

Rapportage hittemetingen CoolTowns: jaaroverzicht 2021 en eindrapportage

Shannen Dill, Rutger Dankers

Team Climate Resilience, Wageningen Environmental Research

Dit onderzoek is uitgevoerd door Wageningen Environmental Research en gesubsidieerd door de Gemeente Middelburg in het kader van het Cool Towns project.

Wageningen Environmental Research
Wageningen, juni 2022

Dit rapport is ingediend ter publicatie. De opmaak van de uiteindelijke publicatie kan in details afwijken van deze versie.

Rapport
ISSN 1566-7197



WAGENINGEN
UNIVERSITY & RESEARCH

Interreg 
2 Seas Mers Zeeën
Europees Fonds voor Regionale Ontwikkeling

COOL TOWNS

Referaat NL: In het kader van het Interreg 2 Seas Project 'Cool Towns' zijn in de jaren 2018 t/m 2021 metingen uitgevoerd in een aantal Zeeuwse steden en dorpen van de omstandigheden die aanleiding kunnen geven tot hittestress. De gegevens van eerdere jaren (2018-2020) zijn al eerder geanalyseerd in jaarlijkse rapportages. Dit rapport geeft een overzicht van de metingen in 2021, waarbij dezelfde structuur wordt gehanteerd als in de eerdere rapporten. Daarnaast zijn de gegevens over de afgelopen vier jaar opnieuw geanalyseerd en samengevat, en worden er conclusies getrokken over het risico op hittestress in Zeeland.

Referaat UK: Within the framework of the Interreg 2 Seas Project 'Cool Towns', a measurement campaign was held in a number of towns and villages in the Dutch Province of Zeeland in 2018-2021, in order to determine the conditions leading to heat stress. The results of previous years have already been analysed in yearly reports. In this report, the measurements of 2021 are presented, following the same structure as in previous reports. In addition, the results over all of the four years are summarised and analysed, and some conclusions are drawn on the risk of heat stress in Zeeland.

Trefwoorden: Zeeland, hittestress, hitte-eiland-effect, meteorologie, klimaat

Dit rapport is gratis te downloaden van <https://doi.org/10.18174/XXXXX> of op www.wur.nl/environmental-research (ga naar 'Wageningen Environmental Research' in de grijze balk onderaan). Wageningen Environmental Research verstrekt *geen* gedrukte exemplaren van rapporten.

© 2022 Wageningen Environmental Research (instituut binnen de rechtspersoon Stichting Wageningen Research), Postbus 47, 6700 AA Wageningen, T 0317 48 07 00, www.wur.nl/environmental-research. Wageningen Environmental Research is onderdeel van Wageningen University & Research.

- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking van deze uitgave is toegestaan mits met duidelijke bronvermelding.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor commerciële doeleinden en/of geldelijk gewin.
- Overname, verveelvoudiging of openbaarmaking is niet toegestaan voor die gedeelten van deze uitgave waarvan duidelijk is dat de auteursrechten liggen bij derden en/of zijn voorbehouden.

Wageningen Environmental Research aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.



Wageningen Environmental Research werkt sinds 2003 met een ISO 9001 gecertificeerd kwaliteitsmanagementsysteem.

In 2006 heeft Wageningen Environmental Research een milieuzorgsysteem geïmplementeerd, gecertificeerd volgens de norm ISO 14001.

Wageningen Environmental Research geeft via ISO 26000 invulling aan haar maatschappelijke verantwoordelijkheid.

Inhoud

Verantwoording	5
Woord vooraf	6
Samenvatting	8
Executive Summary	12
1 Inleiding	16
2 Achtergrond	18
2.1 Meetstations	18
2.2 Gevoelstemperatuur	19
2.3 Hitte-eiland effect en warme nachten	20
3 Metingen in 2021	21
3.1 Luchttemperatuur	21
3.2 Minimumtemperatuur en maximumtemperatuur	21
3.3 Zomerse dagen en tropische dagen	24
3.4 Tropische nachten hoogst gemeten minimum temperatuur	24
3.5 Nachtelijke temperatuur en hitte-eiland effect	29
3.6 Gevoelstemperatuur (UTCI)	34
4 Samenvatting metingen in 2021	39
5 Samenvatting metingen van de afgelopen vier jaar	40
5.1 Tropische nachten	40
5.2 Invloed van de zee	43
5.3 <i>Hitte-eiland en invloed van bebouwing</i>	44
5.4 Hittestress en impacts	45
6 Conclusies en aanbevelingen	47
Bijlage 1 Details over de correcties van de meetgegevens in 2021	49
6.1 Temperatuur en luchtvochtigheid	49
6.2 Windsnelheid	49
6.3 Straling	49
6.4 Toegepaste correcties	50
6.4.1 Station 108 (MW): Temperatuur en luchtvochtigheid	50
6.4.2 Station 108 (MW): Wind	53
6.4.3 Station 108 (MW): Straling	55
6.4.4 Station 109 (ME): Temperatuur en luchtvochtigheid	57
6.4.5 Station 109 (ME): Wind	60
6.4.6 Station 109 (ME): Straling	63
6.4.7 Station 111 (VW): Straling	65
6.4.8 Station 112 (VS): Straling	66
Bijlage 2 Overzicht meetcampagne	68

Verantwoording

Rapport: Eindrapportage project "Zeeuwse Zomers"

Projectnummer: 5200044888

Wageningen Environmental Research (WENR) hecht grote waarde aan de kwaliteit van zijn eindproducten. Een review van de rapporten op wetenschappelijke kwaliteit door een referent maakt standaard onderdeel uit van ons kwaliteitsbeleid.

Woord vooraf

Kennis over hittestress in Nederland is vooral gebaseerd op onderzoek in grote steden. Overdag wordt in steden meer warmte opgeslagen dan in het landelijk gebied waar beduidend minder bebouwing is. Deze warmte komt langzaam weer vrij wat leidt tot meer warme dagen en nachten. Dit verschijnsel wordt ook wel het hitte-eiland effect genoemd. Minder duidelijk is in hoeverre dit effect ook speelt in kleinere steden en dorpen, en daarmee een rol kan spelen in het ontstaan van hittestress. 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.

In het kader van het Interreg 2 Seas Project 'Cool Towns' zijn in de jaren 2018 t/m 2021 metingen uitgevoerd in een aantal Zeeuwse steden en dorpen van de omstandigheden die aanleiding kunnen geven tot hittestress. De gegevens van eerdere jaren (2018-2020) zijn al eerder geanalyseerd in jaarlijkse rapportages. Dit rapport geeft een overzicht van de metingen in 2021, waarbij dezelfde structuur wordt gehanteerd als in de eerdere rapporten. Daarnaast zijn de gegevens over de afgelopen vier jaar opnieuw geanalyseerd en samengevat, en worden er conclusies getrokken over het risico op hittestress in Zeeland.

Samenvatting

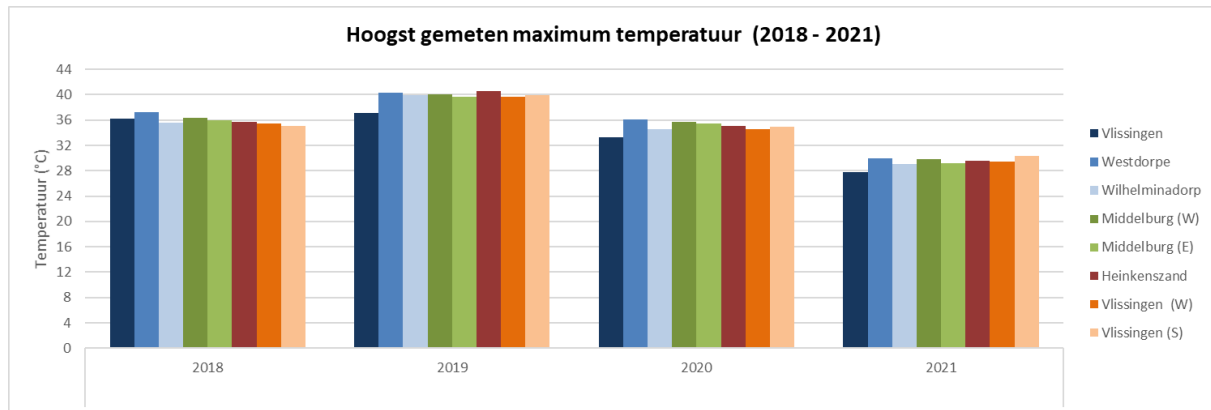
Kennis over hittestress in Nederland is vooral gebaseerd op onderzoek in grote steden. Overdag wordt in steden meer warmte opgeslagen dan in het landelijk gebied waar beduidend minder bebouwing is. Deze warmte komt langzaam weer vrij wat leidt tot meer warme dagen en nachten. Dit verschijnsel wordt ook wel het hitte-eiland effect genoemd. Minder duidelijk was in hoeverre dit effect ook speelt in kleinere steden en dorpen, en daarmee een rol kan spelen in het ontstaan van hittestress.

In het kader van EU Interreg project CoolTown's zijn over de periode van 2018 tot en met 2021 metingen in Zeeuwse steden en dorpen uitgevoerd die helpen meer inzicht te verkrijgen omtrent hittegevoeligheid in Zeeland. Hiervoor zijn op een vijftal locaties meetstations geplaatst waar weerkundige variabelen (temperatuur, luchtvochtigheid, straling en windsnelheid) zijn gemeten die belangrijk zijn voor hitteonderzoek. Bij de keuze van deze meetlocaties is rekening gehouden met de afstand tot de kust en de mate van versterking en bebouwing. Hierbij zijn twee locaties in Middelburg en Vlissingen gekozen in relatief versteende en dichtbebouwde wijken en twee locaties in wijken met een meer open karakter. Het vijfde station is geplaatst in een relatief kleine kern in Heinekensand. Deze meetlocaties zijn nog aangevuld met gegevens afkomstig van de KNMI in Vlissingen, Westdorpe en Wilhelminadorp. Deze stations dienen als referentiestations, waarbij met name de laatste twee stations in open, landelijk gebied liggen.

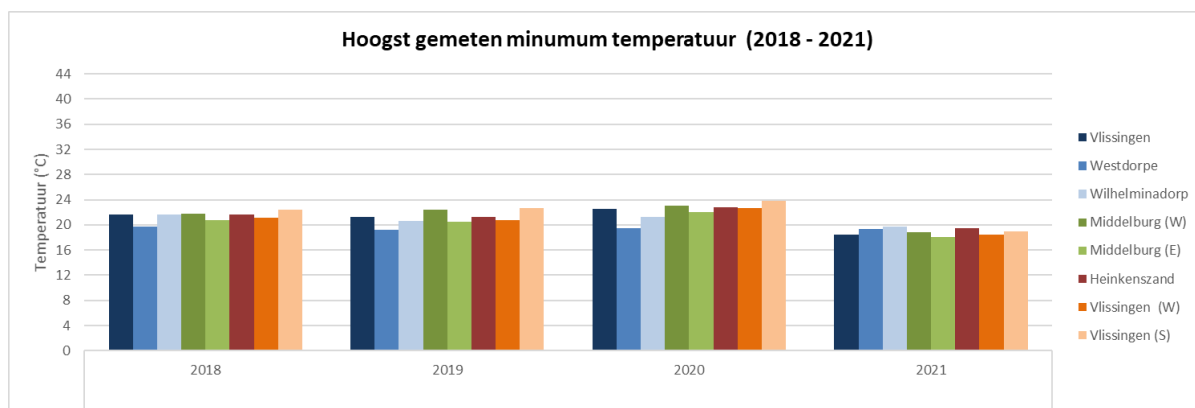


Temperaturen overdag en 's nachts

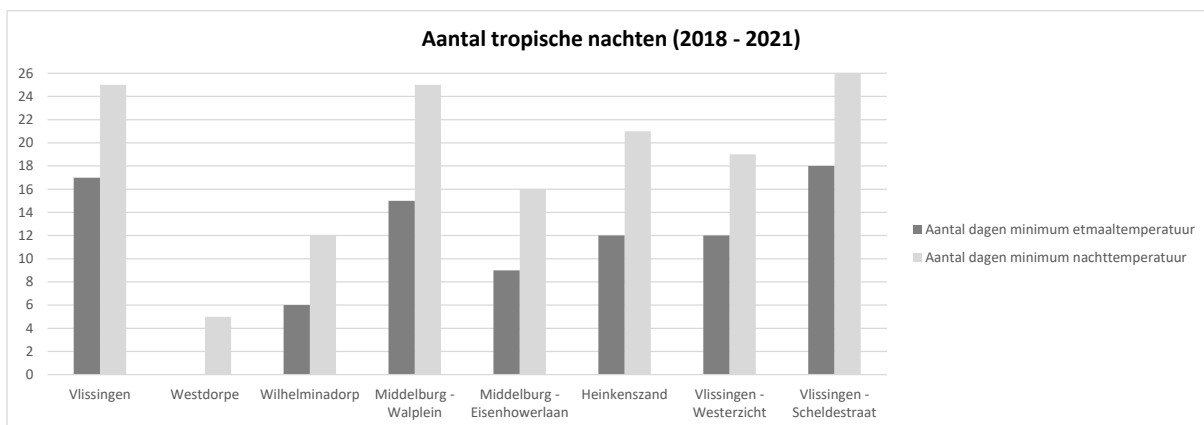
Uit de metingen van afgelopen vier jaar kan geconcludeerd worden dat ook steden en dorpen in Zeeland te maken hebben met hitte die mogelijk kan leiden tot problemen. Van de vier meetjaren waren er drie (2018, 2019 en 2020) behoorlijk warm. Alleen de zomer van 2021 was beduidend minder heet dan de voorgaande jaren. De hoogste temperaturen zijn gemeten in 2019 met maximumtemperaturen tot boven de 40 graden op drie locaties (Heinkenszand, Westdorpe en Middelburg Walplein).



In 2020 zijn op de meeste stations de hoogste minimumtemperaturen waargenomen, met 23.8°C in Vlissingen als hoogste 24-uursminimum in de meetperiode. De minima lagen in de bebouwde locaties in Zeeland een stuk hoger dan in het omliggende landelijk gebied. In de Scheldestraat in Vlissingen, een locatie met een relatief hoge mate van bebouwing, worden vaker hogere temperaturen gemeten in vergelijking met andere meet- en referentie stations.



Met uitzondering van in 2021 zijn op alle stations een behoorlijk aantal zomerse dagen (maximumtemperatuur boven de 25°C) en een kleiner aantal tropische dagen (maximumtemperatuur boven de 30 graden) gemeten. Daarnaast zijn er ieder jaar tropische nachten (minimumtemperatuur niet lager dan 20°C) waargenomen, opnieuw met uitzondering van 2021. Voor de bepaling van het aantal tropische nachten is zowel de minimum etmaaltemperatuur (tussen 00:00 en 24:00) als de minimum nachttemperatuur (tussen 18:00 en 06:00) gebruikt om een beter beeld te krijgen van de mate van hittestress. In een recente analyse van het KNMI werd aangetoond dat het meetstation in Vlissingen het hoogst aantal warme en tropische nachten in Nederland telt. Onze metingen laten zien dat dit aantal op de Scheldestraat in Vlissingen zelfs nog hoger ligt.



Op basis van de minimum nachttemperatuur kwam het hoogste aantal tropische nachten voor in 2020, met 13 tropische nachten in de Scheldestraat in Vlissingen en 11 op het Walplein in Middelburg. In 2021 werd daarentegen op alle stations slechts één tropische nacht gemeten. Opvallend is dat het aantal tropische nachten op het KNMI station Westdorpe beduidend lager ligt dan op de andere stations, wat waarschijnlijk te maken heeft met de ligging van dit station. Overdag is dit station juist vaak warmer dan de andere stations. Het aantal zomerse en tropische dagen is het laagst op het KNMI station Vlissingen, dat pal aan de kust ligt.

Hitte-eiland effect

De metingen laten zien dat vooral 's nachts de temperaturen in bebouwd gebied hoger liggen dan in de landelijke omgeving. Daarmee is aangetoond dat het bekende hitte-eiland effect ook in Zeeland een rol speelt. In de meer versteende wijken in Middelburg en Vlissingen liep de intensiteit van het hitte-eiland onder sommige omstandigheden op tot wel meer dan 6°C. De sterkte van dit effect is echter vooral afhankelijk van de keuze van het referentiestation om het temperatuurverschil tussen stad en land uit te rekenen: omdat de temperaturen in Westdorpe 's nachts lager liggen, lijkt het hitte-eiland effect groter wanneer dit station wordt gekozen dan wanneer Wilhelminadorp wordt gebruikt. 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.

Hittestress

De mate waarin hitte problemen kan veroorzaken is niet alleen afhankelijk van de luchttemperatuur, maar ook van andere omgevingsfactoren zoals luchtvochtigheid en ventilatie. Om de kans op hittestress te bepalen is op basis van de gemeten temperatuur, luchtvochtigheid, hoeveelheid binnenkomende zonnestraling en windsnelheid voor elk meetstation de *Universal Thermal Climate Index (UTCI)*, een soort gevoelstemperatuur, uitgerekend. Hoewel het hitte-eiland effect overdag kleiner lijkt te zijn dan 's nachts, is met name door het wegvallen van de wind de kans op hittestress overdag in bebouwd gebied groter dan in de omgeving. Op alle meetstations in bebouwd gebied was er in alle meetjaren in de zomer sprake van een

situatie die in de middag tot minimaal een beperkte mate van hittestress zou kunnen leiden. Het aantal dagen waarop dit gebeurde liep uiteen van 12 (Middelburg Eisenhowerlaan in 2021) tot 56 (Middelburg Walplein in 2018), oftewel zo'n 7-30% van de dagen in het zomerhalfjaar. Op een aantal dagen kwamen ook situaties voor met een kans op sterke hittestress, en op een enkele dag (zoals op 25 juli 2019) zelfs op zeer sterke hittestress, de op één na hoogste categorie in de internationaal gebruikte classificatie van de UTCI.

Invloed van groen en zee

De metingen van afgelopen jaren laten zien dat meer groen, schaduw en lagere dichtheid van bebouwing de kans op hittestress kunnen verminderen. Gedurende de nacht koelen de locaties met een hoge mate van versterking en bebouwing minder snel af, waardoor de kans op warme en tropische nachten toeneemt. In de groenere buitenwijken werden dan ook minder warme en tropische nachten geteld dan in de binnensteden. Ook het aantal zomerse en tropische dagen ligt hoger op de stedelijke meetstations dan op de stations in de minder dicht bebouwde wijken, maar dit verschil is minder groot dan in de nacht. Zo zijn er in de Scheldestraat in Vlissingen over de vier jaar 29 tropische dagen geregistreerd tegenover 24 in Vlissingen Westerzicht; en 26 tropische dagen op het Walplein in Middelburg tegenover 21 in de Eisenhowerlaan.

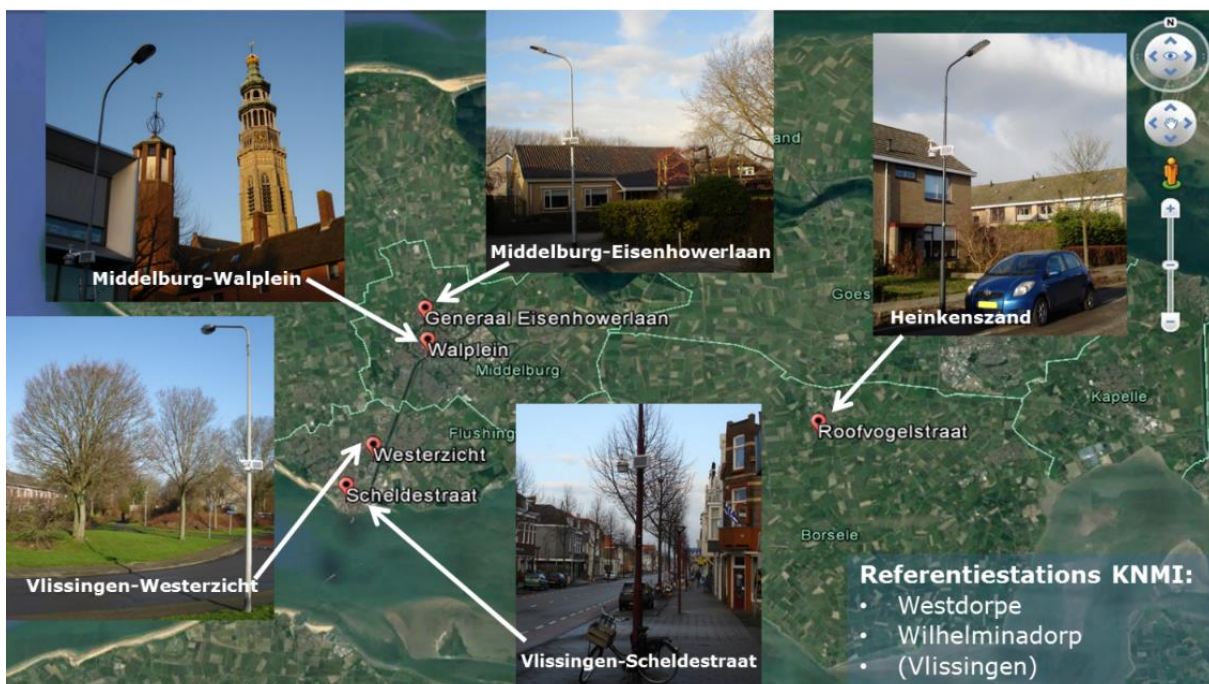
De metingen vormen ook een aanwijzing dat de nabijheid van de zee niet automatisch zorgt voor verkoeling op regionale schaal in Zeeland. De invloed van de zee hangt naast de watertemperatuur af van het heersende weerpatroon, dat onder andere windrichting en warmteaanvoer van elders bepaalt. Overdag blijft de verkoeling op zeer warme dagen met wind uit zuidelijke tot oostelijke richting waarschijnlijk beperkt tot een relatief smalle strook in de buurt van de kust. Zo is het aantal dagen met matige tot zeer sterke hittestress in de Scheldestraat in Vlissingen gelijk aan of hoger dan het aantal op de andere stadsstations, en veel hoger dan van KNMI-station Vlissingen.

