is goed te zien in figuur 9. Terwijl de gemiddelde dagelijkse gang bij stadsstations sterk verschilt van die van de KNMI-stations (zie figuur 8) liggen de maximale UTCI-waarden overdag dicht bij elkaar.

Uitzondering is de UTCI in ochtend bij het station aan de Scheldestraat in Vlissingen. Dat station staat dan in de schaduw. Ook in de nacht zien we de verschillen weer wat oplopen. Dit is de invloed van het hitte-eiland, waardoor luchttemperaturen duidelijk hoger blijven en de verschillen in UTCI bij wegvallende zon en wind bepalen. Op heldere windstille dagen waarop de maximale UTCI overdag bereikt wordt is ook het UHI maximaal en daarom zijn de verschillen in de nacht relatief groot. 's Nachts is de UTCI buiten echter van minder belang omdat de meeste mensen thuis (binnen) zullen doorbrengen en de UTCI-waarden in Nederland bovendien flink gedaald zijn en in een categorie met nauwelijks of geen kans op hittestress vallen.



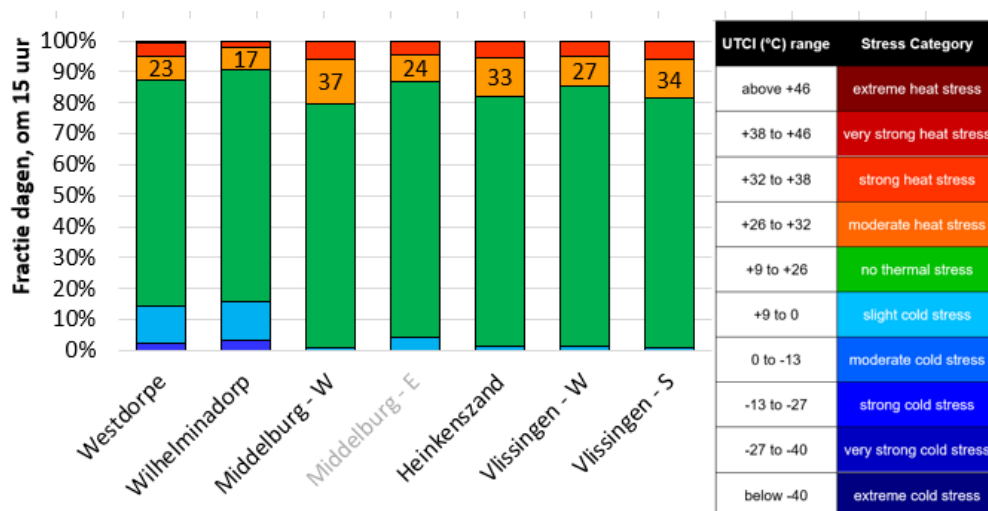
Figuur 9. Maximale UTCI per uur in respectievelijk juni, juli en augustus 2020. Middelburg Eisenhower is grijs weergegeven omdat een groot deel van de gegevens geschat is op basis van waarnemingen van andere stations.

In juni liep de maximale UTCI op tot rond 34°C. Deze waarde zit in de klasse die op "sterke hittestress" duidt (zie ook beneden). In juli bereikte de UTCI-waarden van 37.6°C ("sterke hittestress"), in augustus 38.4°C, op Middelburg Walplein en bij Westdorpe. Deze temperatuur zit net in de klasse "zeer sterke hittestress". Te zien is, dat maximale of bijna-maximale waarden vooral in stedelijk gebied een groot deel van de dag kunnen voorkomen, soms van eind van de ochtend tot wel halverwege de avond (bijvoorbeeld in juni of augustus vanaf 9 UTC (11 uur plaatselijke tijd) tot bijna 20 UTC (22 uur plaatselijke tijd)).

De gevoelstemperatuur kan geclassificeerd worden in categorieën die aangeven in welke mate sprake kan zijn van hittestress. Dit is voor elke dag in het zomerhalfjaar gedaan, om 15 uur lokale tijd. De luchttemperatuur is dan opgelopen tot rond het maximum en de zonnestraling is nog intens, wat vooral in gebouwd gebied leidt tot (bijna-)maximale UTCI-waarden (zie figuren 8 en 9). Deze keuze voor het tijdstip van de evaluatie sluit ook goed aan bij de aanbevelingen voor de klimaatstresstest voor hitte.

De resultaten van deze telling zijn weergegeven in figuur 10. Hanteren van de internationaal gebruikte classificatieschaal laat zien, dat in het zomerhalfjaar van 2020 op de stationslocaties in gebouwd gebied op 13-20% van de dagen in het zomerhalfjaar (24-37 dagen van 183) sprake was van een situatie die rond 15 uur lokale tijd (13 UTC) tot minimaal een beperkte mate van hittestress zou kunnen leiden. Dit was wél op minder dagen dan in 2019. Op één dag (8 augustus) zijn UTCI-waarden in de op één na hoogste categorie (zeer sterke hittestress) op de twee locaties waargenomen, namelijk Westdorpe en Middelburg Walplein. Het totaal aantal dagen waarop temperaturen voorkwamen tussen de 38°C en 32°C is in 2020 lager dan in 2019. Dit geldt echter niet voor alle locaties. Op de Scheldestraat in Vlissingen waren er meer dagen met temperaturen tussen de 32°C en 38°C, 11 dagen in 2020 tegen 7 dagen in 2019.

Ook hier blijkt weer een verschil tussen open en gebouwd gebied. Tussen de bebouwing kwamen situaties met mogelijk enige hittestress duidelijk vaker voor dan op de open KNMI-stations. In vergelijking met Middelburg Walplein ligt de hoeveelheid dagen warmer dan 32°C iets lager op de Scheldestraat in Vlissingen.



Figuur 10. Classificatie van geschatte UTCI voor de verschillende locaties. Zie paneel rechts voor de gehanteerde categorieën van hittestress per UTCI-interval. De Aanduiding van Middelburg Eisenhowerlaan (E) is grijs weergegeven om aan te geven dat een groot deel van de gegevens geschat is uit metingen van andere stations.

Beide stations liggen in versteend gebied, maar mogelijk is aan de Scheldestraat in Vlissingen de invloed van de zee merkbaar, of er is nog enige invloed van de schaduw op dat station.

Discussie en conclusies

De analyse van de meetgegevens uit 2020 bevestigt grotendeels de conclusies uit de jaren 2018 en 2019. De resultaten van de metingen in 2020 bevestigen dat men ook in Zeeland rekening moet houden met hittestress. Dit is een belangrijk gegeven, omdat hitte een groot aantal ongewenste maatschappelijke gevolgen kan hebben, zoals afnemende arbeidsproductiviteit, extra sterfte en een verhoogd aantal ziekenhuisopnames.

In het zomerhalfjaar van 2020 ontbraken door technische problemen op het meetstation in Middelburg Eisenhowerlaan de meetgegevens over de periode 1 april – 15 juli. Deze gegevens zijn aangevuld op basis van onderlinge statistische verbanden tussen gegevens van de meetstations in de eerdere meetjaren. Hoewel de metingen op die manier met een redelijk goede betrouwbaarheid gereproduceerd konden worden (zie bijlage 1) is het goed om voorzichtig met deze gegevens om te gaan, zeker waar het individuele dagen betreft. Zo kan met name de windsnelheid op individuele uren en dagen relatief veel afwijken, wat weer doorwerkt in de berekende UTCI voor zulke dagen. Omdat de conclusies hier vooral gebaseerd zijn op langere reeksen, op waarnemingen van meerdere meetpunten en ten slotte ook goed aansluiten bij de bevindingen uit 2019 worden ze ondanks de technische problemen als voldoende robuust beoordeeld.

De nabijheid van de zee zorgt niet systematisch voor verkoeling op regionale schaal in Zeeland; de invloed van de zee hangt naast de watertemperatuur af van het heersende weerpatroon, dat onder andere windrichting en warmteaanvoer van elders bepaalt. 's Nachts kan de nabijheid van groot open water de afkoeling op land belemmeren; overdag blijft de verkoeling op zeer warme dagen met wind uit zuidelijke tot oostelijke richting beperkt tot een relatief smalle strook in de buurt van de kust.