's Nachts kan de nabijheid van groot open water de afkoeling op land belemmeren, maar hoever dit effect reikt is niet meteen duidelijk. Zo ligt op station Vlissingen Westerzicht het totaal aantal tropische nachten over de vier jaar een fractie lager dan in het meer landinwaarts gelegen Heinkenszand (19 tegen 21), hoewel het aantal warme nachten dan wel weer een fractie hoger is (54 tegen 51). Deze bevindingen geven aan dat de meteorologische omstandigheden de drijvende kracht zijn achter het zich voordoen van warme en tropische nachten, en dat nabijheid van de zee, net als dichte bebouwing, een bijkomende factor is die de kans op hoge temperaturen in de nacht nog verder verhoogd. Niet voor niets is het aantal warme en tropische nachten het hoogst in de Scheldestraat in Vlissingen, waar beide factoren een rol spelen.

Executive Summary

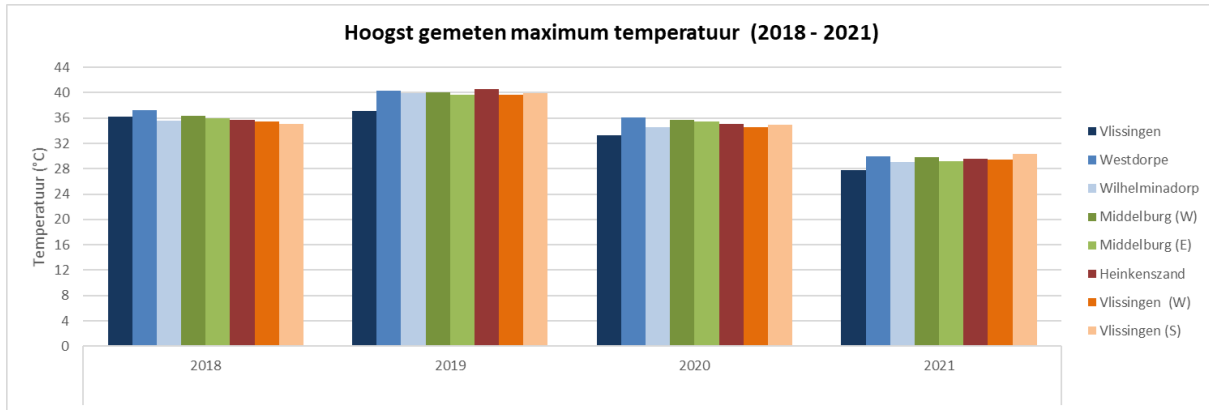
Knowledge about heat stress in The Netherlands has been based primarily on research in the bigger cities. During daytime the urban environment absorbs and retains more heat than the surrounding countryside, which is then released at night, resulting in a higher number of warm days and nights. This phenomenon is known as the urban heat island effect. To what extent this effect also plays a role in smaller towns and villages, and may give rise to heat stress, is however less clear.

Within the framework of the EU Interreg project CoolTowns measurements were made between 2018 and 2021 in several towns and villages in the province of Zeeland in The Netherlands to gain more insight into the sensitivity of this area to heat stress. Urban weather stations were placed at five locations measuring a range of meteorological variables that are relevant to heat and heat stress, including temperature, humidity, radiation and wind speed. When selecting the locations, the distance to the coast and the degree of urbanisation were taken into consideration. In the towns of Middelburg and Vlissingen, two locations were selected in relatively densely built-up areas in the city centres, and two locations in areas in the suburbs with a more open character. The fifth station was placed in the relatively small village of Heinkenszand. In addition, data were analysed from the weather stations of the Royal Dutch Meteorological Institute (KNMI) in Vlissingen, Westdorpe and Wilhelminadorp, acting as a reference for the urban measurement sites. The last two stations in particular are situated in open areas in the countryside, with Westdorpe situated across the Westerschelde estuary.

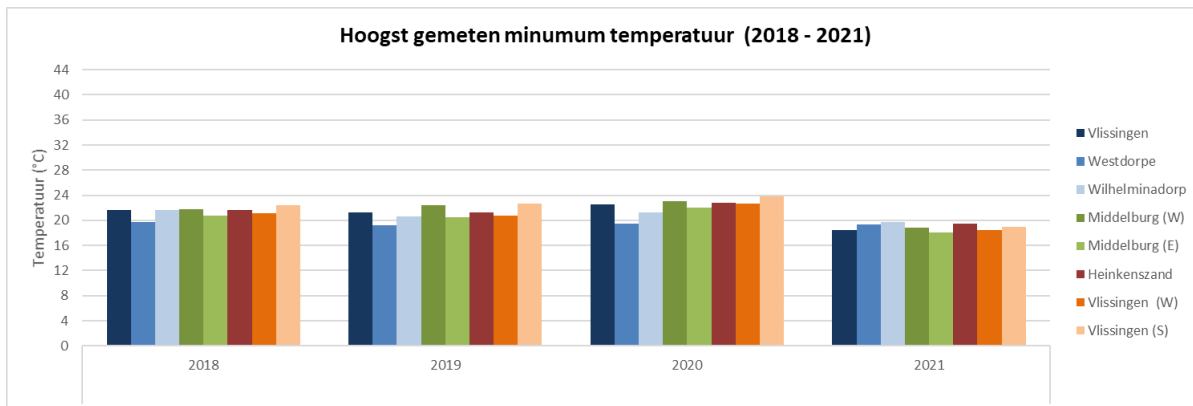


Daytime and nighttime temperatures

The measurements from the past four years demonstrate that also towns and villages in Zeeland experience heat conditions that may give rise to impacts. Out of the four years, three summers (2018, 2019 and 2020) were relatively hot. Only the summer of 2021 was considerably less warm than in the preceding years. The highest temperatures were measured in 2019 when maximum temperatures exceeded 40°C at three locations (Heinkenszand, Westdorpe and Middelburg Walplein).

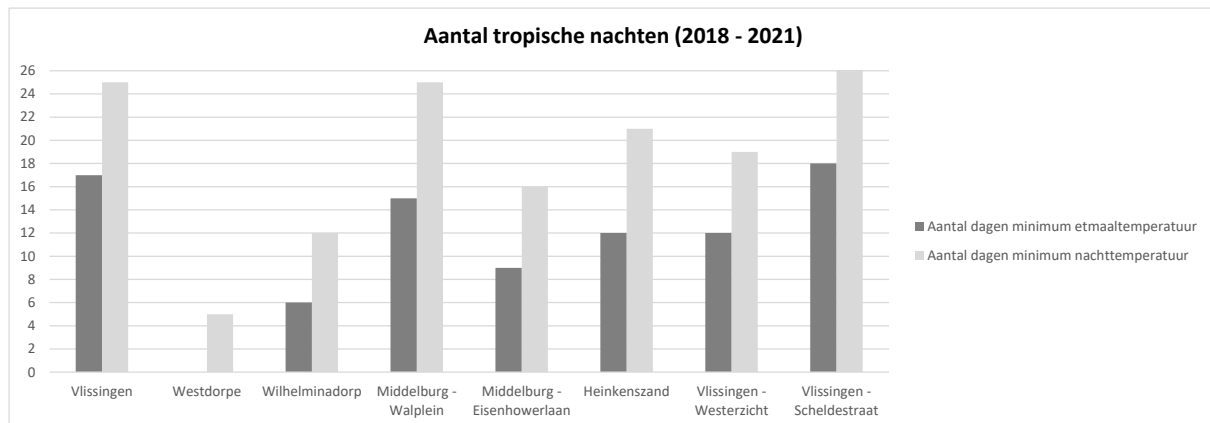


The highest minimum temperatures were recorded in 2020, with 23.8°C at Vlissingen as the highest 24-hour minimum during the measurement campaign. In general, minimum temperatures at the urban sites were considerably higher than in the surrounding countryside. In the Scheldestraat in Vlissingen, a site with a high urban density, high minimum temperatures occurred more often than at the other sites including the reference stations.



With the exception of 2021, a significant amount of summerly days (maximum temperature above 25°C) and a smaller number of tropical days (maximum temperature above 30 degrees) has been recorded at all stations. In addition, several tropical nights (minimum temperature not lower than 20°C) were observed every year, again with the exception of 2021. To determine the number of tropical nights, both the 24-hour minimum temperature (between 00:00 and 24:00) as well as the nighttime minimum temperature (between 18:00 and 06:00) were analysed to gain more insight into the potential for heat stress. A recent analysis by KNMI showed

that the highest number of warm (minimum temperature above 18 degrees) and tropical nights in The Netherlands is observed at the Vlissingen weather station. The current measurement campaign showed that this number is even higher at the urban site in the Scheldestraat in Vlissingen.



Based on the nighttime minimum temperature, the highest number of tropical nights occurred in 2020, with 13 tropical nights in the Scheldestraat and 11 at Walplein in Middelburg. In contrast, only one tropical night was observed in 2021 at all stations. The number of tropical nights at KNMI Westdorpe is considerably lower than at all the other stations, which may be explained by the more exposed location of this station. During daytime, this weather station is often warmer than the other stations. Of all the stations, the number of summerly and tropical days is lowest at KNMI Vlissingen, which is located directly on the coast of the Westerschelde Estuary.

Urban heat island effect

The measurements show that particularly during the night temperatures in the urban areas are higher than in the countryside. This demonstrates that the well-known urban heat island effect also occurs in Zeeland. Under some conditions, the intensity of the heat island amounted to 6°C or more in the more densely built-up parts of Middelburg and Vlissingen. However, the exact strength of the urban heat island is highly dependent on the reference station chosen to calculate the temperature difference between town and countryside: since nighttime temperatures at Westdorpe are considerably lower than at the other stations, the urban heat island appears larger when this station is used instead of Wilhelminadorp. Regardless of the choice of reference station, the greener and more open suburbs are generally cooler during the night (up to around 1°C) compared to the more built-up areas.

Heat stress

To what extent heat may cause problems depends not only on air temperature, but also on other environmental factors, such as humidity and ventilation. To analyse the potential for heat stress, the measurements of temperature, humidity, incoming solar radiation and wind speed at each site were used to calculate the *Universal Thermal Climate Index (UTCI)*, an indicator of thermal comfort that could be described as a

'feels-like' temperature. Although the daytime urban heat island appears to be smaller than at night, during the day the potential for heat stress is highest in the urban areas, compared to the surrounding countryside, which to a large extent may be explained by the lower wind speeds. At all urban sites conditions were observed every year on several days that could give rise at least a moderate amount of heat stress in the afternoon. The number of days on which this occurred ranged from 12 days (Middelburg Eisenhowerlaan in 2021) to 56 days (Middelburg Walplein in 2018), or between 7 to 30% of the days in the summer half year. On a smaller number of days, conditions were observed with a potential for strong heat stress, and on individual days (such as 25 July 2019) even with the potential for very strong heat stress, which is the one-but-highest category in the widely accepted UTCI classification.

Influence of vegetation and the sea

The measurements in the past four years demonstrate that more vegetation, shade and a lower building density can reduce the likelihood of heat stress. During the night, the sites with a high degree of built-up area cool down more slowly, thereby increasing the chance of a warm or tropical night. Not surprisingly, a lower number of warm and tropical nights was observed in the greener suburbs, compared to the city centres. The number of summerly and tropical days is higher in the high density areas as well, although the difference is smaller than in the night. In the four years of the measurement campaign, 29 tropical days were observed in the Scheldestraat in Vlissingen, compared to 24 in Vlissingen Westerzicht; likewise, 26 tropical days were recorded on Middelburg Walplein compared to 21 in the Eisenhowerlaan.

The results also provide an indication that the proximity of Zeeland to the North Sea does not necessarily result in cooler temperatures. Apart from water temperature, the influence of the sea will also depend on the prevailing weather pattern, determining the wind direction and the supply of heat from other regions. On very hot days with southerly to easterly flows, the cooling effect may be limited to a narrow strip along the coast. In spite of its relative proximity to the coast, the number of days with moderate to very strong heat stress in the Scheldestraat in Vlissingen is much higher than at the KNMI Vlissingen weather station directly on the coast, and comparable to, or even higher than the number at the other urban sites.

The proximity of a large body of warm water may limit nighttime cooling on land, however it is as of yet unclear how far this influence is reaching. At Vlissingen Westerzicht the total number of tropical nights is slightly lower than in Heinkenszand which is situated more inland (19 vs. 21), although the number of warm nights is slightly higher (54 vs. 51). These results indicate that the meteorological conditions are the major driver of warm and tropical nights, while proximity to the sea, just like a high degree of urbanisation, acts as a contributing factor further increasing the probability of high temperatures during the night. This explains why the number of warm and tropical nights is highest in the Scheldestraat in Vlissingen where both factors are present.

1 Inleiding

De zomers van 2018, 2019 en 2020 in Nederland waren gedenkwaardig. De zomer van 2018 was erg warm en duurde lang. In 2019 werden hittestrecords 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. In 2021 waren de temperaturen meer gematigd en bleven de extreem warme temperaturen grotendeels uit. Voornamelijk de koude start in april was kenmerkend. Volgens de klimaatscenario's van het KNMI neemt het aantal periodes met hitte en hun intensiteit in de komende decennia toe, maar dat hittestrecords al zó snel en zó intens zouden sneuvelen als in de afgelopen jaren 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.

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 achtergrondtemperatuur 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, 2019 en 2020 zijn eerder gerapporteerd en geanalyseerd. In het kader van een bachelor studie 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 2021 en volgt ongeveer dezelfde lijn als de rapportage over de metingen in 2018, 2019 en 2020. Daarnaast kijken we ook terug op de metingen in de vorige jaren. 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 CoolTowns te evalueren. Die evaluatie gebeurt aan de Hogeschool van Amsterdam en is geen onderdeel van deze rapportage.

2 Achtergrond

2.1 Meetstations

De hittemetingen 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.



Figuur 1. Overzicht van CoolTowns meetlocaties in bebouwd gebied.

Bij de keuze van de meetlocaties is verder rekening gehouden met afstand tot de kust en praktische zaken als vandalisme en mogelijkheden voor montage.

Naast de meetgegevens van de stations in het bebouwde gebied worden gegevens van de KNMI-weerstations in Vlissingen, Westdorpe en Wilhelminadorp gebruikt als referentie stations. De locatie van deze stations is weergegeven in **Figuur 2**.



Figuur 2 Overzicht referentiestations KNMI.

Figuur 3 geeft een impressie van de opstelling van de meetstations in bebouwd 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.



Figuur 3. 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.

Ook in 2021 zijn meetgegevens van verschillende stations verloren gegaan door technische problemen. Net als in voorgaande jaren zijn, waar mogelijk, 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 de gegevens van 2021 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 bijlagen.

2.2 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 dicht bij 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.

2.3 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 het landelijk gebied 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).

3 Metingen in 2021

3.1 Luchttemperatuur

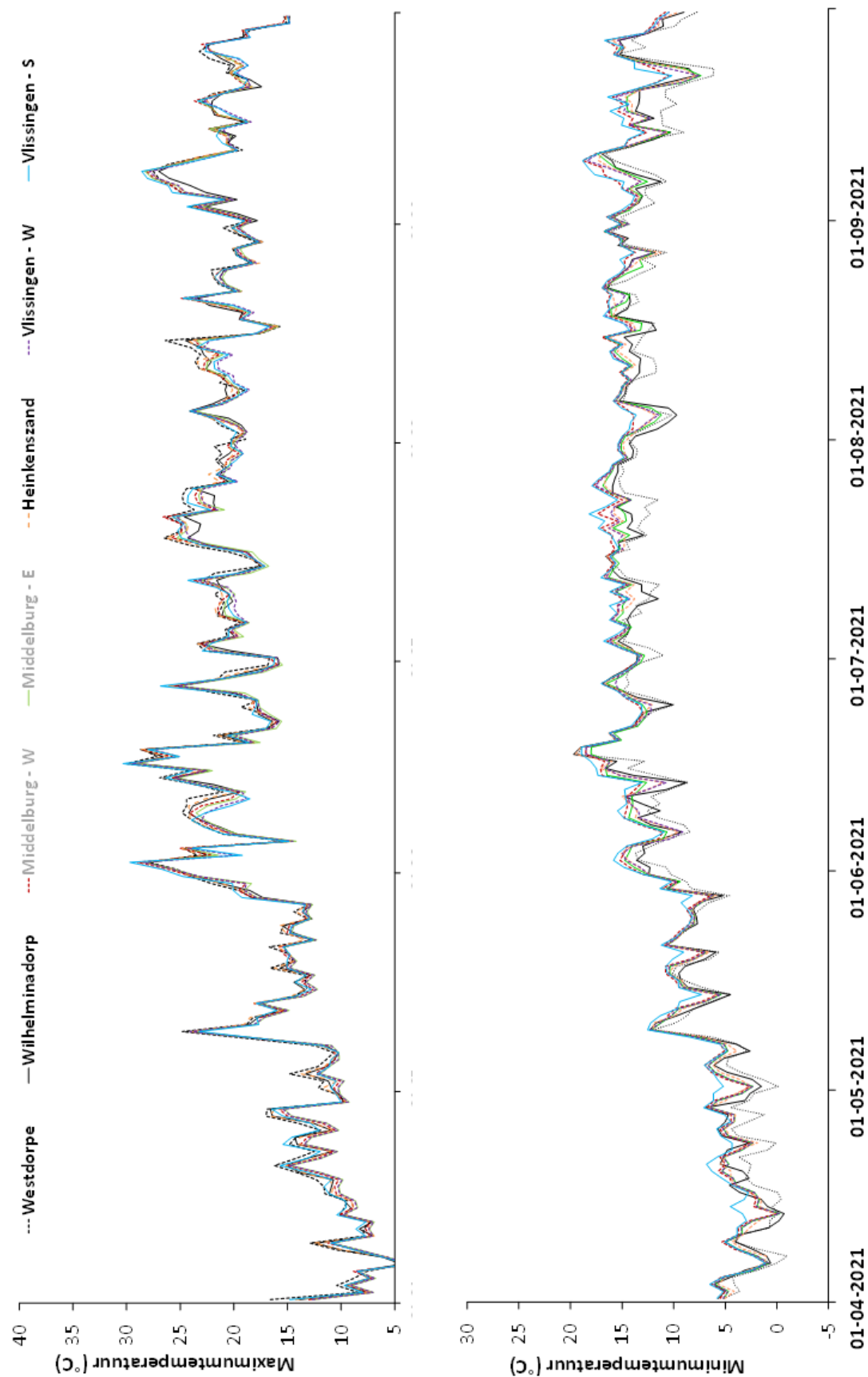
Het waargenomen verloop van de dagelijks maximum- en minimumtemperatuur is voor alle meetstations weergegeven in [Figuur 4](#). Helaas zijn de temperatuur- en vochtmetingen in Middelburg Eisenhowerlaan in de periode van 22 februari tot 14 juni mislukt. Betrouwbare metingen zijn alleen beschikbaar vanaf 16 juli. Ook op meetlocatie Middelburg Walplein is de meetreeks incompleet. De logger heeft de eerste maanden van 2021 niet gefunctioneerd. Het verloop van deze grootheden op Middelburg Eisenhowerlaan en Middelburg Walplein is daarom geschat op basis van een vergelijking van de in 2020 gemeten temperaturen en vochtgehaltes tussen de stations in Middelburg 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 Walplein en Middelburg Eisenhowerlaan.

3.2 Minimumtemperatuur en maximumtemperatuur

De lente van 2021 wordt gekenmerkt door een periode met lage temperaturen in april en mei. Deze temperaturen werden zowel op landelijk, als op regionaal niveau in Zeeland gemeten. Hierbij kwamen regelmatig temperaturen voor rond het vriespunt waarbij op 7 april een minimumtemperatuur is gemeten van -1 graden in Westdorpe. Ook de opvolgende week werden nog lage temperaturen waargenomen met als minimum -0,7 graden in Wilhelminadorp. Begin april kwam de temperatuur vaak niet boven de 10 graden met enkele uitschieters. Vanaf midden april begon te temperatuur te stijgen. De maximum temperatuur van 16,8 graden is bereikt in Westdorpe op 28 april. Tot juni werd de 20 graden grens maar één keer overschreden. Op 9 mei is 24,8°C gemeten in Westdorpe. De zomer van 2021 begon zeer warm. Op 2 juni werd een temperatuur gemeten van 29 graden. Midden juni werd de 30 graden grens overschreden. Hierna volgden nog enkele dagen met hoge temperaturen, maar in de laatste weken van juni zakte de temperatuur weer, een enkele uitschieter daargelaten. De rest van de zomer van 2021 wordt over het algemeen gekarakteriseerd door gematigde temperaturen. De 30 graden grens is in de periode tot eind september niet meer overschreden.

Ook de minimumtemperatuur piekte in midden juni, met een laagste temperatuur van 19,5°C in Heinkenszand en 19,7°C in Wilhelminadorp. De minimumtemperatuur in Westdorpe ligt over het algemeen lager dan de andere meet- en referentiestations.

Dit komt waarschijnlijk door de open ligging en vrije invloed van wind, gebrek aan vegetatie en beperkte invloed van beton en asfalt op het absorberen van warmte. Op het meetstation op de Scheldestraat in Vlissingen worden juist vaker hogere temperaturen gemeten in vergelijking met de andere meet- en referentiestations. De hoge mate van bestrating en gebouwen kan hierin een rol spelen waardoor er opgeslagen warmte weer vrijkomt en er 's nachts hogere temperaturen worden gemeten.



Figuur 4. Verloop van dagelijkse maximumtemperatuur (boven) en minimumtemperatuur (beneden) in het zomerhalfjaar van 2021.

3.3 Zomerse dagen en tropische dagen

Tabel 1 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 10 en 14 in het bebouwd gebied en Wilhelminadorp. Het zuidelijker gelegen Westdorpe telde 14 zomerse dagen, het vrijwel op de kust gelegen KNMI-station Vlissingen 6. Het aantal zomerse dagen was beduidend lager op alle locaties in vergelijking met 2020. In Vlissingen was het aantal zelfs meer dan gehalveerd (6 in vergelijking met 22 in 2020), net als in Heinkenszand (13 t.o.v. 27) en Wilhelminadorp (10 t.o.v. 25). In 2021 werd de hoogste gemeten temperatuur vastgesteld op 30.3°C op de Scheldestraat in Vlissingen. Vlak aan zee, op KNMI-station Vlissingen was de hoogst gemeten temperatuur dit jaar “slechts” 27.8°C.