Bij de hier in de analyses betrokken Zeeuwse meetstations liep de hoogste seizoenstemperatuur bij 7 van de 8 stations op naar maxima tussen 34.6 en 36.1°C. Met een hoogste waarde van 33.3°C was KNMI-station Vlissingen een relatief koel station. Dat station ligt pal op de kust. Aan de op Scheldestraat in Vlissingen was de hoogste temperatuur 34.6°C. Daarentegen kwamen op KNMI-station Vlissingen wel 8 tropische nachten voor, tegen 0 bij Westdorpe en 3 bij Wilhelminadorp. Aan de Scheldestraat in

Vlissingen bedroeg het aantal tropische nachten 9, op de verder van de kust gelegen meetlocaties 4-7.

DATUM
23 november 2020

PAGINA
19 van 26

Een andere aanwijzing voor de geringe invloed van de zee overdag is het aantal dagen met matige tot zeer sterke hittestress volgens de "gevoelstemperatuur" UTCI. Die was aan de Scheldestraat in Vlissingen gelijk aan of hoger dan het aantal op de andere stadsstations, en veel hoger dan van KNMI-station Vlissingen. Dit ondanks het feit dat het station een deel van de dag in de schaduw staat. De maximale UTCI in de maanden juni, juli en augustus was vergelijkbaar voor alle stations, inclusief de KNMI-stations Westdorpe en Wilhelminadorp.

Afgezien van de hoge temperatuur midden mei en eind juni, de extreem warme periode met tropische dagen in de eerste helft van augustus en de ongewoon hoge temperatuur tegen eind september verliep de zomer van 2020 vrij gematigd qua hitte. Het aantal zomerse dagen (maximumtemperatuur 25°C of hoger) was hoger dan in 2019, maar het aantal tropische dagen (maximumtemperatuur 30°C of hoger) juist weer wat lager.

De luchttemperatuur is vooral 's nachts hoger in gebouwd gebied, inclusief de dorpskern Heinkenszand. De intensiteit van het hitte-eiland bedroeg in het zomerhalfjaar van 2020 gemiddeld 1.5 +/- 1°C, 0.4 graden lager dan in 2019. De maximale intensiteit liep op tot rond 5°C in Heinkenszand of een van de groenere wijken (Middelburg Eisenhowerlaan en Vlissingen Westerzicht) en tot rond 6.5°C in de meer versteende wijken (Middelburg Walplein en Vlissingen Scheldestraat). Zowel de gemiddelden als de maxima van het hitte-eiland effect zijn sterk afhankelijk van de keuze van het referentiestation, Wilhelminadorp of Westdorpe. Een vergelijking met het zuidelijker gelegen Westdorpe levert aanzienlijk hogere waarden voor het hitte-eiland op en een meer uitgesproken verloop over de dag dan een vergelijking met Wilhelminadorp.

Onafhankelijk van de keuze van het referentiestation zijn de groene, open wijken gemiddeld koeler in de nacht (tot rond 1°C) dan meer dichtbebouwde en versteende wijken. Tussen de bebouwing werden ook meer nachten geteld met een temperatuur hoger dan 15°C, maar in mindere mate in groene wijken. Dit resultaat bevestigt het verkoelend effect van groen op stadstemperaturen in de nacht.

Bij evaluatie van hitte is het van belang ook te letten op gevoelstemperatuur. Dit is een betere indicator voor hittestress dan alleen luchttemperatuur. Gevoelstemperatuur is in gebouwd

gebied duidelijk hoger. Op alle stadsstations en in Westdorpe en Wilhelminadorp bereikte de gevoelstemperatuur in de zomer van 2020 de op één na hoogste stressklasse (zeer sterke hittestress). Uit de analyses van de gegevens uit 2018 weten we dat de gemiddeld hogere gevoelstemperatuur in gebouwd gebied overdag vooral te verklaren is op grond van een gemiddeld lagere windsnelheid. Bij een totstandkoming van de maximale UTCI valt de wind vrijwel weg. Verder is het dan onbewolkt zodat de maximale zonneshijn overal in de regio vrijwel gelijk is. Ten slotte is er geen schaduw. Het gevolg is dat de maxima van de UTCI-waarden weinig verschillen tussen de stations. Verder valt op dat de maximale UTCI gedurende een groot deel van de dag benaderd of bereikt kan worden, dus niet alleen in de middag.