3.4 Tropische nachten hoogst gemeten minimum temperatuur

Het aantal tropische nachten (minimum 20°C of hoger) is eerst, net als in vorige jaren, geteld aan de hand van de minimum etmaaltemperatuur (de laagste temperatuur tussen 00:00 en 24:00). In tegenstelling tot de eerdere jaren zijn er in 2021 geen tropische nachten met een minimum etmaaltemperatuur hoger dan 20°C geregistreerd op zowel de meet- als op de KNMI referentiestationen. De hoogste minima kwamen dit jaar uit tussen 18°C en 19.7°C

Tabel 1 Overzicht van het aantal zomerse dagen, tropische dagen en nachten en gemeten hoogste maximum- en minimumtemperatuur in het zomerhalfjaar van 2021. Het aantal tropische nachten is geteld aan de hand van de minimum etmaaltemperatuur. Middelburg Walplein en Middelburg Eisenhowerlaan zijn grijs weergegeven om aan te geven dat het hier deels 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	6	14	10	14	13	13	11	14
Tropische dagen	0	1	0	0	0	0	0	1
Hoogst gemeten max (°C)	27.8	30	29	29.8	29.1	29.5	29.5	30.3
Tropische nachten	0	0	0	0	0	0	0	0
Hoogst gemeten min (°C)	18.5	19.3	19.7	18.8	18.0	19.5	18.5	18.9

Zoals een recente analyse van het KNMI laat zien¹, levert het gebruik van de minimum nachttemperatuur een hoger aantal tropische nachten op. Dit wordt veroorzaakt

¹ Zie <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/warme-nachten>

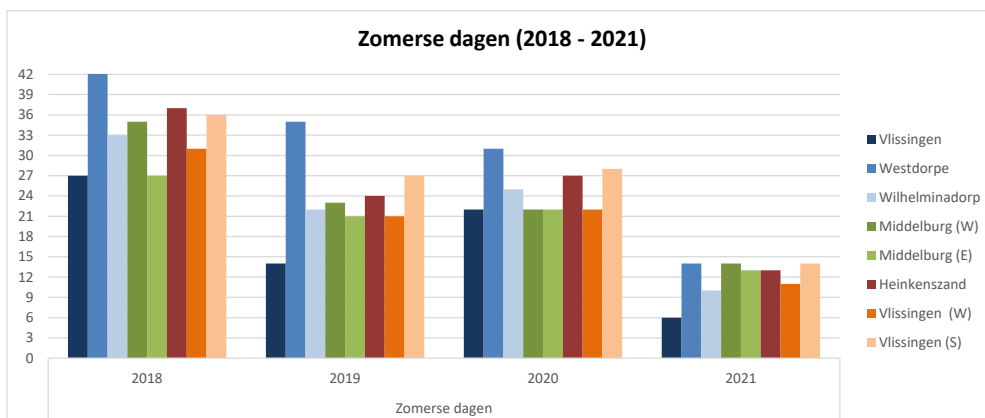
doordat de minimum etmaaltemperatuur uit gaat van 24-uurs gegevens waardoor er twee delen van opeenvolgende nachten worden meegenomen. Met deze methode moeten in feite twee opeenvolgende nachten warm verlopen voordat de minimum etmaaltemperatuur boven de 20 graden blijft (zie ook Hoofdstuk 5). De minimum nachttemperatuur richt zich op één volledige nacht tussen 18:00 - 6:00.

De resultaten van de minimum nachttemperatuur methode zijn weergegeven in [tabel 2](#). Zowel het aantal tropische nachten als de hoogst gemeten minima temperatuur is op iedere locatie toegenomen. Het aantal tropische nachten is gestegen van nul na één op iedere locatie. De hoogste gemeten temperatuur is gestegen van 19.5°C (Heinkenszand) tot 22.1°C, een verschil van 2.6 graden. Het grootste verschil wordt gevonden op de locatie Middelburg Eisenhowerlaan met 3.3 graden.

Tabel 2. Overzicht van het aantal tropische nachten en de gemeten hoogste en minimumtemperatuur aan de hand van nacht gegeven 18:00 uur 's avonds en 6:00 uur 's ochtends. Middelburg Walplein en Middelburg Eisenhowerlaan zijn grijs weergegeven om aan te geven dat het hier deels om een schatting gaat op basis van gegevens van andere stations.

	Vlissingen	Westdorpe	Wilhelminadorp	Middelburg - Walplein	Middelburg - Eisenhowerlaan	Heinkenszand	Vlissingen - Westerzicht	Vlissingen - Scheldestraat
Tropische nachten	1	1	1	1	1	1	1	1
Hoogst gemeten min (°C)	20.9	21.1	21.2	21.8	21.3	22.1	21.6	22.2

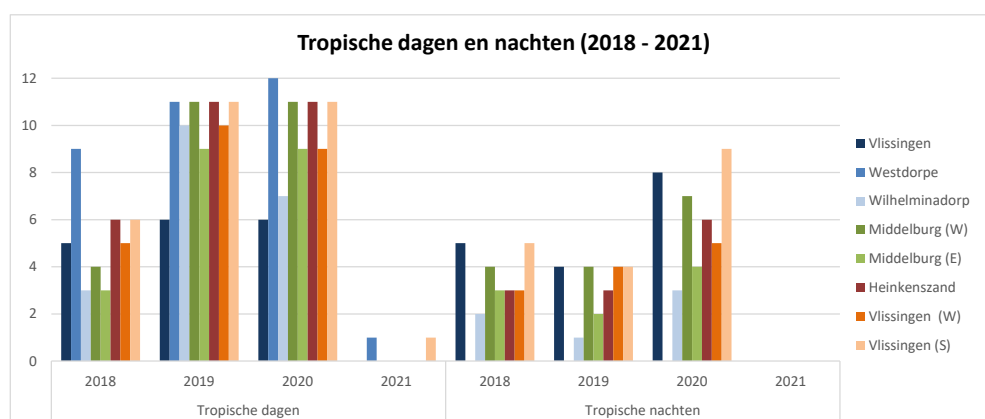
Behalve een analyse van de meetgegevens van 2021 is de data van afgelopen vier jaar langs elkaar gelegd om een beter beeld te krijgen van de jaarlijkse veranderingen. In [Bijlage 2](#) is de tabel bijgevoegd waarop de volgende gegevens zijn gebaseerd. In [Figuur 5](#) zijn alle zomerse dagen (dagen met een temperatuur hoger dan 25°C) in een grafiek geplot. Hierin valt op dat Westdorpe in alle jaren het hoogste aantal zomerse dagen had. In 2018 werden er zelfs 55 gemeten, het hoogste aantal in de afgelopen vier jaar. 2021 was de enige uitzondering waarin Westdorpe een gelijk aantal (14 dagen) had met Vlissingen Scheldestraat en Middelburg Walplein, de meest stedelijke meetstations. Echter heeft het station op het Walplein in Middelburg dit jaar problemen gehad waardoor een deel van deze gegevens is gebaseerd op een schatting aan de hand van gegevens uit andere stations; enige voorzichtigheid is dus geboden. Het hoge aantal zomerse dagen in Westdorpe in de afgelopen vier jaar kan deels verklaard worden door de open ligging van het station in het landelijk gebied waar geen schaduwvorming plaats vindt door gebouwen, bomen of andere structuren. Bovendien ligt Westdorpe ten zuiden van de Westerschelde, wat name tijdens aanvoer van warme lucht vanuit het zuiden een verschil kan maken.



Figuur 5. Aantal zomerse dagen over van 2018 tot en met 2021.

Ook het aantal tropisch dagen van afgelopen vier jaar is nogmaals vergeleken, zie **Figuur 6**. De locatie in Westdorpe telde het hoogste aantal in 2020, namelijk 12 dagen t.o.v. 11 op de Scheldestraat, Walplein en Roofvogelstraat. In het jaar 2019 telde Westdorpe een gelijk aantal tropische dagen als op de Scheldestraat, Walplein en Roofvogelstraat, namelijk 11 dagen. Het referentiestation in Vlissingen had, met uitzondering van 2018, het laagste aantal tropische dagen (6 dagen in zowel 2019 als 2020) in vergelijking met de andere stations. Dit kan te herleiden zijn aan de directe ligging aan de Westerschelde.

Wat opvalt is het ontbreken van tropische nachten in Westdorpe, dit kan mogelijk worden verklaard door het open karakter van deze locatie waar de wind vrij spel heeft en de afwezigheid van gebouwen die ook 's nachts warmte uitstalen. Het referentiestation van de KNMI in Vlissingen telde in 2020 een relatief hoog aantal tropische nachten in vergelijking met het aantal tropische dagen (8 t.o.v. 6). Zoals vermeld zijn in 2021 op basis van de minimum etmaaltemperatuur op alle stations geen tropische nachten waargenomen.



Figuur 6. Aantal tropische dagen en nachten (gebaseerd op de minimum etmaaltemperatuur) van 2018 tot en met 2021.

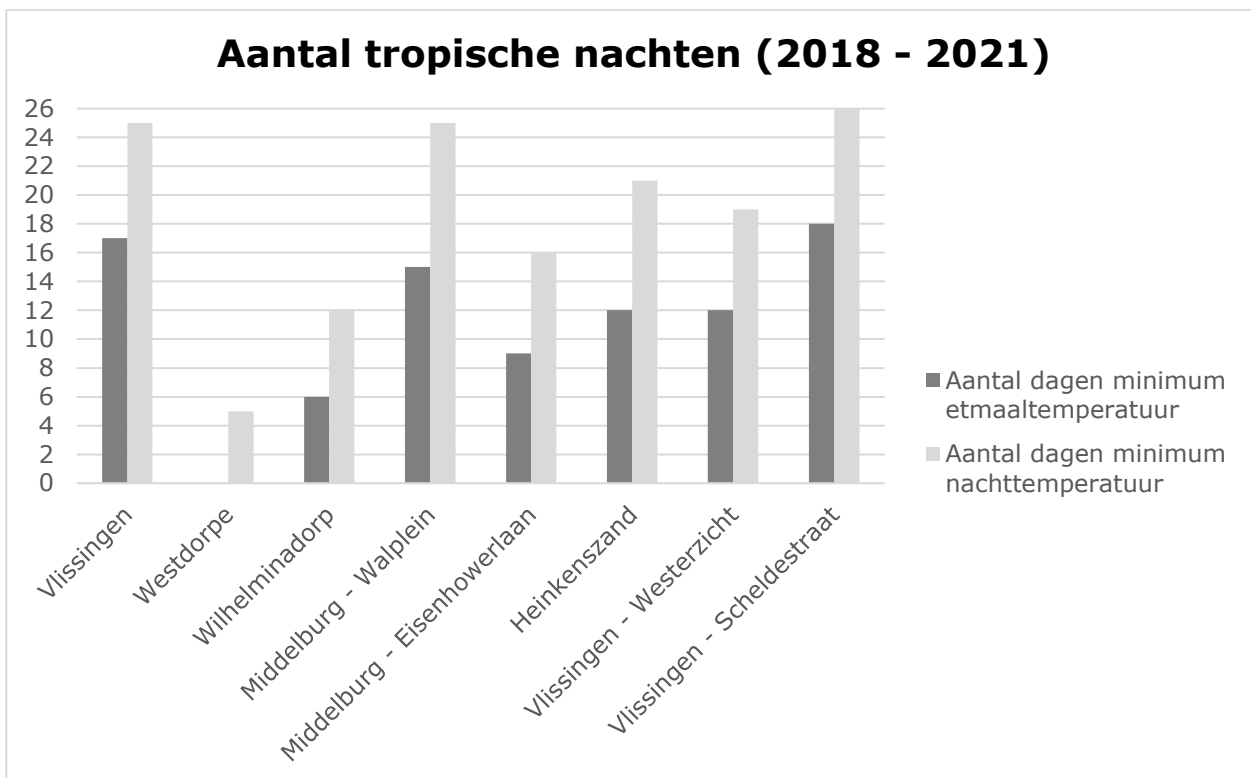
Het aantal tropische nachten is ook bepaald aan de hand van de minimum nachttemperatuur (tussen 18:00 en 06:00) en weergegeven in **Tabel 3**. Het hoogste aantal tropische nachten wordt geteld op de Scheldestraat in Vlissingen met 13 nachten in 2020 en wordt gevolgd door Middelburg Walplein met 11 nachten in 2020. In Westdorpe werd er jaarlijks maar één tropische nacht waargenomen met

uitzondering van 2019 waar er twee werden geteld. De hoogst gemeten minimum temperatuur is waargenomen in 2018 op de Scheldestraat waar de temperatuur maar zakte tot 25.2 graden tussen 18:00 en 6:00. Op de locatie in Westdorpe zakte de temperatuur onder de 22 graden en zakte de hoogste min in 2018 zelfs tot 20.7 °C.

Tabel 3 Aantal tropische nachten en hoogst gemeten min volgens de minimum nachttemperatuur in de periode van 2018 tot 2021.

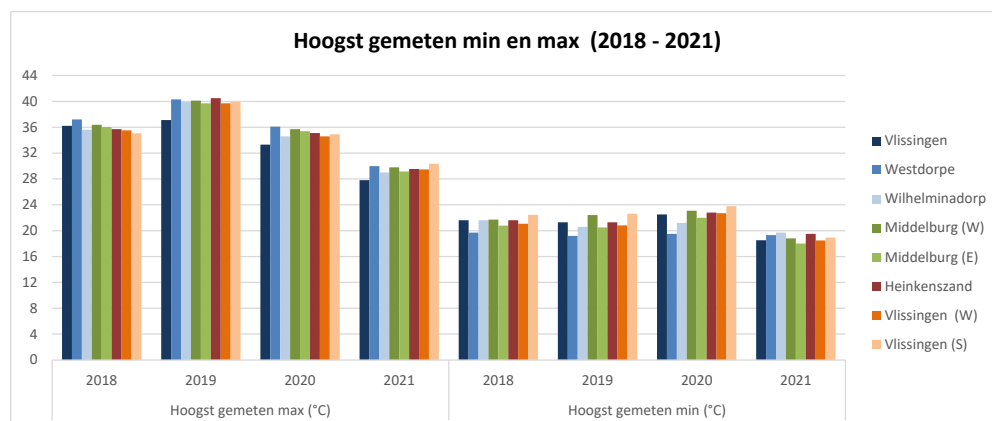
		Vlissingen	Westdorpe	Wilhelminadorp	Middelburg - Walplein	Middelburg - Eisenhowerlaan	Heinkenszand	Vlissingen - Westerzicht	Vlissingen - Scheldestraat
Tropische nachten	2018	7	1	3	6	4	4	4	9
	2019	7	2	3	7	5	8	7	8
	2020	10	1	5	11	6	8	7	13
	2021	1	1	1	1	1	1	1	1
Hoogst gemeten min (°C)	2018	24.0	20.7	21.3	23.9	22.0	22.8	23.7	25.2
	2019	22.8	21.9	22.6	23.2	22.4	23.3	22.9	23.5
	2020	22.7	21.6	21.6	23.1	22.2	22.8	23.1	23.8
	2021	20.9	21.1	21.2	21.8	21.3	22.1	21.6	22.2

Het verschil tussen de minimum nachttemperatuur en de minimum etmaaltemperatuur is weergegeven in [Figuur 7](#). Hierbij valt op dat er beduidend meer tropische nachten voorkomen als de "nacht" methode wordt toegepast. Over de periode van 2018 tot 2021 resulteert dit in een stijging van 5 tot 13 extra tropische nachten t.o.v. de methode gebaseerd op de minimum etmaaltemperatuur. Het grootste verschil is waargenomen op de Scheldestraat in Vlissingen waar 13 dagen extra voorkomen. In Westdorpe worden er met de nachtmethode 5 tropische nachten geteld waar er met de "etmaal" methode geen tropische nachten voorkwamen.



Figuur 7. Aantal tropische dagen en nachten (gebaseerd op de minimum nachttemperatuur) van 2018 tot en met 2021.

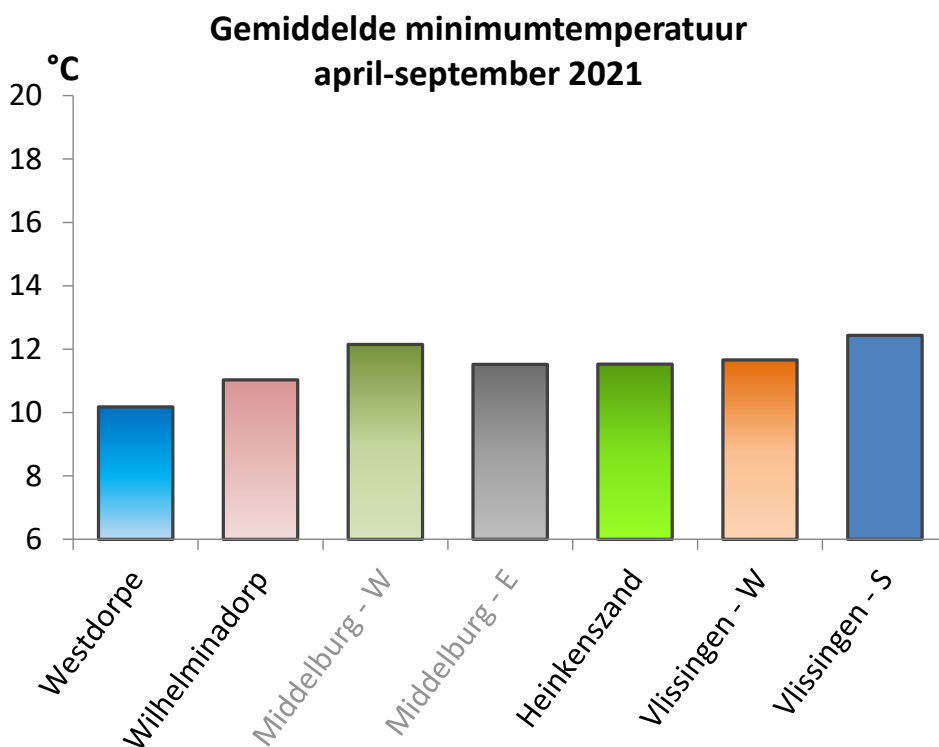
In 2019 zijn de hoogste temperaturen gemeten tot zelfs over de 40 graden in Heinkenszand (40,5°C), Westdorpe (40,3°C) en Middelbrug Walplein (40,1°C). In 2018 was de hoogste temperatuur gemeten in Westdorpe met 37,2°C. In 2020 lag de hoogst gemeten temperatuur iets lager er werd er maximaal 36,1°C gemeten op de locatie in Westdorpe. In 2021 lagen de maximale temperaturen een stuk lager en kwam de temperatuur niet veel hoger dan 30 graden in Westdorpe (30.0°C) en op de Scheldestraat in Vlissingen (30.3°C). Ook hier valt op dat de hoogste temperaturen vaak zijn gemeten in het opengelegen Westdorpe en de locaties met een hoge mate van bebouwing en verhard oppervlak, dat wil zeggen Middelburg Walplein en op de Scheldestraat in Vlissingen. De hoogste gemeten min en max worden weergegeven in **Figuur 8**.



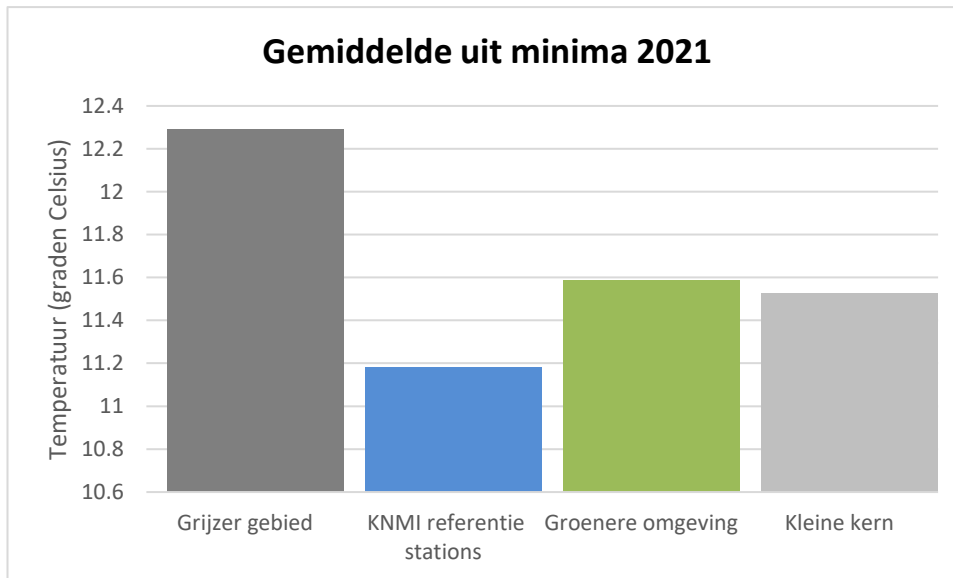
Figuur 8. De hoogst gemeten min en max temperatuur van 2018 tot en met 2021.

3.5 Nachtelijke temperatuur en hitte-eiland effect

De gemiddelde minimumtemperatuur in 2021 op de verschillende meetplekken is weergegeven in **Figuur 9**. Deze laat duidelijk zien dat de minima ook in bebouwd 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 4** getoond worden en is consistent met het aantal tropische nachten per station. De gemiddelde minimumtemperatuur bij Middelburg Walplein was 1.1°C hoger dan die bij Wilhelminadorp, de waarde op de Scheldestraat in Vlissingen verschilde zelfs 1.4°C. De verschillen ten opzichte van Westdorpe zijn 2.0°C groter voor Middelburg Walplein en zelfs 2.3°C voor de Scheldestraat in Vlissingen. Maar de groenere wijken (Middelburg-E, Vlissingen-W en Heinkenszand) koelden net als in de voorgaande jaren verder af (rond 0.6°C) dan de meer versteende stadsdelen, zie **Figuur 10**.