Bijlage 1:

Schatting van de temperatuur en luchtvochtigheid voor Middelburg Eisenhowerlaan, tussen 1 april en 15 juli.

DATUM
23 november 2020

PAGINA
21 van 26

Voor de periode tussen 1 april en 15 juli 2020 zijn geen betrouwbare meetwaarden beschikbaar van station 109, Middelburg Eisenhowerlaan (ME). De oorzaak is waarschijnlijk schade aan de accu en de datalogger door blikseminslag. Op 15 juli zijn de onderdelen vervangen. Daarom zijn gegevens in de genoemde periode geschat aan de hand van meetgegevens van de stadsstations uit 2019. Daarbij is de volgende methode gebruikt.

Temperatuur en luchtvochtigheid

In eerste instantie is de sterkte van een lineair statistisch verband bepaald tussen de gemeten temperatuur van ME en die van de stadsstations 108 (Middelburg Walplein, MW) en 111 (Vlissingen Westerblick, VW) in het meetproject. Deze analyse bevestigde de in 2018 gevonden sterke correlatie tussen data van deze stations (temperatuur: $r^2=0.9891$ voor MW en $r^2=0.9876$ voor VW; relatieve luchtvochtigheid: $r^2=0.9039$ voor MW en $r^2=0.8798$ voor VW). Vervolgens is de temperatuur van ME (T_{ME}) berekend via een weging van de temperaturen van MW (T_{MW}) en VW (T_{VW}):