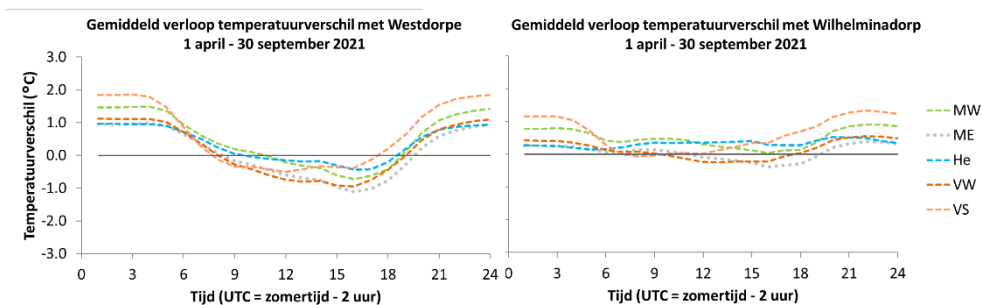


Figuur 9 Gemiddelde minimumtemperatuur uit metingen van de stadsstations en de KNMI-stations Westdorpe en Wilhelminadorp. Ook hier zijn de resultaten van Middelburg Walplein en Middelburg Eisenhowerlaan grijs gekleurd omdat dit grotendeels uit gegevens van andere stations is afgeleid.



Figuur 10 Gemiddelde temperatuur verdeeld onder vier klassen waarbij Middelburg (W) en Vlissingen (S) vallen onder "Grijzer gebied. Vlissingen, Wilhelminadorp en Westdorpe zijn de KNMI referentie stations. Onder "Groenere omgeving" vallen de station Middelburg (E) en Vlissingen (W). Heinekenszand heeft zijn eigen klasse "Kleine kern".

Figuur 11 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 8 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.

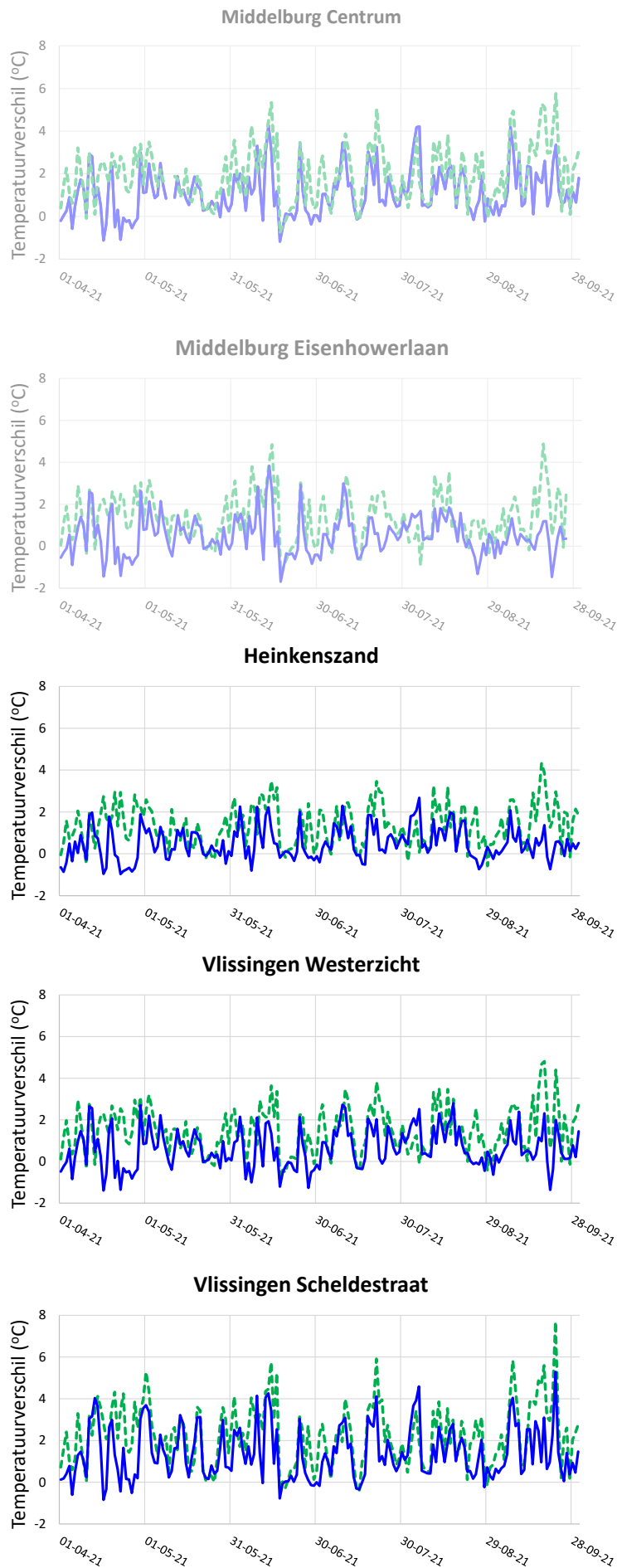


Figuur 11. Temperatuurverschil tussen stadsstations en KNMI station Westdorpe (links) of Wilhelminadorp (rechts). Gegevens van Middelburg Eisenhouwerlaan zijn grijs gekleurd omdat het daarbij grotendeels om een schatting gaat uit gegevens van andere stations.

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

- 1) Westdorpe ligt op zandige grond en vertoont daarom grotere variaties over de dag;
- 2) Westdorpe ligt dicht bij 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.

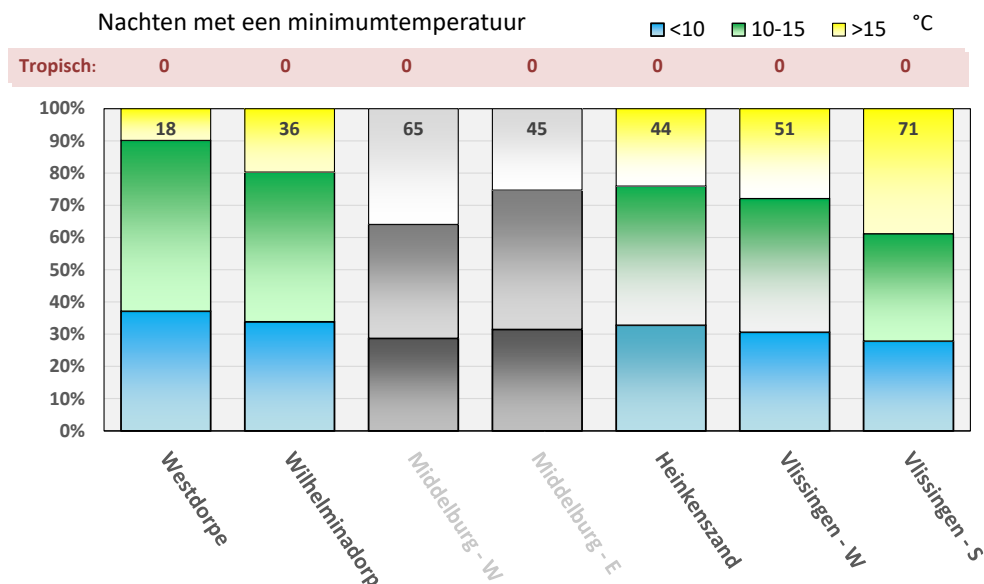
Tijdens specifieke nachten kunnen de verschillen tussen gebouwd gebied en het omliggende open gebied behoorlijk oplopen. Dit is te zien in [Figuur 12](#), dat het verloop van de verschillen in de minima tussen de verschillende stations toont. Afhankelijk van de locatie en het gebruikte referentiestation liepen de maximale verschillen in 2021 hoog op in de meer versteende locaties. Op de Scheldestraat in Vlissingen is zelf een verschil gemeten van 7.7 °C. Ook op het Walplein in Middelburg werd een groot verschil waargenomen van 5.8.°C In de groenere wijk op de Eisenhowerlaan in Middelburg en Westerzicht in Vlissingen lag het verschil rond de 4.8°C. In Heinekenszand beperkte het verschil zich tot 4.3°C. Met name rond de Scheldestraat in Vlissingen kan ook de nabijheid van het water bijgedragen hebben aan het grote maximale verschil met Westdorpe.



Figuur 12. Verloop van de verschillen in minimumtemperatuur op de meetlocaties in gebouwd gebied en de referentiestations. Groene streepjes: referentiestation Westdorpe; blauwe getrokken lijn: referentiestation Middelburg Centrum en Eisenhowerlaan is lichter gekleurd om aan te geven dat het daar deels 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 13**. 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 65 (rond 35%-38% van de zomernachten). Dit ligt wat hoger dan de waarden van 2019 en 2020. Toen werden voor Middelbrug Walplein 57 nachten geteld in 2019 en 59 in 2020 met een minima hoger dan 15°C. In de Scheldestraat te Vlissingen waren het in 2020 61 in vergelijking met 71 in 2021. Het aantal tropische nachten was beduidend lager aangezien er in 2021 geen tropische nachten zijn gemeten – opnieuw wanneer net als in voorgaande jaren de minimum etmaaltemperatuur als uitgangspunt wordt genomen. In 2020 zijn er alleen op Westdorpe geen tropische nachten gemeten. Op de Scheldestraat in Vlissingen waren er zelfs 9 gemeten.



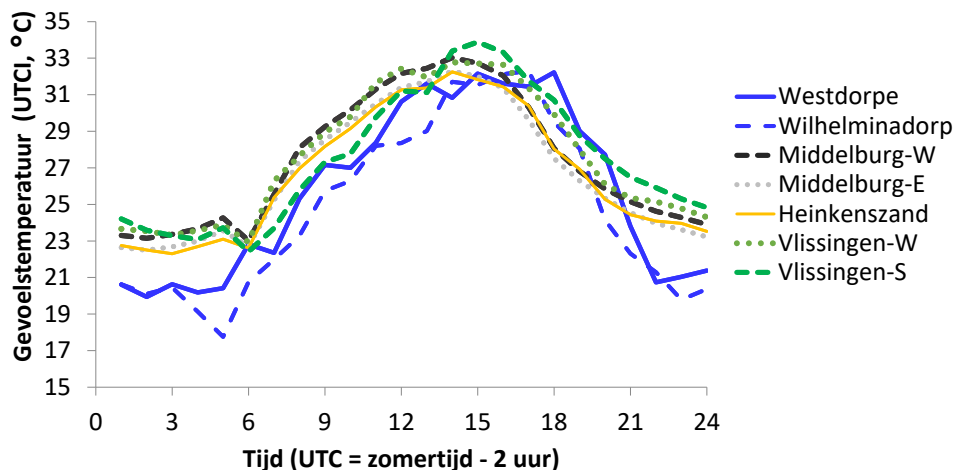
Figuur 13. Classificatie van minimumtemperaturen op grond van de meetgegevens. De gekleurde delen geven de percentages weer. Middelburg Walplein (W) en Middelburg Eisenhowerlaan (E) zijn grijs omdat het hier deels indirecte gegevens betreft. De getallen in de top van de gestapelde kolommen geven het aantal nachten waarin de minimumtemperatuur hoger was dan 15°C.

3.6 Gevoelstemperatuur (UTCI)

De gevoelstemperatuur die we hier gebruiken houdt rekening met luchttemperatuur en luchtvochtigheid, windsnelheid en zonnestraling. Voor Middelburg Eisenhowerlaan en Middelburg Walplein zijn daarvoor uit de andere stations gegevens geschatte waarden voor de genoemde grootheden gebruikt tussen 1 april en 29 mei (Walplein) of 15 juli (Eisenhowerlaan) 2021 (zie [Bijlage 1](#)). Bovendien is de stralingsmeter van het station op het Walplein op 8 september gestopt met het registreren van data, en moest voor de periode daarna de straling ook geschat worden op basis van andere stations. De meter op de Eisenhowerlaan heeft na 15 juli wel naar behoren gewerkt. Daarnaast waren er in 2021 ook problemen met de stralingsmetingen op de beide meetstations in Vlissingen. De stralingsmeter in Westerblick is, naar het zich laat aanzien, op 1 juli 2021 gestopt met betrouwbare metingen: vanaf 2 juli zijn de metingen veel lager (beneden 100 W/m²) dan verwacht mag worden. Van de Scheldestraat zijn geen betrouwbare stralingsmetingen na 14 februari 2021: ook hier zijn de metingen veel lager dan verwacht mag worden. Een en ander betekent dat in 2021 alleen van het meetstation in Heinkenszand een complete meetreeks van straling beschikbaar is. Op de andere stations is de straling deels of, in het geval van Vlissingen Scheldestraat, in zijn geheel geschat op basis van andere stations.

[Figuur 14](#) 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 verschillen in het bebouwd gebied iets hoger liggen. Gedurende nacht zakt de temperatuur in Middelburg Walplein verder terug dan op de Scheldestraat. Dit kan komen dat het Walplein meer open is maar ook omdat deze waarden niet volledig gebaseerd zijn op metingen aangezien er problemen waren met de logger. In 2018 en 2019, lag het UTCI effect duidelijk hoger in het gebouwde gebied, zowel overdag als in de nacht. In zowel 2018 als 2019 lagen de temperaturen ook beduidend hoger dan in 2021 wat ook kan verklaren waarom dit effect minder sterk na voren komt.

Zoals beschreven in de rapportage van eerdere jaren 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.

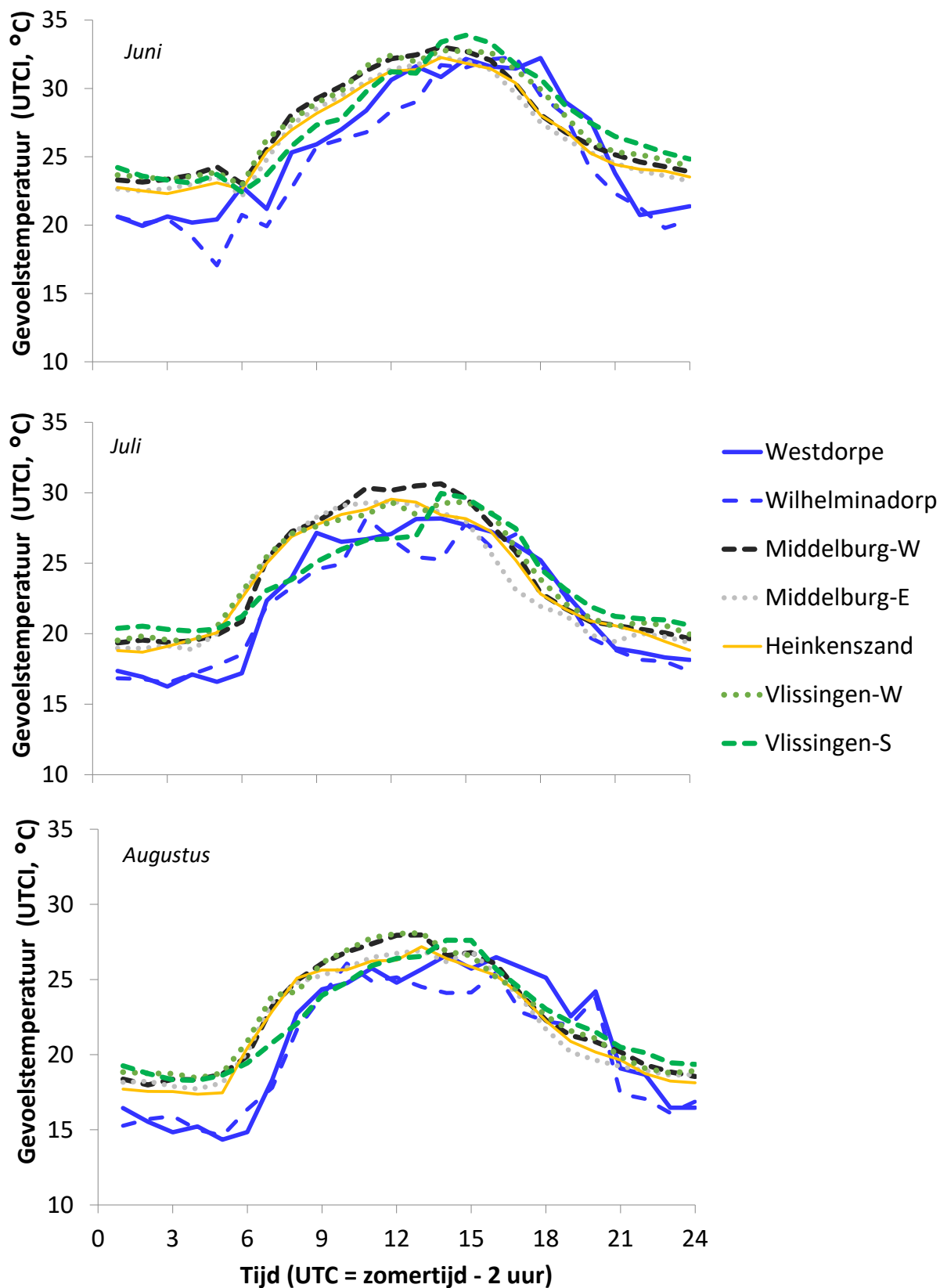


Figuur 14. Gemiddeld verloop van UTCI over de dag, bepaald uit de meetgegevens van luchttemperatuur, zonnestraling, windsnelheid en luchtvochtigheid. Middelburg Eisenhowerlaan (E) is grijs weergegeven omdat hier een groot aantal data uit op basis van metingen van andere stations is geschat.

Aan de hand van de metingen in het zomerhalfjaar van 2021 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.

Bovenstaande is goed te zien in [Figuur 15](#). Terwijl de gemiddelde dagelijkse gang bij stadsstations sterk verschilt van die van de KNMI-stations (zie [Figuur 14](#)) 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 15. 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.

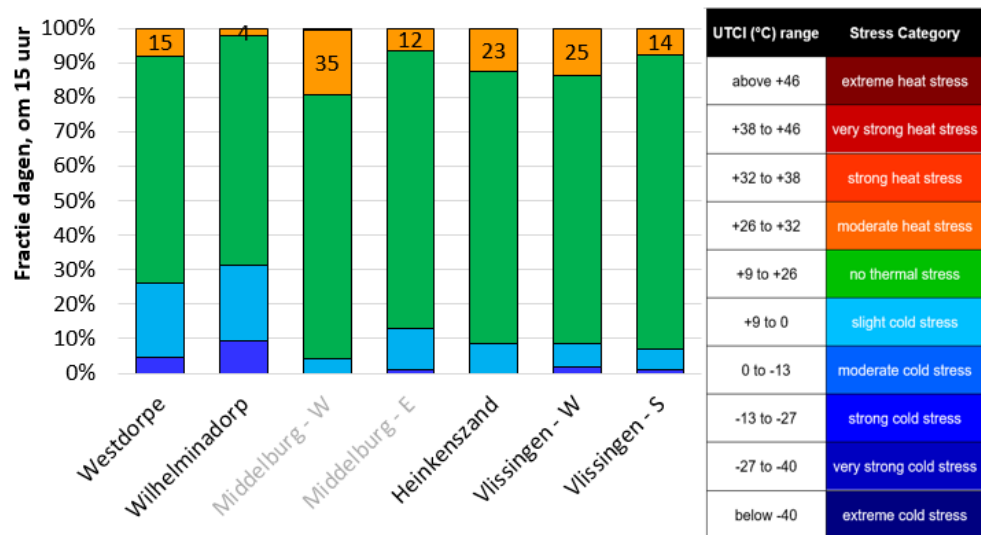
In juni 2021 liep de maximale UTCI op tot rond 34°C in de Scheldestraat in Vlissingen. Deze waarde zit in de klasse die op "sterke hittestress" duidt (zie ook beneden). In juli bereikte de maximale UTCI-waarden van 30.6°C op het Walplein in Middelburg. Deze waarde valt in de categorie matige hittestress. In augustus werd een maximale waarde gemeten van 28.1°C op de Westerzicht in Vlissingen ook deze waarde valt in de categorie matige Hittestress.

Te zien is, dat alleen op het KNMI station in Vlissingen de gevoelstemperaturen onder de 32 graden bleven, de ondergrens van de klasse 'sterke hittestress'. Gevoelstemperaturen boven de 33 graden kwamen voor op de Scheldestaat in Vlissingen en op het Walplein in Middelburg en zijn dit jaar niet gemeten op de andere locaties in de maanden juni tot augustus.

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 14 en 15](#)). 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 16](#). Hanteren van de internationaal gebruikte classificatieschaal laat zien, dat in het zomerhalfjaar van 2021 op de stationslocaties in gebouwd gebied op 7-20% van de dagen in het zomerhalfjaar (12-35 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 en 2020. Het aantal dagen waarop gevoelstemperaturen voorkwamen tussen de 38°C en 32°C is sterk lager dan in 2020. Op meerdere locaties is dit aantal zelfs meer dan gehalveerd ten opzichte van 2020, waaronder de Scheldestraat in Vlissingen (14 tegen 34 in 2020) en Wilhelminadorp (4 t.o.v. 17).

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 hoger dan op de Scheldestraat in Vlissingen. 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.



Figuur 16. 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) en Walplein (W) is grijs weergegeven om aan te geven dat een deel van de gegevens (meerdere variabelen) geschat is uit metingen van andere stations.

4 Samenvatting metingen in 2021

De analyse van de meetgegevens uit 2021 bevestigt grotendeels de conclusies uit de jaren 2018, 2019 en 2020. De resultaten van de metingen in 2021 bevestigen dat men ook in Zeeland, met name in stedelijk gebied, 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.

Wel was 2021 beduidend koeler dan de voorgaande jaren. Nog afgezien van de lage temperaturen tot begin mei bleven de extreem warme dagen uit. Het aantal zomerse dagen (maximumtemperatuur 25°C of hoger) was lager dan in 2020, en tropische dagen (maximumtemperatuur 30°C of hoger) en nachten (minimumtemperatuur 20°C of hoger) kwamen niet of nauwelijks voor. Wel lag het aantal warme nachten (minimumtemperatuur van 15°C of meer) hoger dan in andere jaren. Bij de Zeeuwse meetstations die zijn geanalyseerd liep de hoogste seizoenstemperatuur bij 7 van de 8 stations op naar maxima tussen 29 en 30.3°C. Met een hoogste waarde van 27.8°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 30.3°C. Deze maximumtemperaturen zijn behoorlijk lager dan in de jaren hiervoor.

Het meetprogramma werd in 2021 geplaagd door technische problemen. De ontbrekende 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. De geschatte straling op station Scheldestraat kon door het ontbreken van betrouwbare metingen in 2021 niet gevalideerd worden, wat de berekende UTCI op dit station extra onzeker maakt. 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 2020 worden ze ondanks de technische problemen als voldoende robuust beoordeeld.