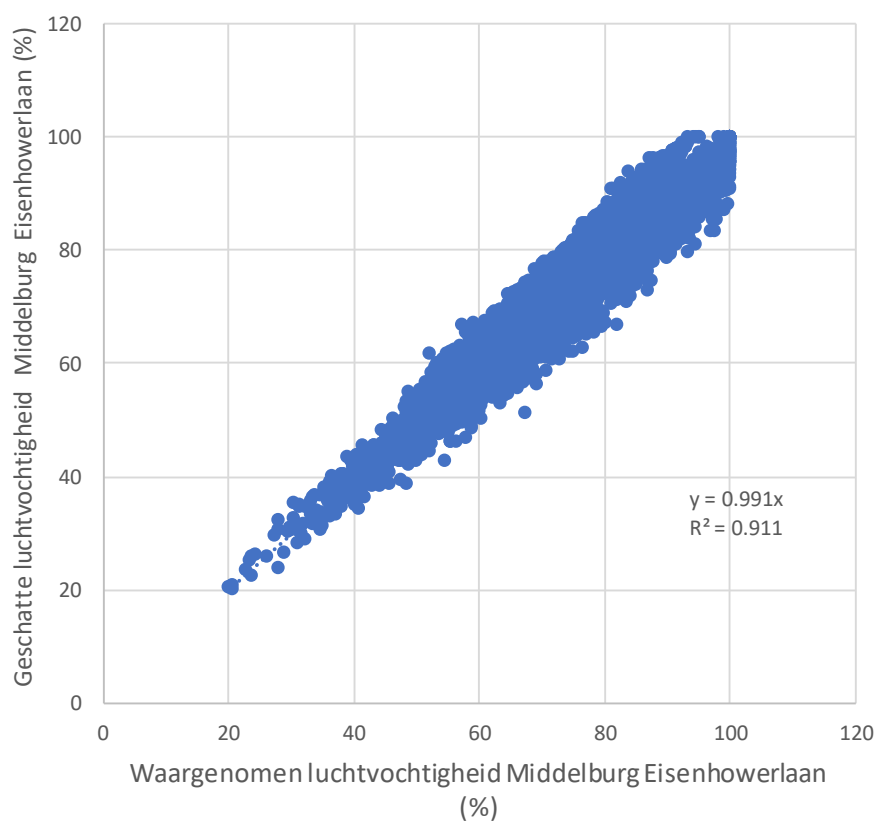
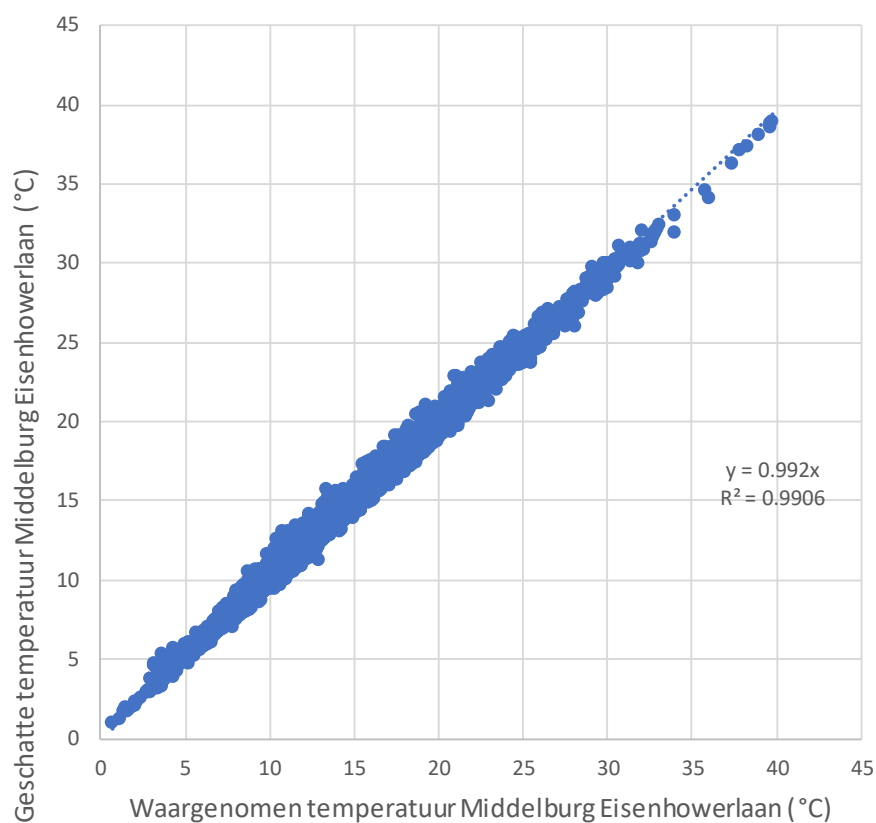
$$T_{ME} = 0,486 \times T_{MW} + 0,492 \times T_{VW}$$

De weegfactoren (0,486 en 0,492) zijn bepaald door de som van het gekwadrateerde verschil tussen de gemeten en de voorspelde temperaturen, bepaald over alle beschikbare gegevens, te minimaliseren. Daarbij is de "Solver" tool in Microsoft Excel® gebruikt.

Voor relatieve luchtvochtigheid (H) is op dezelfde manier een dergelijk verband bepaald, maar met inachtneming van het feit dat de relatieve luchtvochtigheid niet boven 100% mag uitkomen:

$$H_{ME} = 0,694 \times H_{MW} + 0,334 \times H_{VW}$$

Figuur B1 laat de resulterende verbanden zien tussen geschatte en gemeten waarden in het jaar 2019. Vooral de temperatuur wordt zeer goed gereproduceerd. De schatting van de luchtvochtigheid is iets minder betrouwbaar, maar nog steeds zeer acceptabel gezien het feit dat dit een samenstelling is van temperatuur én absolute luchtvochtigheid en daardoor lastiger te bepalen.



Figuur B1: Vergelijking van de waargenomen temperatuur in Middelburg, Eisenhowerlaan met de geschatte temperatuur ter plekke (boven) en van de waargenomen relatieve luchtvochtigheid met de geschatte relatieve luchtvochtigheid (beneden).