5 Samenvatting metingen van de afgelopen vier jaar

De metingen in de jaren sinds 2018 laten duidelijk zien dat ook in Zeeland hittestress een probleem kan zijn, met name in stedelijke gebieden. Met uitzondering van in 2021 zijn op alle stations een behoorlijk aantal zomerse dagen (maximumtemperatuur boven de 25°C) en een kleiner aantal tropische dagen (maximumtemperatuur boven de 30 graden) gemeten. Daarnaast zijn er ieder jaar tropische nachten (minimumtemperatuur niet lager dan 20°C) waargenomen, opnieuw met uitzondering van 2021 (tenminste, wanneer wordt uitgegaan van de minimum etmaaltemperatuur zoals in eerdere rapportages); het hoogste aantal tropische nachten vond plaats in 2020 met 9 tropische nachten aan de Scheldestraat in Vlissingen.

Daarnaast was er in alle jaren en op alle meetstations in bebouwd gebied sprake van een situatie die rond 15 uur (13 UTC) tot minimaal een beperkte mate van hittestress zou kunnen leiden. Het aantal dagen waarop dit gebeurde liep uiteen van 12 (Middelburg Eisenhowerlaan in 2021) tot 56 (Middelburg Walplein in 2018), oftewel zo'n 7-30% van de dagen in het zomerhalfjaar. Op een aantal dagen kwamen ook situaties voor met een kans op sterke hittestress, en op een enkele dag (zoals op 25 juli 2019) zelfs op zeer sterke hittestress, de op één na hoogste categorie in de internationaal gebruikte classificatie van de UTCI.

2021 was, zoals vermeld, beduidend minder heet dan de voorgaande jaren, hoewel landelijk gezien de gemiddelde zomertemperatuur dicht bij het klimaatgemiddelde voor de periode 1991-2020 bleef, en 2021 nog steeds in de top-20 van warmste zomers sinds 1901 staat. Op de meeste stations werd in dit jaar geen, of op z'n meest één tropische dag waargenomen, en – uitgaand van de minimum etmaaltemperatuur – geen tropische nachten. Wel lag het aantal warme nachten (met een minimumtemperatuur van 15°C of meer) hoger dan in sommige andere jaren.

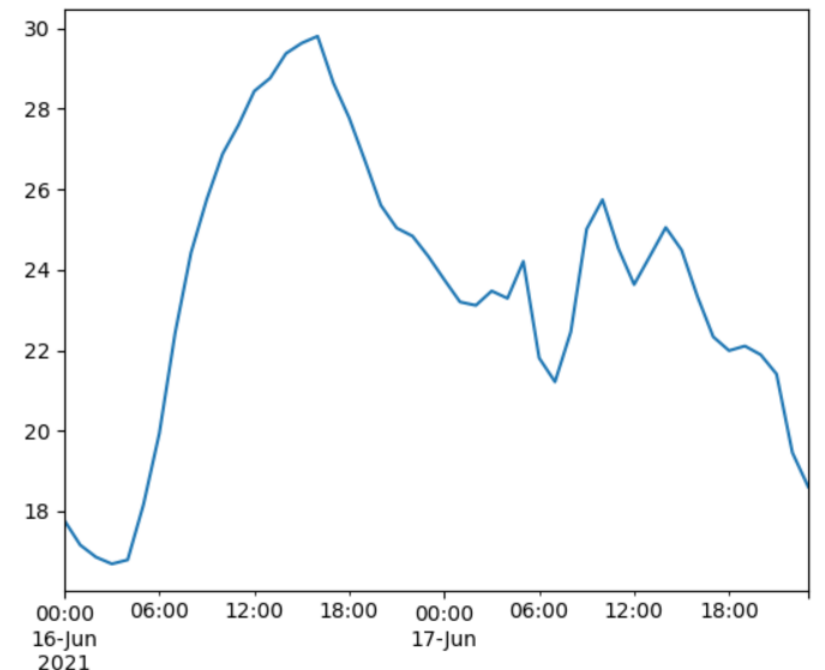
5.1 Tropische nachten

Een recente analyse van het KNMI² laat zien dat het aantal tropische nachten (met een minimumtemperatuur van 20 graden of meer) beduidend hoger uitvalt wanneer dit wordt berekend op basis van de minimum nachttemperatuur (bepaald in het tijdvak 18:00 tot 06:00), in plaats van de minimum etmaaltemperatuur op één dag (tussen 00:00 en 24:00), zoals ook in deze studie in eerdere rapportages is gebeurd. Figuur 16 illustreert waarom dit een verschil kan maken: in dit voorbeeld valt de minimumtemperatuur van 16 juni (tussen 00:00 en 24:00) vroeg in de ochtend, en ligt ruim beneden de 18 graden. Op 17 juni valt het minimum tegen middernacht, en

² Zie <https://www.knmi.nl/over-het-knmi/nieuws/warme-nachten>

ligt rond de 18 graden. Op de traditionele manier berekend, telt geen van deze dagen als een 'tropische nacht'. Echter, in de nacht van 16 op 17 juni blijft de temperatuur boven de 20 graden steken. Wanneer het tijdvak 18:00 tot 06:00 wordt gebruikt, dan telt deze nacht wel als een tropische nacht.

Met dit inzicht is ook van de voorgaande jaren het aantal tropische nachten op deze nieuwe manier berekend (zie ook bijlage 2). Daarnaast kijken we, net als het KNMI, ook naar het aantal warme nachten met een minimumtemperatuur boven de 18 graden, omdat deze grens wordt gebruikt in waarschuwingen voor hitte.



Figuur 16: temperatuurverloop op station Middelburg Walplein op 16 en 17 juni 2021

De analyse van het KNMI laat zien dat het aantal warme en tropische nachten in Nederland het grootst is op het KNMI-station Vlissingen. Hierbij moet worden opgemerkt dat dit station direct aan de kust ligt. Uit onze meetgegevens blijkt dat het aantal warme en tropische nachten op de KNMI stations Westdorpe en Wilhelminadorp beduidend lager ligt (zie [Tabel 4](#)). Het aantal tropische nachten in Wilhelminadorp is minder dan de helft, en in Westdorpe zelfs meer dan vier keer zo laag. Verder valt op dat op de stedelijke meetstations (Scheldestraat en Walplein) het aantal warme en tropische nachten nog hoger ligt dan op het KNMI-Station Vlissingen ([Tabel 4](#)). Het hoogste aantal warme en tropische nachten is tijdens de meetcampagne gemeten in de Scheldestraat in Vlissingen. Een verklaring hiervoor is de dichte bebouwing in combinatie met een ligging dicht bij zee. Op het Walplein in Middelburg is het aantal warme en tropische nachten vergelijkbaar met dat op het KNMI-station Vlissingen, hoewel het verder van zee ligt. Verder valt op dat op de overige stedelijke meetstations met meer open bebouwing het aantal warme en tropische nachten lager ligt dan in de binnensteden, maar nog altijd hoger dan op de KNMI-stations Westdorpe en Wilhelminadorp.

Tabel 4: Aantal nachten in de jaren van het meetprogramma (2018-2021) met een minimum nachttemperatuur (tussen 18:00 en 06:00) boven de aangegeven waarde, en de hoogst gemeten nachttemperatuur over alle jaren.

Temperatuur \	Mi-Walplein	Mi-Eisenhowerln	Hei-Roofvogelstr	Vi-Westerzicht	Vi-Scheldestraat	KNMI-Vlissingen	KNMI-Westdorpe	KNMI-Wilhelmina
≥20°C	26	16	21	19	31	26	6	12
≥18°C	70	43	51	54	81	72	28	39
≥15°C	294	234	239	249	305	293	139	205
Max	23.9	22.4	23.3	23.7	25.2	24	21.9	22.6

Met name de verschillen met Westdorpe zijn groot: in de vier jaar zijn op de Scheldestraat bijna 3 keer zo veel warme nachten geregistreerd (81 versus 28), en meer dan vijf keer zoveel tropische nachten (31 tegen 6). De verschillen met de andere stations zijn minder groot, maar nog altijd zijn er in de Scheldestraat over de vier jaar anderhalf keer zoveel warme en tropische nachten geregistreerd dan op Vlissingen Westerzicht.

Het lijkt erop dat de combinatie van dichte bebouwing en de ligging dicht bij de kust Vlissingen Scheldestraat bij uitstek gevoelig maakt voor het voorkomen van warme en tropische nachten. Middelburg Walplein ligt verder van de kust maar door de stedelijke omgeving is ook hier het aantal warme en tropische nachten beduidend hoger dan op de andere stations, op een vergelijkbaar niveau met het KNMI station Vlissingen, en hoger dan bijvoorbeeld in Vlissingen Westerzicht dat dichterbij het warme zeewater is gelegen.

Volgens het KNMI is het aantal warme nachten (minimum temperatuur tussen 18:00 en 06:00 van 18 graden of hoger) op het KNMI station Vlissingen toegenomen van gemiddeld vier keer per jaar in 1951-2000, tot gemiddeld dertien keer per jaar deze eeuw in de periode 2001-2019. Deze laatste periode overlapt deels met de huidige meetcampagne. In de jaren 2018-2021 lag het aantal warme nachten in Vlissingen in drie van de vier jaren nog beduidend hoger dan dit gemiddelde, met het hoogste aantal (28) in 2018. Alleen in 2021 lag het aantal warme nachten (vijf in totaal) lager dan het gemiddelde over 2001-2019, maar nog altijd hoger dan het gemiddelde van de vorige eeuw.

Het aantal tropische nachten op het KNMI station Vlissingen lag in de periode 2001-2019 gemiddeld tussen de 2 tot 3 nachten per jaar, tegen minder dan 1 keer per jaar in de tweede helft van de 20e eeuw. Ook hier was het aantal tropische nachten in drie van de vier jaren van de meetcampagne hoger dan gemiddeld, met het hoogste aantal in 2020 (10 nachten). Alleen in 2021 werd slechts 1 nacht geregistreerd. Bij een toenemende opwarming van het klimaat van Nederland mag verwacht worden dat het aantal warme en tropische nachten nog verder zal toenemen, en dat de hoogste aantallen zullen voorkomen in dichtbebouwde gebieden zoals de Scheldestraat of het Walplein.

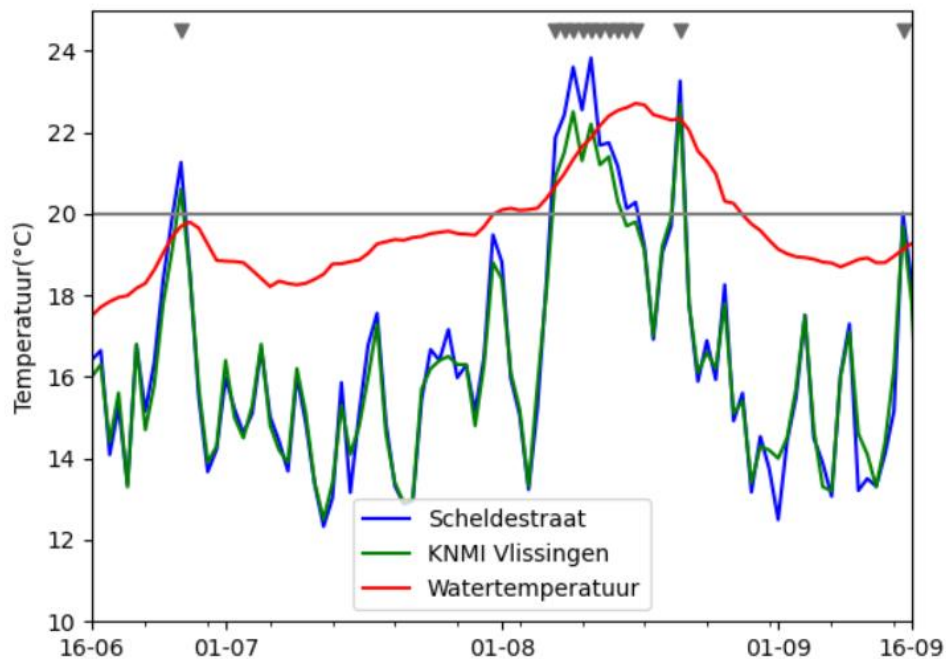
5.2 Invloed van de zee

De metingen vormen een aanwijzing dat de nabijheid van de zee niet systematisch zorgt 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, maar hoever dit effect reikt is niet meteen duidelijk. 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.

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.

Om de invloed van het zeewater op met name de temperatuur tijdens de nacht verder te onderzoeken, kijken we hier naar de watertemperaturen op het meetpunt Vlissingen van Rijkswaterstaat. Uit een eerdere studie door de Campus Kortrijk is al gebleken dat de watertemperaturen in de verschillende wateren in Zeeland flink kunnen verschillen; hier is het meetpunt Vlissingen gebruikt omdat dit het dichtste ligt bij de meeste stedelijke meetstations. [Figuur 17](#) laat de oppervlaktewatertemperatuur zien tijdens de zomermaanden van 2020 (in de periode 2018-2021 het jaar met het hoogste aantal tropische nachten) samen met de minimum nachttemperatuur (tussen 18:00 en 06:00) op de stations KNMI-Vlissingen en Vlissingen Scheldestraat. Hoewel de minimumtemperatuur meestal lager ligt dan de zeewatertemperatuur, ligt deze tijdens de warmste nachten meestal juist erboven. Tegelijkertijd zien we dat hoge watertemperaturen (bijvoorbeeld in de periode na 16 augustus) geen garantie geven op een tropische nacht. Deze bevindingen geven aan dat de meteorologische omstandigheden de drijvende kracht zijn achter het zich voordoen van warme en tropische nachten, en dat nabijheid van de zee, net als dichte bebouwing, een bijkomende factor is die de kans op hoge temperaturen in de nacht nog verder verhoogd. Niet voor niets is het aantal warme en tropische nachten het hoogst in de Scheldestraat in Vlissingen, waar beide factoren een rol spelen.

Hoewel de nabijheid van warm zeewater de kans op warme en tropische nachten dus vergroot, is onduidelijk hoe ver dit effect precies reikt. Zo ligt op station Vlissingen Westerzicht het totaal aantal tropische nachten over de vier jaar een fractie lager dan in Heinkenszand (19 tegen 21), hoewel het aantal warme nachten dan wel weer een fractie hoger is (54 tegen 51; zie Tabel 4). De sterkte van het zeewatereffect hangt naar alle waarschijnlijkheid onder meer af van de temperatuur van het zeewater, de windrichting, de sterkte van de wind en andere meteorologische factoren.



Figuur 17: Oppervlaktewatertemperatuur op het meetpunt Vliissingen, en de minimum nachttemperatuur (tussen 18:00 en 06:00) op de stations KNMI-Vliissingen en Vliissingen Scheldestraat tijdens de zomermaanden van 2020.

5.3 *Hitte-eiland en invloed van bebouwing*

De luchttemperatuur is vooral 's nachts hoger in bebouwd gebied, inclusief de dorpskern Heinkenszand. De intensiteit van het hitte-eiland liep onder sommige omstandigheden op tot wel meer dan 6°C in de meer versteende wijken (Middelburg Walplein en Vliissingen Scheldestraat). Zowel de gemiddelden als de maxima van het hitte-eiland effect zijn echter 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. Opvallend hierbij is dat in het open gelegen Westdorpe over alle jaren slechts 6 tropische nachten (gebaseerd op minimum nachttemperatuur tussen 18:00 en 06:00) zijn waargenomen, hoewel dit overdag vaak het warmste station is. Hoewel de precieze sterkte van het hitte-eiland effect dus afhangt van de keuze van het referentiestation en daarmee op zichzelf geen goede indicator is voor hittestress, laat dit wel zien dat dit effect de kans op warme en tropische nachten in bebouwd gebied behoorlijk vergroot.

\\\\\\ Ook het aantal zomerse en tropische dagen ligt hoger op de stedelijke meetstations dan op de stations in de minder dicht bebouwde wijken, maar dit verschil is minder groot dan in het geval van de warme en tropische nachten. Zo zijn er in de Scheldestraat over de vier jaar 29 tropische dagen geregistreerd tegenover 24 in Vliissingen Westerzicht; en 26 tropische dagen op het Walplein tegenover 21 in de Eisenhowerstraat in Middelburg.

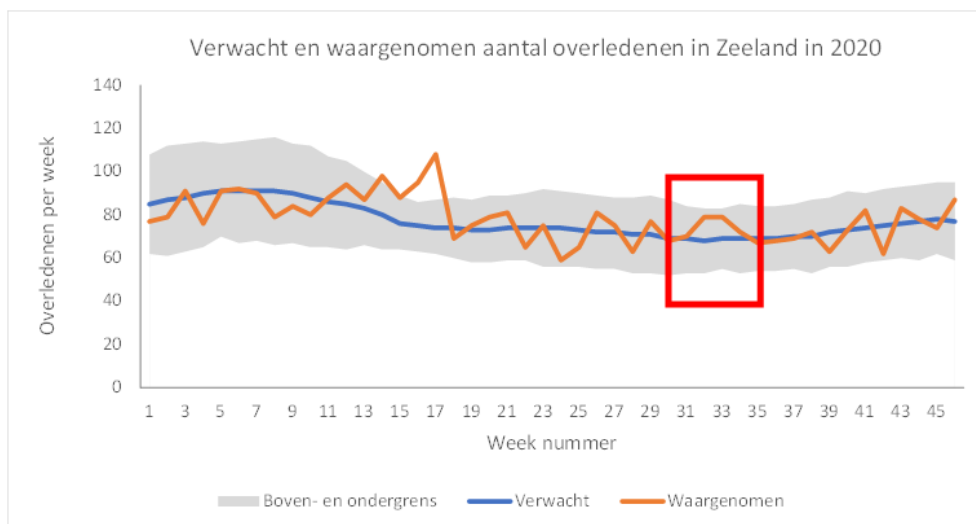
5.4 Hittestress en impacts

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. Dit leidt op zijn beurt weer tot een groter aantal dagen met potentieel voor sterke of zeer sterke hittestress, met name in de dichter bebouwde stedelijke gebieden. 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.

Op basis van de metingen in de afgelopen jaren kunnen we zeggen dat er in de steden en dorpen van Zeeland op zo'n 7 tot 30% van de dagen in het zomerhalfjaar in de middag sprake is van een situatie die tot minimaal een beperkte mate van hittestress zou kunnen leiden. Daarnaast koelt het bebouwd gebied 's nachts minder goed af, wat de kans op warme en tropische nachten hier vergroot. Maar wat zijn hiervan de gevolgen? Hier is veel minder over bekend, omdat gegevens over de impacts van bepaalde weersgebeurtenissen meestal niet worden vastgelegd.

Hitte kan leiden tot een heel scala van problemen, van teruglopende waterkwaliteit en gewasopbrengsten tot verminderde arbeidsproductiviteit en gezondheidsproblemen, en zelfs oversterfte. Een aanwijzing dat de waargenomen hitte ook in Zeeland gevolgen heeft, vinden we in de gegevens van oversterfte verzameld door het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS). Tijdens de relatief lange hittegolf in augustus 2020 was er landelijk gezien een duidelijke piek in sterfgevallen ten opzichte van het verwachte aantal³, en ook in Zeeland kunnen we hiervoor voorzichtig een aanwijzing zien. **Figuur 18** laat de wekelijkse verwachte en daadwerkelijke sterfgevallen in Zeeland in 2020 zien, met de periode van de hittegolf aangegeven met een rood kader. In deze periode lag het aantal gerapporteerde sterfgevallen (rond 79 per week) zo'n 15% hoger dan het verwachte aantal (68-69 per week), hoewel nog wel binnen de bandbreedte van de verwachting. Hierbij moet wel opgemerkt worden dat het aantal gerapporteerde sterfgevallen op provincieniveau sterk kan fluctueren. De schatting van het aantal overledenen is daarom meer onzeker dan voor Nederland als geheel. Bovendien wordt het jaar 2020 vooral gekenmerkt door oversterfte als gevolg van COVID-19. Een deel van de kwetsbare bevolking is mogelijk al eerder overleden door COVID-19, wat een verminderend effect van de hittegolf kan geven dan in andere jaren. Desalniettemin vormen deze gegevens een voorzichtige aanwijzing dat hitte ook in Zeeland gevolgen heeft op met name kwetsbare bevolkingsgroepen.

³ Zie bijvoorbeeld <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2020/34/iets-hogere-sterfte-in-warme-week>



Figuur 18. Verwacht en waargenomen (gerapporteerde) aantal sterfgevallen in de Provincie Zeeland per week in 2020. Het verwachte aantal sterfgevallen is hierbij een schatting op basis van eerdere jaren wanneer er geen COVID-19 pandemie zou zijn geweest. Bron: CBS.

6 Conclusies en aanbevelingen

Samenvattend kunnen we concluderen dat hitte ook in de steden en dorpen van Zeeland voorkomt en tot problemen kan leiden. Het bekende hitte-eiland effect lijkt overdag kleiner te zijn, maar met name door het wegvallen van de wind is de kans op hittestress in bebouwd gebied groter. Op een significant deel van de dagen in het zomerhalfjaar moet 's middags rekening worden gehouden met omstandigheden die kunnen leiden tot minimaal een beperkte mate van hittestress.

's Nachts leidt het hitte-eiland effect ertoe dat vooral dichtbebouwde kernen minder goed afkoelen, wat de kans op warme en tropische nachten vergroot. De metingen van de afgelopen jaren laten ook zien dat schaduw (met name overdag), meer groen en een lagere dichtheid van de bebouwing de kans op hittestress kunnen verminderen. De nabijheid tot warm zeewater vergroot juist de kans op warme en tropische nachten. De recente analyse van het KNMI laat zien dat op het station Vlissingen het aantal warme en tropische nachten het grootst is in heel Nederland. Onze meetgegevens laten zien dat dit aantal op de Scheldestraat in Vlissingen nog hoger ligt, en in het centrum van Middelburg is het aantal vergelijkbaar met dat van het KNMI-station Vlissingen.

Uit de analyse van het KNMI blijkt ook dat het aantal warme en tropische nachten deze eeuw sterk is toegenomen in vergelijking tot de tweede helft van de 20^e eeuw. In het jaar 2018 lag het aantal warme nachten (met een minimum nachttemperatuur van 18 graden of hoger) zelfs zeven keer hoger (28) dan het gemiddelde aantal in de periode 1951-2000 (4).