Zonnestraling

Zonnestraling is geschat uit waarnemingen van het dichtst bij ME gelegen station, MW. De nabijheid is belangrijk omdat inkomende zonnestraling op korte afstand onder invloed van bewolking veel sterker kan variëren dan -bijvoorbeeld- temperatuur. Ook variaties in de tijd zijn sneller.

DATUM
23 november 2020

PAGINA
23 van 26

Voor de nacht, hier gedefinieerd als de uren waarin de meetwaarden aan MW lager zijn dan 5W/m^2 , zijn alle waarden voor ME op 0 gezet. Voor het schatten van waarden overdag is de volgende methode gebruikt.

Allereerst is uit de meetwaarden van 2018 een lineair statistisch verband bepaald tussen de zonnestraling op het Walplein en die in de Eisenhowerlaan (zie figuur B2, A). Data uit 2019 konden niet gebruikt worden omdat deze voor het Walplein grotendeels gereconstrueerd waren.

Voor de analyse zijn gegevens tussen 10 en 18 uur lokale tijd gebruikt. Dit zijn in de zomer duidelijke daglichturen en ook de belangrijkste uren voor de gevoelstemperatuur buiten. Ondanks het feit dat uurwaarden gebruikt worden zijn enige effecten door bewolking nog wel aanwezig, maar deze zullen de statistieken van de gevoelstemperatuur uiteindelijk nauwelijks beïnvloeden.

Het gevonden statistische verband voor de periode tussen 10 en 18 UTC is toegepast op alle daglichturen om een eerste schatting voor de straling op ME te maken. Vervolgens is per uur een kleine correctie voor systematische schaduweffecten toegepast. Deze correctie is afgeleid uit de som van de stralingswaarden voor een specifiek uur, berekend voor het hele zomerhalfjaar. Zie Tabel B2 voor de gewichten tussen 8 en 16 UTC (10-18 uur lokale tijd). Voor de overige uren is gewicht 1 gebruikt.

Het vermogen om de gemeten straling in 2018 te reproduceren is behoorlijk goed, zonder een grote systematische afwijking. Wel zijn in een beperkt aantal gevallen overblijvende effecten door wolken te zien als de relatief grote afwijkingen (Zie figuur B2, B).



Figuur B2. Vergelijking van waargenomen straling aan het Walplein met die van de Eisenhowerlaan in Middelburg (A) en de evaluatie van de geproduceerde straling (B).

Tabel B2. Som van stralingsintensiteit per uur over het hele zomerhalfjaar van 2018 en gebruikt correctiefactor (verhouding)

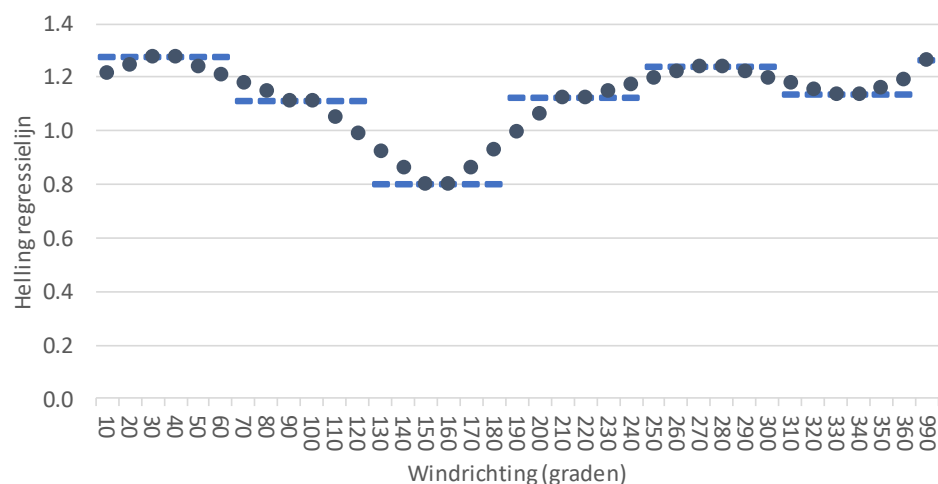
UTC	Som Walplein	Som Eisenhowerlaan	Verhouding
8	48962	46578	1.0512
9	65012	63595	1.0223
10	81702	80050	1.0206
11	95248	93244	1.0215
12	102048	100491	1.0155
13	100475	99893	1.0058
14	88927	92003	0.9666
15	74701	78022	0.9574
16	59689	61064	0.9775