Het recent verschenen rapport van het Klimaatpanel van de Verenigde Naties bevestigt dat hitte een toenemend risico is voor de gezondheid, met name voor kwetsbare groepen (en dan met name ouderen, zwangeren en pasgeborenen).⁴ Over de impacts van hitte in Zeeland is nog weinig bekend, wel zijn er voorzichtige aanwijzingen dat bijvoorbeeld de langdurige hittegolf van augustus 2020 ook hier leidde tot een oversterfte van zo'n 15%. Maar de gevolgen van hitte zijn breder, en kunnen bijvoorbeeld ook effecten hebben op de arbeidsproductiviteit.

Met een verdere opwarming van het klimaat in Nederland mag verwacht worden dat het aantal warme en tropische nachten, en het aantal dagen met omstandigheden die aanleiding kunnen geven tot hittestress, verder zal toenemen. Daarmee zullen ook de gevolgen van hitte steeds meer merkbaar worden. Om deze gevolgen te beperken, moet bij de inrichting van de bebouwde omgeving rekening worden gehouden met aspecten die het opbouwen van hittestress kunnen doen verminderen: voldoende groen, voldoende schaduw en het bevorderen van ventilatie door wind. De prioriteit moet hierbij liggen op dichtbebouwde wijken en buurten die dicht bij warm zee- of binnenwater liggen, zoals in deze studie de Scheldestraat in Vlissingen. De metingen

⁴ Zie bijvoorbeeld <https://ghhin.org/news/10-key-heat-health-messages-from-the-ipcc-ar6-report/>

van de afgelopen jaren laten zien dat op dit soort plekken vooral het aantal warme en tropische nachten nu al beduidend hoger ligt dan in de groenere buitenwijken, en veel hoger dan in het landelijk gebied. Naast aanpassingen in het ruimtelijk gebied, kan een goede voorbereiding ook helpen om de negatieve gevolgen van hitte tegen te gaan, zoals bijvoorbeeld een regionale uitwerking van het Nationaal Hitteplan⁵ dat door het RIVM in samenwerking met andere organisaties is opgesteld.

⁵ Zie <https://www.rivm.nl/hitte/nationaal-hitteplan>

Bijlage 1 Details over de correcties van de meetgegevens in 2021

Zoals vermeld werd het meetprogramma in 2021 geplaagd door technische problemen. Hieronder volgt een kort overzicht gegeven van de problemen die zich hebben voorgedaan, en de correcties die hiervoor zijn toegepast. Hierbij zijn vergelijkbare methodes gebruikt als in eerdere jaren. Voor zover mogelijk zijn de correcties gevalideerd met valide metingen.

6.1 Temperatuur en luchtvochtigheid

Station 108 (Middelburg Walplein, MW) heeft de eerste maanden van 2021 niet gefunctioneerd. De datalogger is teruggeplaatst op vrijdag 28/05/2021. Daarvoor heeft het station een aantal dagen proefgedraaid in Woudenberg. Daarom moeten alleen data vanaf 29/05/2021 worden meegenomen. Vanaf die datum lijken de temperatuurmetingen op dit station plausibel.

Station 109 (Middelburg Eisenhowerlaan, ME) heeft met tussenposen niet gewerkt. Na 22/02/2021 14:00 zijn er geen gegevens meer doorgekomen. Na onderhoud is station 109 teruggeplaatst 14/06/2021 om 15:30 uur, echter daarop was er geen communicatie meer met de server. Op zaterdag 26/06/2021 zijn de router en datalogger ontvangen, echter daarna werden er foutieve waarden gemeten voor zowel temperatuur als luchtvochtigheid. Op vrijdag 16 juli is de temperatuur/vochtsensor vervangen. Betrouwbare metingen zijn daarom beschikbaar vanaf 16/07/2021 14:00.

Op de andere stations hebben zich geen problemen voorgedaan.

6.2 Windsnelheid

De problemen met de dataloggers spelen ook voor de windmetingen. Daarom zijn er van station 108 (MW) geen windmetingen voor 29/05/2021. Van station 109 (ME) zijn er geen betrouwbare windmetingen tussen 22/02/2021 en 26/06/2021. Na het vervangen van de datalogger en router op 26 juni zijn er wel betrouwbare windmetingen van dit station.

6.3 Straling

Helaas zijn er in 2021 veel problemen geweest met de stralingsmetingen.

Van station 108 (MW) zijn alleen stralingsmetingen na het terugplaatsen van het station op 28/05/2021. Op 08/09/2021 12:40 is de sensor kennelijk gestopt met het registreren van data, en daarna zijn er geen gegevens meer beschikbaar.

Vanwege de eerder genoemde problemen met de datalogger en router, zijn er van station 109 (ME) geen stralingsmetingen beschikbaar tussen 22/02/2021 en 26/06/2021. Daarna heeft de sensor naar behoren gewerkt.

De stralingssensor op station 111 (Vlissingen Westerzicht, VW) is, naar het zich laat aanzien, op 01/07/2021 gestopt met betrouwbare metingen. Vanaf 02/07 zijn de waarden veel lager dan verwacht zou mogen worden (beneden 100 W/m²; ter vergelijking, de maximumwaarde op 01/07 was nog 475 W/m²). Vreemd genoeg laten de metingen daarna nog wel een dagelijkse gang zien, met andere woorden tijdens de nachten wordt geen straling gemeten. Van beide stations in Vlissingen zijn op 16 juli de stralingssensoren gereinigd. De sensorvervuiling bleek miniem. Het reinigen had dan ook geen noemenswaardige invloed op de kwaliteit van

de metingen. Geconcludeerd moet dan ook worden dat er na 01/07/2021 geen stralingsmetingen beschikbaar zijn van dit station.

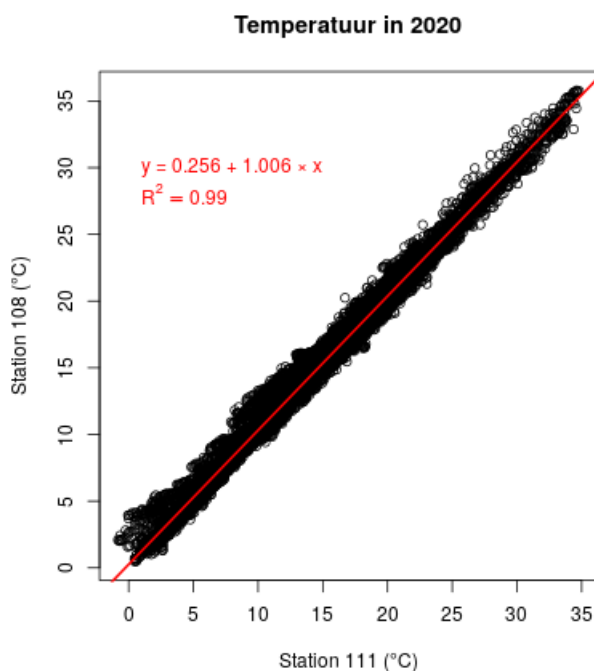
Van station 112 (Vlissingen Scheldestraat, VS) zijn na 14/02/2021 geen betrouwbare stralingsmetingen beschikbaar. Tot die tijd laten de metingen waarden zien zoals die voor februari verwacht mogen worden, daarna zijn de waarden veel lager, hoewel niet zo laag als later op station 111. De metingen lijken zich in juli enigszins te herstellen, echter de waarden die daarna bereikt worden (tot maximaal 500 W/m²) zijn lager dan verwacht mag worden voor juli en augustus. Ter vergelijking, in 2020 werd op dit station in juli nog regelmatig stralingswaarden van boven de 750 W/m² gemeten, en in augustus van boven de 700 W/m². De metingen van 2021 komen zelden tot aan de 500 W/m², bovendien is het dagelijkse patroon niet zoals verwacht mag worden. De conclusie is dan ook dat er van dit station geen betrouwbare metingen beschikbaar zijn na 14/02/2021.

Een en ander betekent dat in 2021 alleen van station 110 (Heinkenszand Roofvogelstraat, HR) een complete meetreeks van straling beschikbaar is.

6.4 Toegepaste correcties

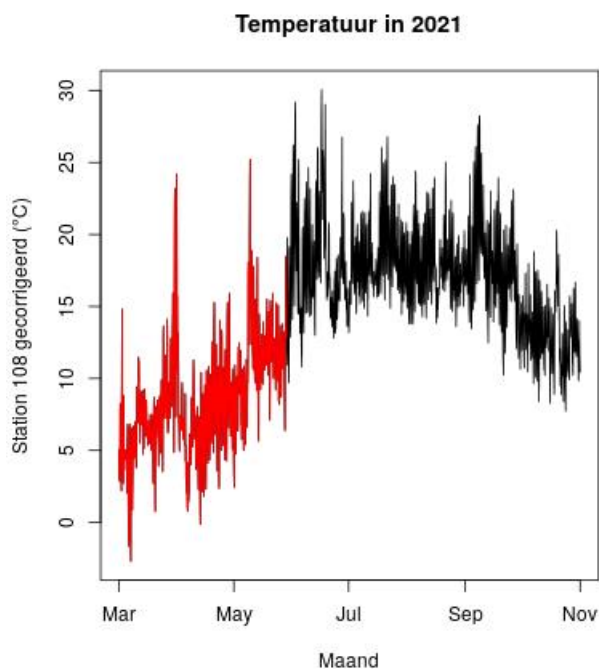
6.4.1 Station 108 (MW): Temperatuur en luchtvochtigheid

Temperatuur en luchtvochtigheid op MW tot 29/5 zijn geschat op basis van het statistisch verband in 2020 met station 111 (VW). Dit station werd gekozen omdat het dichterbij ligt dan Heinkenszand, maar verder uit de kust dan VS. Na 29 mei zijn de eigen metingen gebruikt. Voor temperatuur is de correlatie tussen stations VW en MW in 2020 gegeven in figuur B1.1. Het verband is zeer sterk ($R^2 = 0.99$) wat een goede voorspelbaarheid van de temperatuur op MW op basis van die in VW suggereert.

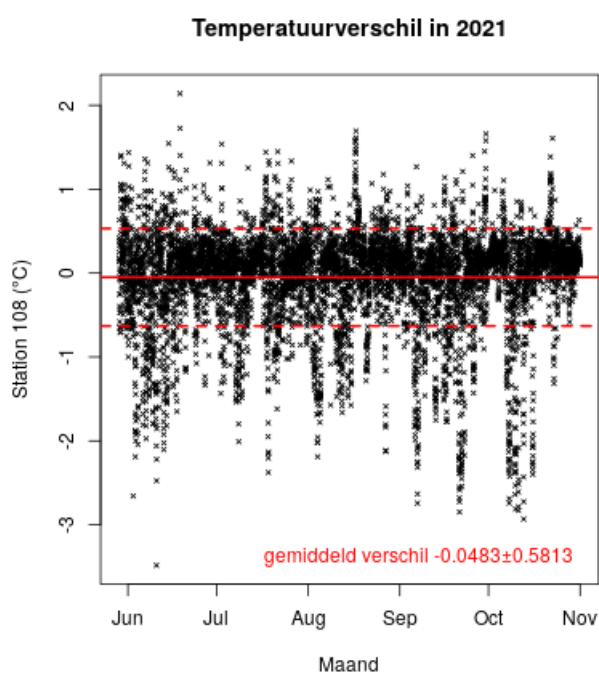


Figuur B1.1: Correlatie in temperatuur tussen station 111 (VW) en 108 (MW) in 2020.

De geschatte en gemeten temperatuur op MW in 2021 is weergegeven in figuur B1.2, en het verschil in de validatieperiode (na 29 mei) in figuur B1.3. Gemiddeld genomen is het temperatuurverschil heel klein (afgerond 0 graden); afwijkingen blijven in de meeste gevallen beperkt tot minder dan 1 graad.

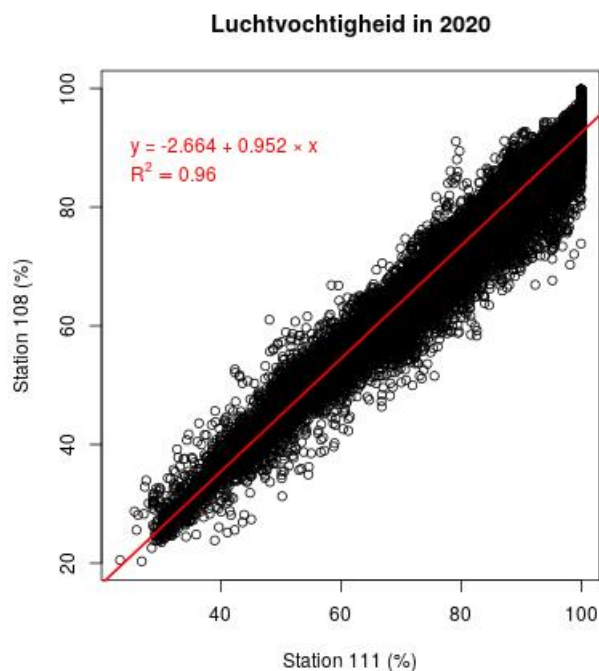


Figuur B1.2: Geschatte (rood) en gemeten (zwart) temperatuur op station 108 (MW) in 2021.



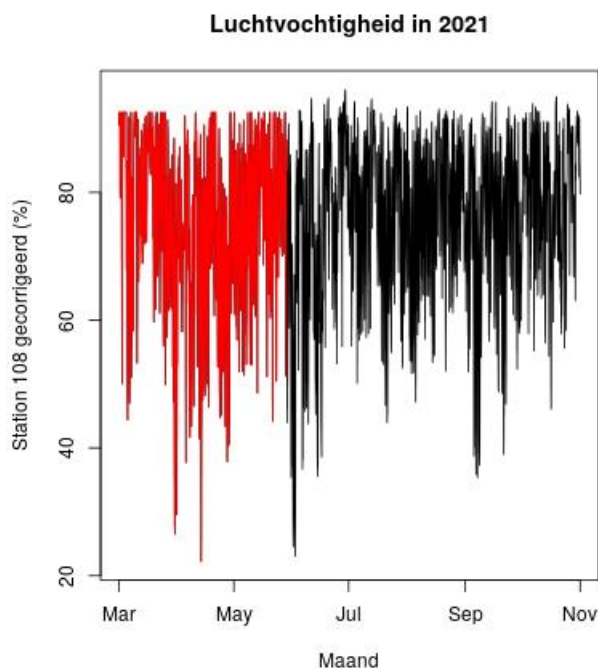
Figuur B1.3: Verschil in temperatuur tussen gemeten en geschatte temperatuur op station 108 in de periode 29 mei – 1 november 2021.

De correlatie in luchtvochtigheid tussen station 111 (VW) en 108 (MW) in 2020 is gegeven in figuur B1.4. Ook hier is het verband zeer sterk ($R^2 = 0.96$). Wel suggereren de data dat een luchtvochtigheid van tegen de 100% wat vaker voorkomt in VW dan in MW.

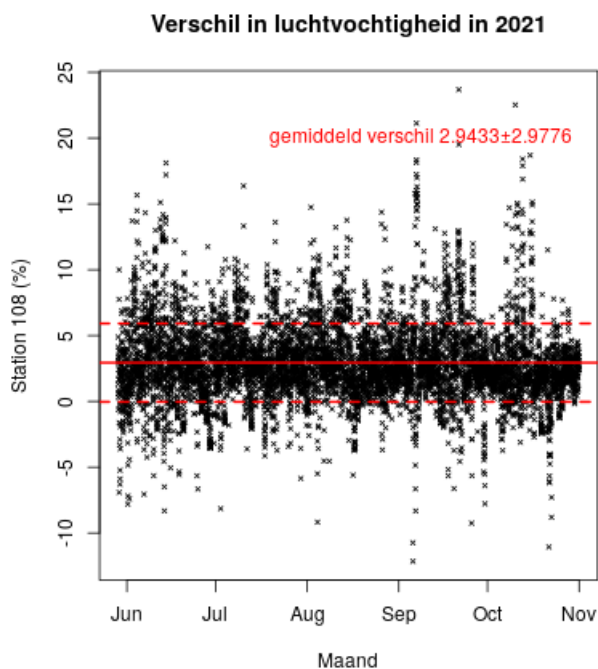


Figuur B1.4: Correlatie in luchtvochtigheid tussen station 111 (VW) en 108 (MW) in 2020.

De geschatte en gemeten luchtvochtigheid op MW in 2021 is weergegeven in figuur B1.5, en het verschil in de validatieperiode in figuur B1.6. In de validatieperiode is het verschil gemiddeld genomen rond de drie procentpunten, met andere woorden de geschatte luchtvochtigheid (geschat op basis van station 111 en de relatie in 2020) is gemiddeld 2.9 ($\pm$ 3.0) procentpunten hoger dan de gemeten waarde.



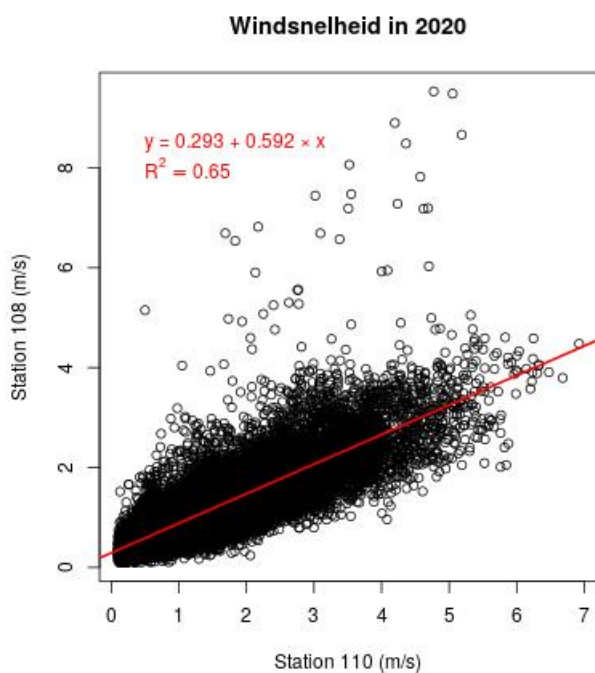
Figuur B1.5: Geschatte (rood) en gemeten (zwart) luchtvochtigheid op station 108 (MW) in 2021.



Figuur B1.6: Verschil in temperatuur tussen gemeten en geschatte luchtvochtigheid op station 108 (MW) in de periode 29 mei – 1 november 2021

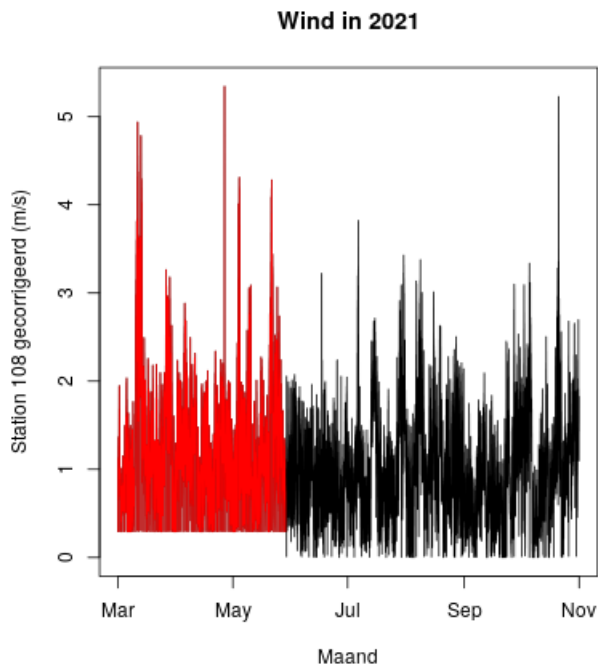
6.4.2 Station 108 (MW): Wind

Windsnelheden op station 108 (MW) tot 29/05 zijn geschat op basis van station 110 (HR) zoals ook in eerdere jaren is gebeurd. Na 29/05 zijn de eigen metingen gebruikt. De correlatie in windsnelheid tussen station 110 (HR) en 108 (MW) in 2020 is weergegeven in figuur B1.7. Zoals kan worden verwacht is het verband minder sterk dan voor temperatuur ($R^2 = 0.65$).

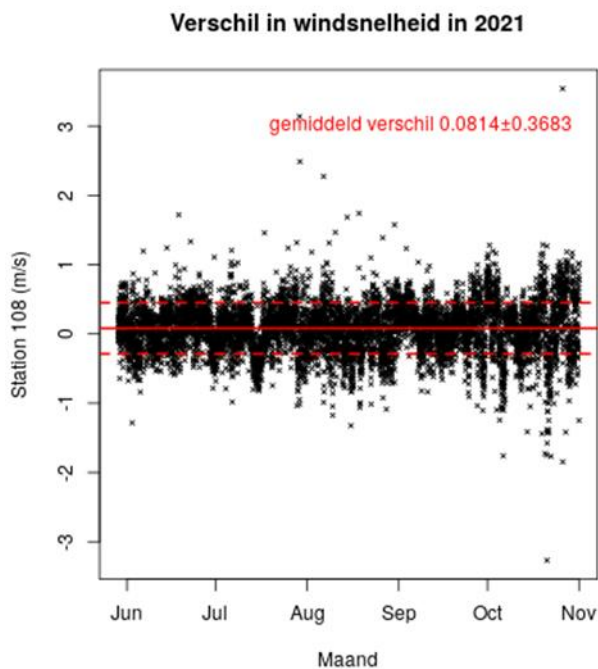


Figuur B1.7: Correlatie in windsnelheid tussen station 110 (HR) en 108 (MW) in 2020.

De geschatte en gemeten windsnelheid op MW is weergegeven in figuur B1.8, en het verschil in tussen gemeten en geschatte waarden in de validatieperiode na 29 mei in figuur B1.9. Door de correctie, waarbij een intercept wordt gevonden, zijn er in de periode met geschatte windsnelheden (tot 29 mei 2021) geen waarden dicht bij 0; de minimumwindsnelheid is 0.29 m/s. In de praktijk zal dit weinig uitmaken, omdat dit alleen bij zeer lage windsnelheden voorkomt, en metingen dicht bij 0 m/s zijn sowieso weinig betrouwbaar. Ter referentie: windsnelheden beneden de 0.5 m/s komen overeen met windkracht 0 op de schaal van Beaufort. Gemiddeld genomen is het verschil in geschatte en gemeten windsnelheid zeer klein (minder dan 0.1 m/s).



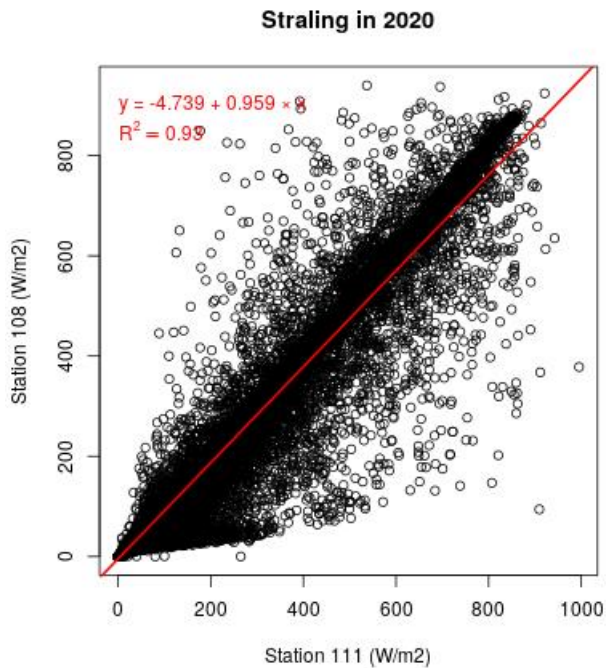
Figuur B1.8: Geschatte (rood) en gemeten (zwart) windsnelheid op station 108 (MW) in 2021.



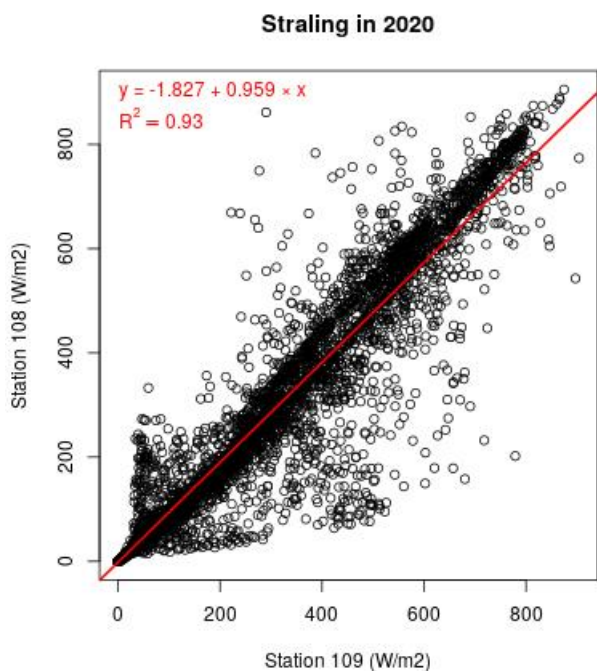
Figuur B1.9: Verschil in temperatuur tussen gemeten en geschatte temperatuur op station 108 in de periode 29 mei – 1 november 2021.

6.4.3 Station 108 (MW): Straling

Straling op station 108 (MW) is net als de temperatuur tot 29/05 geschat op basis van 111 (VW). Tussen 29/05 en 08/09 zijn de eigen metingen gebruikt. Na 8 september zijn de waarden geschat op basis van station 109 (ME) dat veel dichterbij ligt dan de andere stations, en waarvan de stralingsmeter in deze periode goed heeft gefunctioneerd. De correlatie in straling tussen station 111 (VW) en 108 (MW) is weergegeven in figuur B1.10, en die tussen station 109 (ME) en station 108 in figuur B1.11. Verrassend genoeg lijkt de correlatie met station 109 minder sterk dan met station 111, maar dit komt mede omdat het hier om minder datapunten, en niet dezelfde periode, gaat. Omdat de Eisenhowerlaan veel dichterbij station 108 ligt dan Vlissingen Westerstraat, zijn de gegevens van station 109 toch gebruikt om de missende stralingsmetingen op station 108 na 9 september 2021 te vervangen.

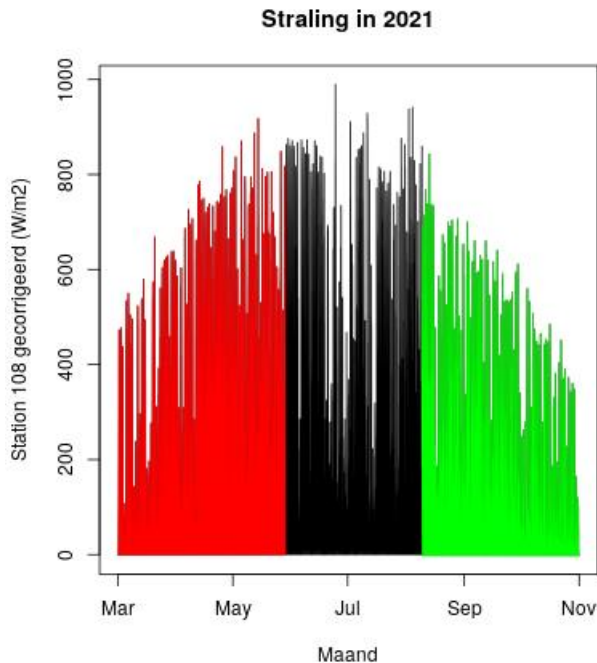


Figuur B1.10: Correlatie in straling tussen station 111 (VW) en 108 (MW) in 2020.

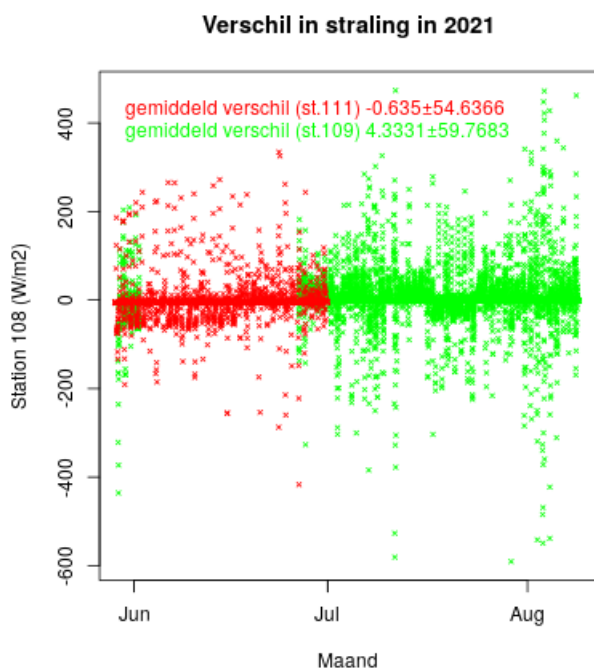


Figuur B1.11: Correlatie in straling tussen station 109 (ME) en 108 (MW) in 2020.

De geschatte en gemeten straling op station 108 (MW) is weergegeven in figuur B1.12, en het verschil in de validatieperiode in figuur B1.13. Het verschil in gemeten en geschatte straling kan op sommige tijdstippen aanzienlijk zijn, waarschijnlijk afhankelijk van verschillen in bewolking, wat zelfs op korte afstand een rol kan spelen. Echter, op wat langere tijdschaal middelen deze verschillen zich uit, en het gemiddelde verschil is vrij klein (kleiner dan 5 W/m²). Dit geldt zowel voor de schattingen gebaseerd op station 111 (tot 1 juli), als voor de die gebaseerd op station 109 (vanaf 26 juni).



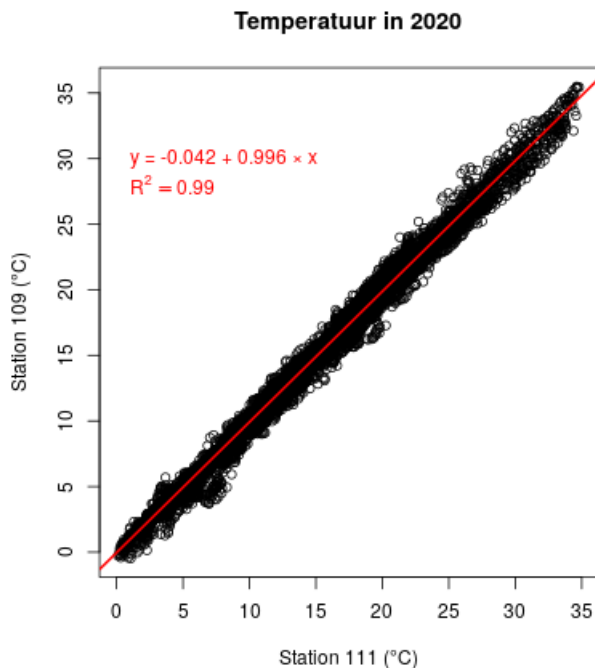
Figuur B1.12: Geschatte (rood = op basis van station 111, groen = op basis van station 109) en gemeten (zwart) straling op station 108 in 2021.



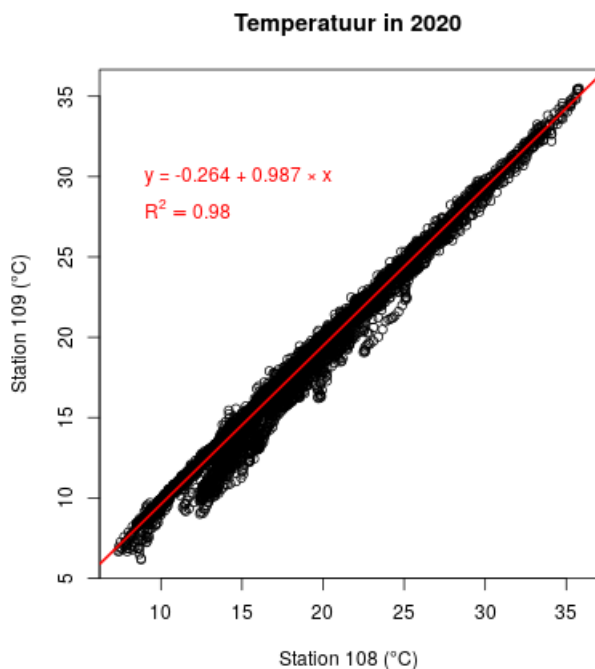
Figuur B1.13: Verschil in gemeten en geschatte straling op station 108 in de periode 29 mei – 9 augustus (gebaseerd station 109, groen), en 29 mei – 1 juli (gebaseerd op station 111, rood).

6.4.4 Station 109 (ME): Temperatuur en luchtvochtigheid

Temperatuur en luchtvochtigheid op station ME zijn tot 29/05 geschat op basis van station 111 (VW). Tussen 29/05 en 16/07 zijn hiervoor de metingen op station MW gebruikt, dat dichterbij ligt. Na 17/7 zijn de eigen metingen van dit station gebruikt. De correlaties zijn weergegeven in figuur B1.14 en B1.15. Net als eerder op station MW zijn ook hier de verbanden zeer sterk (R^2 is 0.98 of hoger).



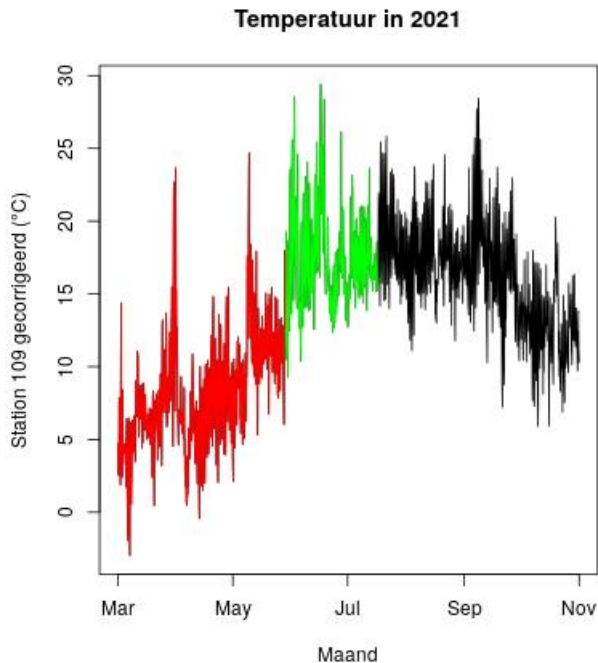
Figuur B1.14: Correlatie in temperatuur tussen station 111 (VW) en 109 (ME) in 2020.



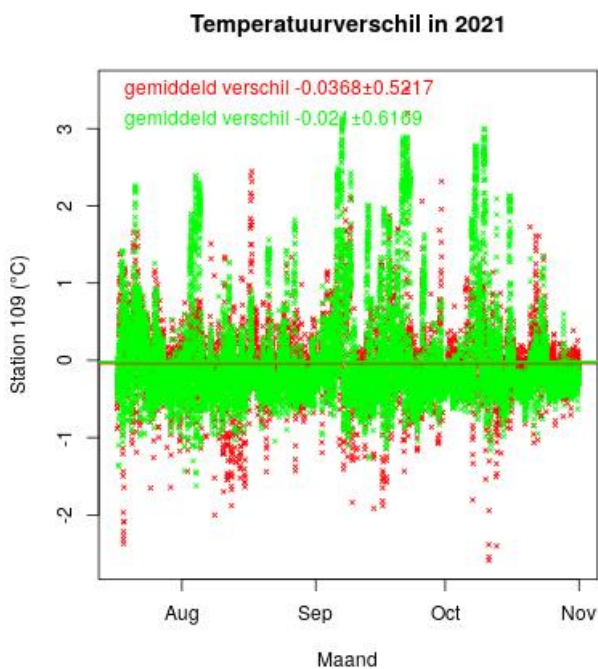
Figuur B1.15: Correlatie in temperatuur tussen station 108 (MW) en 109 (ME) in 2020.

De gemeten en geschatte temperatuur op station 109 (ME) is weergegeven in figuur B1.16, en het verschil in figuur B1.17. Gemiddeld genomen is het verschil tussen geschatte en daadwerkelijk gemeten waarden heel

klein (minder dan 0.1°C), hoewel er op sommige dagen en tijdstippen wel duidelijke uitschieters zijn te zien tot 2-3°C, met namen naar boven (dat wil zeggen, de geschatte waarden is hoger dan gemeten). Hierbij moet worden opgemerkt dat de meetfrequentie op stations 108 en 109 in 2021 is veranderd naar iedere 10 minuten, terwijl station 111 (VW) iedere 15 minuten is blijven meten. Een directe vergelijking tussen de geschatte waarden op basis van station 111, en de gemeten waarden op station 109, is daardoor slechts iedere 30 minuten mogelijk. Daarentegen is een directe vergelijking tussen de schattingen op basis van station 108 en de metingen op station 109 iedere 10 minuten mogelijk. Deze hogere frequentie verhoogt de kans op het registreren van kortstondige afwijkingen, bijvoorbeeld door verschillen in bewolking tussen de beide stations.

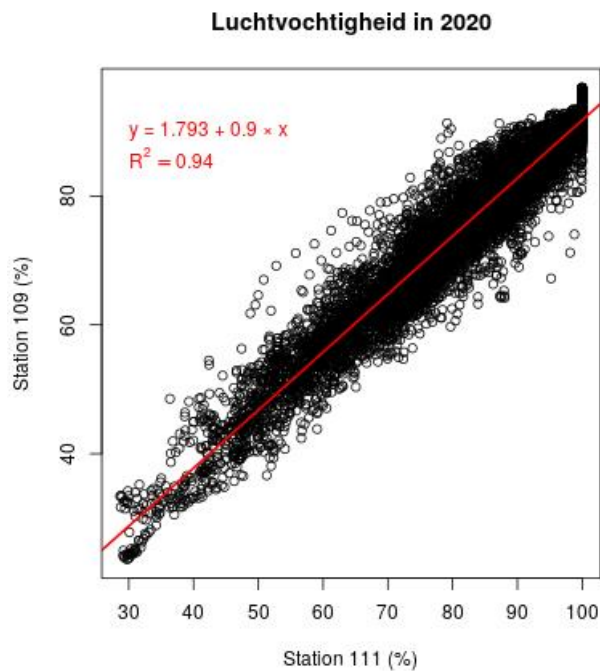


Figuur B1.16: Gemeten (zwart) en geschatte (rood: op basis van station 111; groen: op basis van station 108) temperatuur op station 109 in 2021.

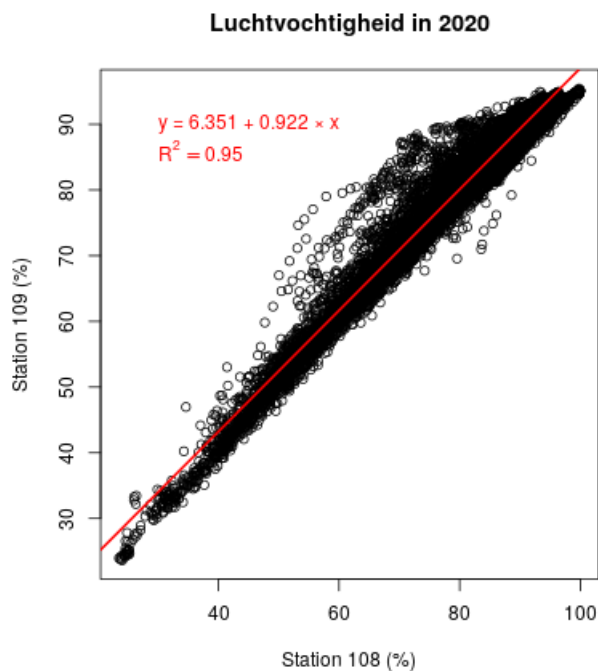


Figuur B1.17: Verschil in gemeten en geschatte temperatuur op station 109 in de periode 17 juni – 1 november (rood: verschil met geschatte waarden op basis van station 111; groen: op basis van station 108).

De correlatie in luchtvochtigheid tussen station 109 en stations 111 en 108 is weergegeven in figuur B1.18 en B1.19. In beide gevallen is het verband behoorlijk sterk (R^2 is 0.94 of hoger).

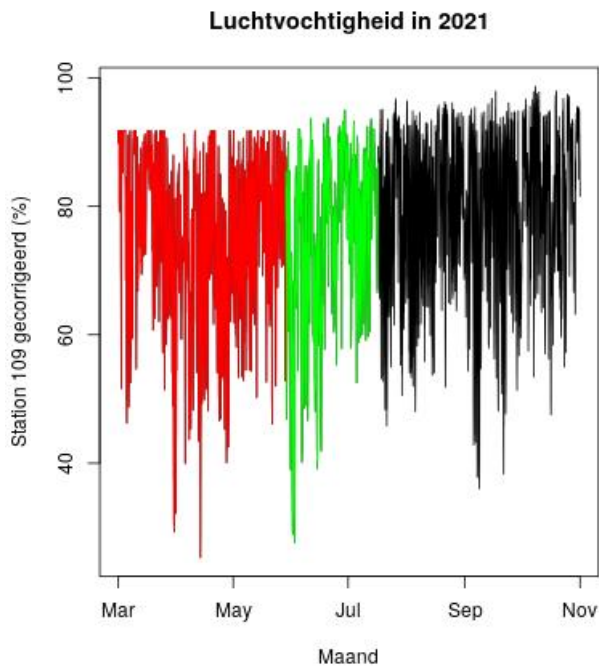


Figuur B1.18: Correlatie in luchtvochtigheid tussen station 111 (VW) en 109 (ME) in 2020.

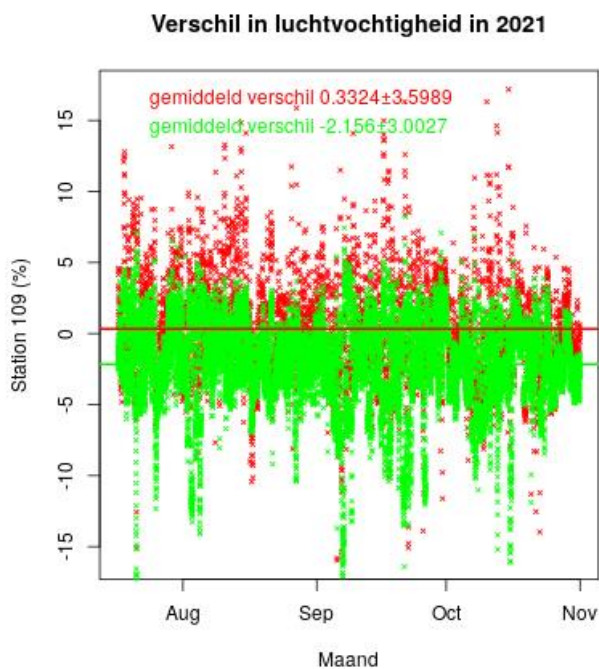


Figuur B1.19: Correlatie in luchtvochtigheid tussen station 108 (MW) en 109 (ME) in 2020.

De gemeten en geschatte luchtvochtigheid op station 109 (ME) in 2021 is weergegeven in figuur B1.20, en het verschil in de validatieperiode in figuur B1.21. Gemiddeld genomen is het verschil kleiner dan 2.5 procentpunt. Hierbij valt op dat de schattingen op basis van station 108 (groen) gemiddeld genomen wat lager zijn dan daadwerkelijk gemeten, en de schattingen op basis van station 111 (rood) gemiddeld wat hoger zijn. Hierbij moet het verschil in meetfrequentie in gedachten worden gehouden.



Figuur B1.20: Gemeten (zwart) en geschatte (rood: op basis van station 111; groen: op basis van station 108) luchtvochtigheid op station 109 in 2021.