Windsnelheid

De windsnelheid wordt sterk bepaald door lokale effecten van obstakels. Deze effecten zijn afhankelijk van de windrichting. Daarom is in dit geval een windrichting-afhankelijke correctiefactor bepaald, aan de hand van de metingen uit 2020. De windrichting is bepaald aan de hand van de metingen op KNMI-station Wilhelminadorp.

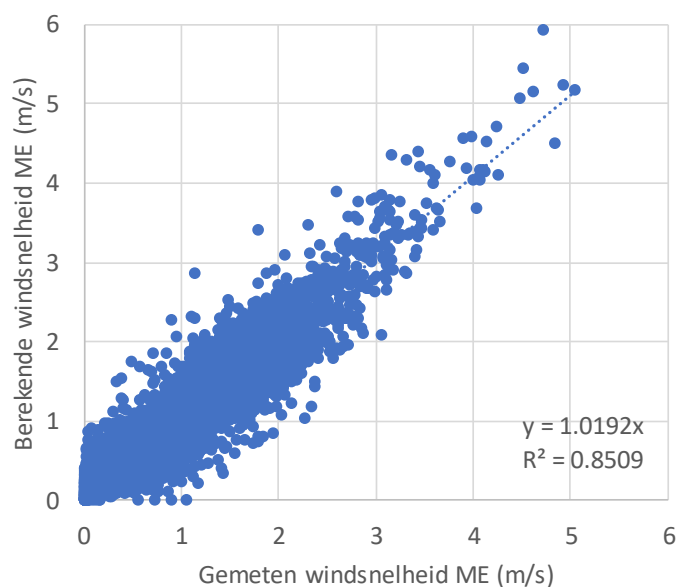
Eerst is het verband tussen de windsnelheid bij ME en de andere stations beoordeeld zonder rekening te houden met de windrichting. Het verband tussen ME en het station in Heinkenszand (He) bleek het sterkste te zijn ($r^2=0.7957$).

Vervolgens is per windrichtingsector van 60 graden een lineair statistische verband bepaald tussen de windsnelheid bij ME en He. Om een verfijning te kunnen toepassen is daarna ook een lopend gemiddelde over 5 punten bepaald van de helling van de regressielijn per 10 graden van de windrichting. In een aantal gevallen is de windrichting niet bekend, omdat die te variabel is of omdat het vrijwel windstil is. Ook voor deze groep, met over het algemeen lage windsnelheden, is de lineaire relatie bepaald, maar dit resultaat is niet in de verfijning meegenomen. Het resultaat is grafisch weergegeven in Figuur B3. Hieruit blijkt dat de windsnelheid in He over het algemeen hoger is (helling groter dan 1), behalve bij wind uit zuid tot zuidoostelijke richting (110-180 graden).



Figuur B3 Helling van het lineaire verband tussen de windsnelheid op station ME en de windsnelheid op station He als functie van de windrichting in Wilhelminadorp. De helling is bepaald voor een regressielijn die door de oorsprong is geforceerd.

De gereconstrueerde windsnelheid op basis van de verfijnde schatting van de hellingen is geëvalueerd in figuur B4. Gemiddeld wordt de windsnelheid goed gereproduceerd en over een heel seizoen genomen zullen de uitkomsten redelijk betrouwbaar zijn. Maar de bandbreedte rond de 1:1 lijn bedraagt ongeveer 0.5 m/s. Dit betekent dat vooral bij lagere windsnelheid tijdens *individuele* uren relatief grote afwijkingen kunnen optreden.



Figuur B4. Evaluatie van de geproduceerde windsnelheid aan de Eisenhowerlaan in Middelburg.