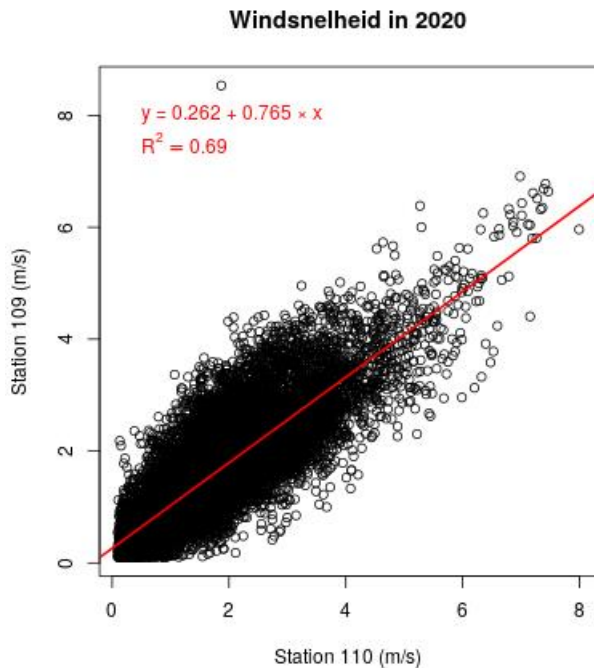


Figuur B1.21: Verschil tussen gemeten en geschatte luchtvochtigheid op station 109 in de periode 17 juni – 1 november 2021 (rood: verschil met geschatte waarden op basis van station 111; groen: op basis van station 108).

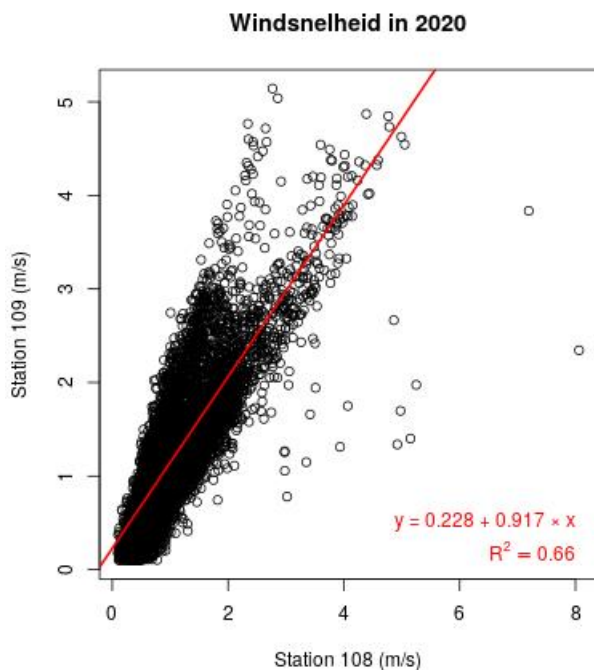
6.4.5 Station 109 (ME): Wind

Net als bij station 108 is op station 109 de windsnelheid in de periode tot 29/05 geschat op basis van station 110 (HR). Tussen 29/05 en 26/06 is de windsnelheid geschat op basis van station 108 (MW), dat dichterbij ligt. Na 26/06 zijn de eigen metingen gebruikt. De correlatie met beide stations is weergegeven in figuur B1.22 en B1.23. De sterkte van het verband is ongeveer even groot (R^2 is respectievelijk 0.69 en 0.66). Hierbij valt in figuur B1.23 op dat de windsnelheid in ME soms opvallend hoger is dan op MW, wat mogelijk verklaard kan

worden door verschillen in expositie tussen beide stations. Hierbij moet ook worden opgemerkt dat de correlatie met station 108 (MW) op minder data is gebaseerd dan die met station 110 (HR), vanwege de verschillende beschikbaarheid van meetgegevens in 2020.



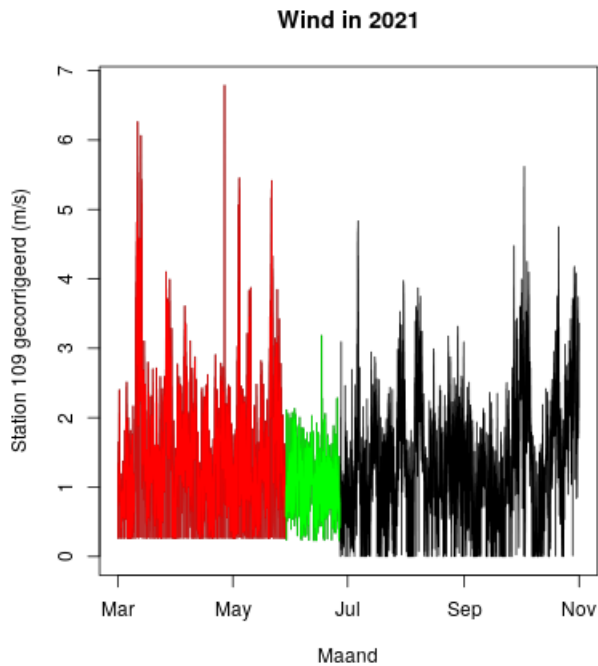
Figuur B1.22: Correlatie in gemeten windsnelheid tussen station 110 (HR) en 109 (ME) in 2020.



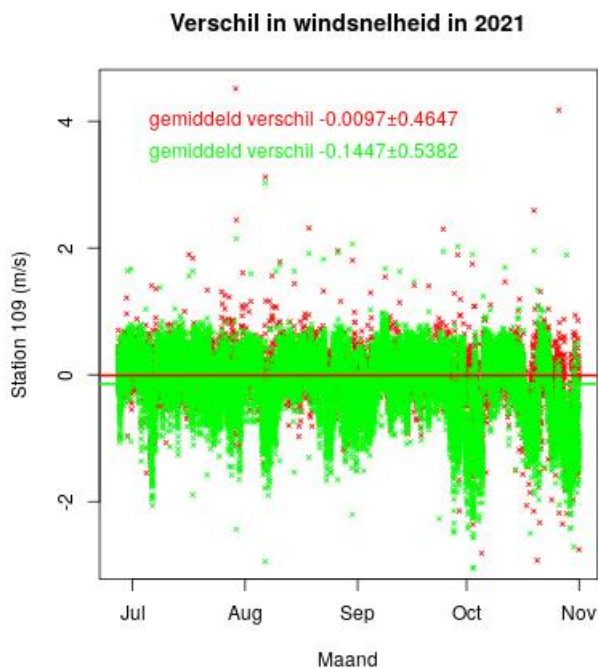
Figuur B1.23: Correlatie in gemeten windsnelheid tussen station 108 (MW) en 109 (ME) in 2020.

De gemeten en geschatte windsnelheid op station 109 (ME) in 2021 staat weergegeven in figuur B1.24, en het verschil in figuur B1.25. Gemiddeld genomen is het verschil in gemeten en geschatte windsnelheid heel klein (minder dan 0.2 m/s). Hierbij wijken de schattingen op basis van station 108 (MW) iets meer af (een

onderschatting) dan die op basis van station 110 (HR), echter deze laatste laten incidenteel wel een grotere afwijking naar boven (een overschatting) zien.



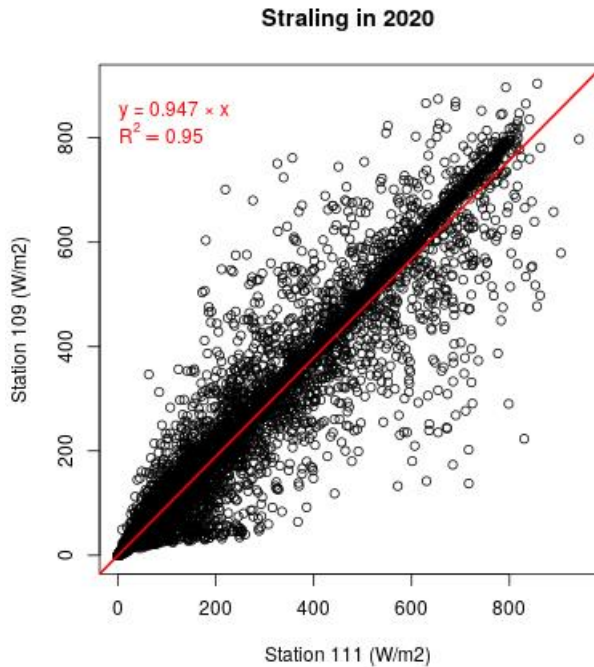
Figuur B1.24: Gemeten (zwart) en geschatte (rood: op basis van station 110; groen: op basis van station 108) windsnelheid op station 109 in 2021.



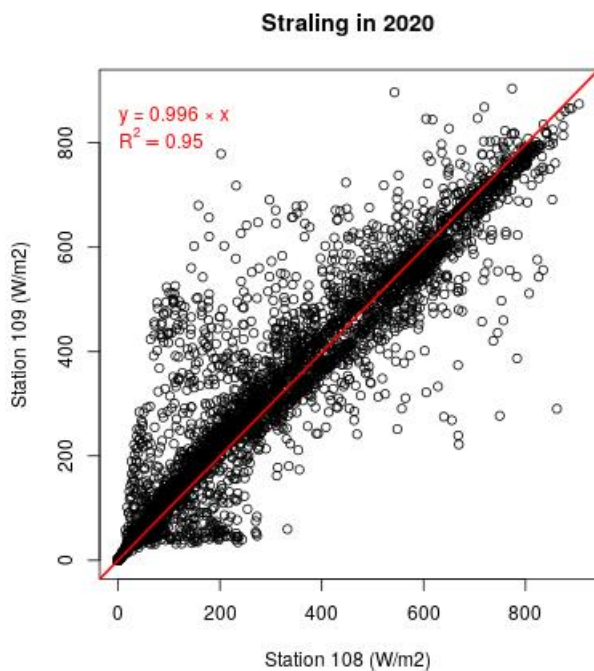
Figuur B1.25: Verschil in gemeten en geschatte windsnelheid op station 109 in de periode 17 juni – 1 november (rood: verschil met geschatte waarden op basis van station 110; groen: op basis van station 108).

6.4.6 Station 109 (ME): Straling

Tot 29/05 is de straling op station ME geschat op basis van station 111 (VW). Tussen 29/05 en 26/06 is de straling geschat op basis van station 108 (MW); daarna zijn de eigen metingen gebruikt. De correlatie met beide stations in 2020 is weergegeven in figuur B1.26 en B1.27. Opnieuw moet worden opgemerkt dat de relatie met station 108 is gebaseerd op minder datapunten dan die met station 111 vanwege databeschikbaarheid in 2020. Desondanks is de sterkte van het verband vergelijkbaar (R^2 is 0.95).

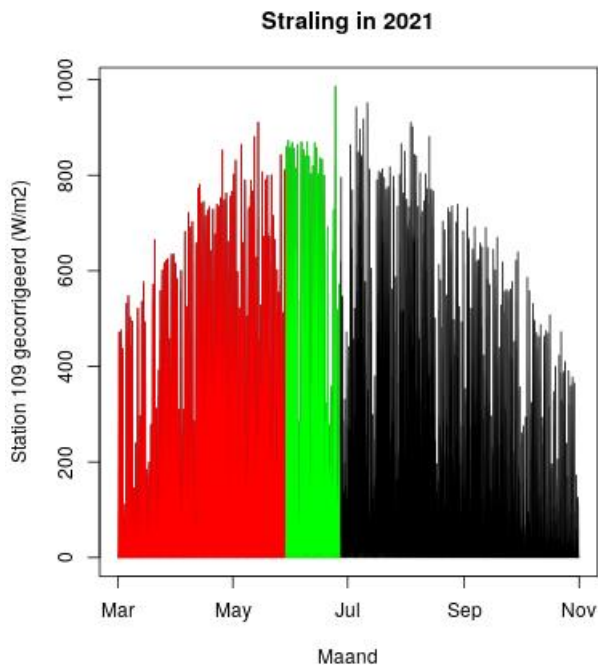


Figuur B1.26: Correlatie in gemeten straling tussen station 111 (VW) en 109 (ME) in 2020.

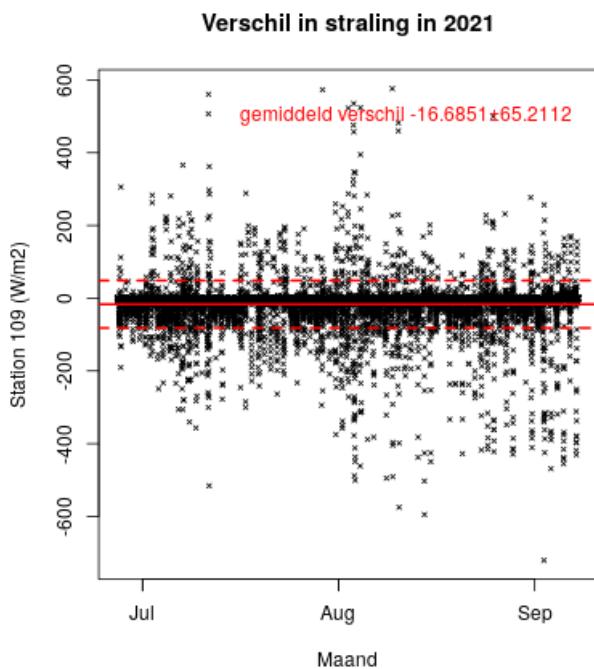


Figuur B1.27: Correlatie in gemeten straling tussen station 108 (MW) en 109 (ME) in 2020.

De gemeten en geschatte straling op station 109 (ME) in 2021 is weergegeven in figuur B1.28, en het verschil in de validatieperiode in figuur B1.29. Hierbij zijn alleen de schattingen op basis van station 108 (MW) meegenomen, in verband met problemen met de sensor op station 111 (VW) na 1 juli. De sensor op station 108 is op 8 september gestopt met het registreren van data. Gemiddeld over de hele periode is het verschil relatief klein met een onderschatting van de gemeten waarde van -17 W/m^2 ; hierbij moet worden opgemerkt dat op sommige tijdstippen behoorlijke, maar kortdurende uitschieters zijn. Mogelijk kan dit worden verklaard door verschillen in expositie en/of een afname in de prestaties in de sensor van station 108 voor 8 september.



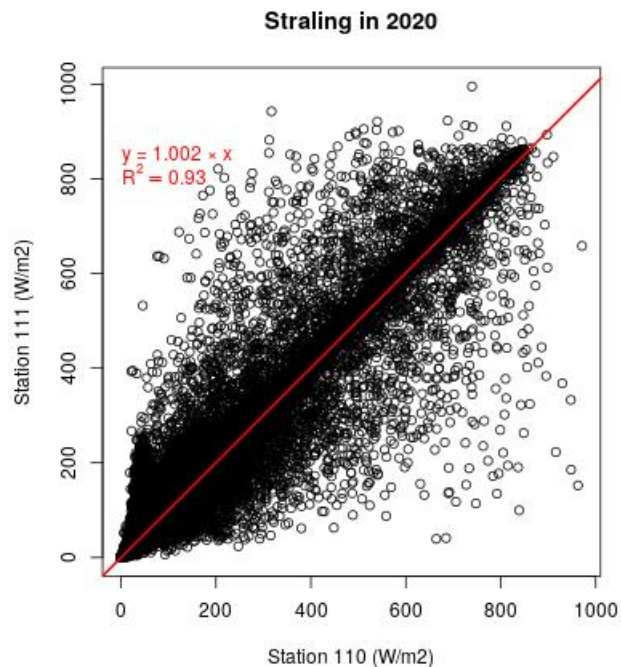
Figuur B1.28: Gemeten (zwart) en geschatte (rood: op basis van station 111; groen: op basis van station 108) straling op station 109 in 2021.



Figuur B1.29: Verschil in gemeten en geschatte straling op station 109 in de periode 17 juni – 8 september.

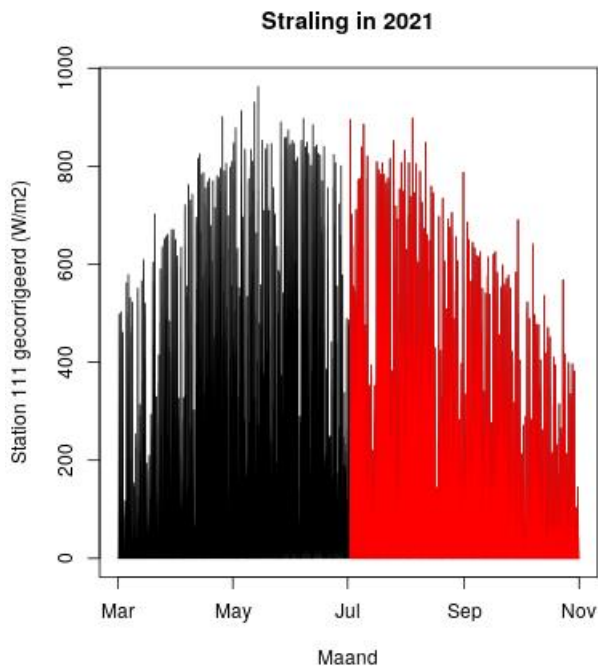
6.4.7 Station 111 (VW): Straling

Voor straling op station 111 (VW) zijn tot 01/07 de eigen metingen gebruikt, daarna is de straling geschat op basis van station 110 (HR), dit omdat de meetfrequentie op beide stations, in tegenstelling tot stations 108 en 109, in 2021 hetzelfde is gebleven als in 2020. De correlatie tussen beide stations in 2020 is weergegeven in figuur B1.30. Ondanks dat er op het oog nogal wat spreiding lijkt te zijn, is het statistische verband toch behoorlijk goed (R^2 is 0.93).

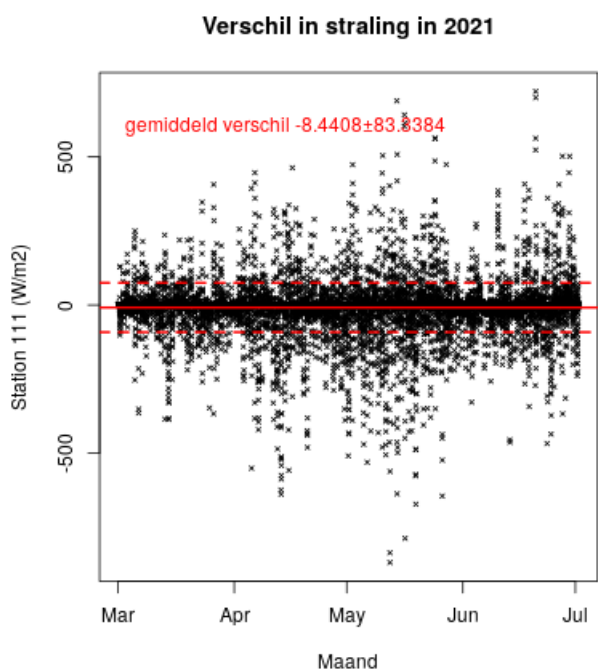


Figuur B1.30: Correlatie in gemeten straling tussen station 110 (HR) en 111 (VW) in 2020.

De gemeten en geschatte straling op VW in 2021 is weergegeven in figuur B1.31, en het verschil in de validatieperiode in figuur B1.32. Gemiddeld over de hele periode is het verschil relatief klein met een onderschatting van de gemeten waarde van -8 W/m²; hierbij moet worden opgemerkt dat op sommige tijdstippen behoorlijke, maar kortdurende uitschieters zijn. Mogelijk kan dit worden verklaard door verschillen in expositie of bewolking.



Figuur B1.31: Gemeten (zwart) en geschatte (rood) straling op station 111 in 2021.

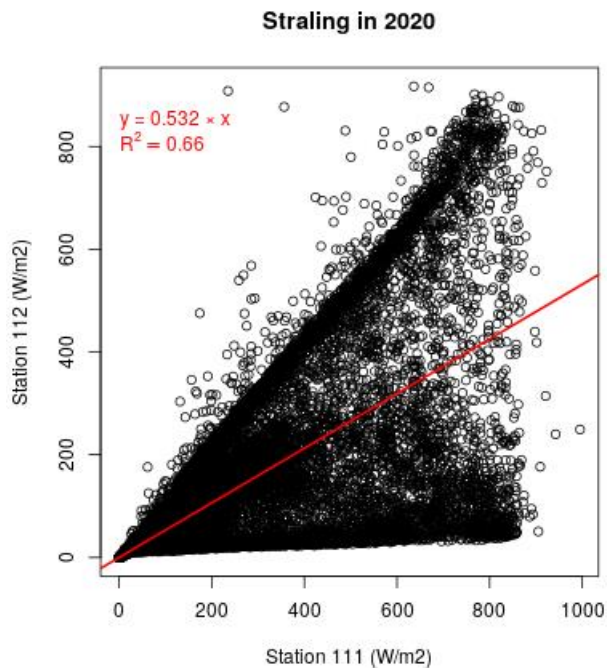


Figuur B1.32: Verschil in gemeten en geschatte straling op station 109 in de periode 1 maart – 1 juli 2021.

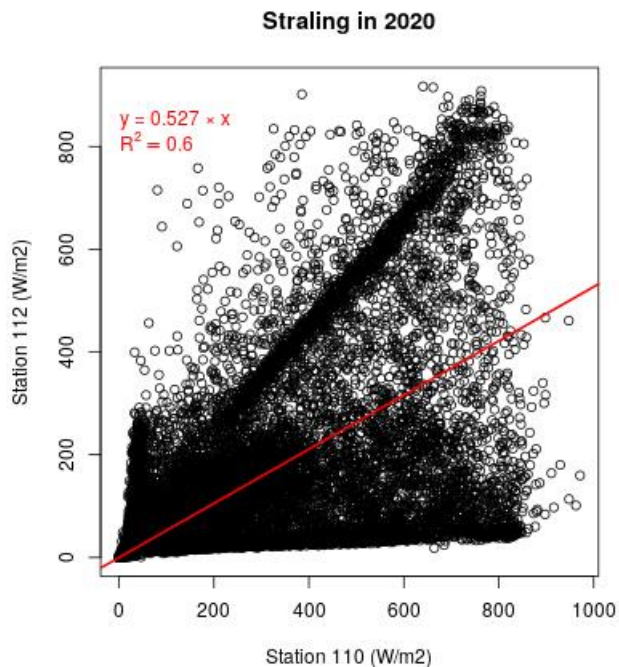
6.4.8 Station 112 (VS): Straling

Van station 112 zijn in 2021 na 14 februari geen betrouwbare metingen beschikbaar. Tot 01/07 is de straling op VS geschat op basis van het dichtstbijzijnde station, VW, daarna (net als voor VW) op basis van station 110 (HR). Een en ander betekent ook dat er voor 2021 geen validatiegegevens van station 112 beschikbaar zijn. Omdat niet precies bekend is vanaf wanneer de stralingsmetingen op station 112 onbetrouwbaar zijn, is de correlatie in 2020 bepaald voor de periode maart – september. In deze periode in 2020 zijn de metingen in ieder geval in grootte vergelijkbaar met de stralingsmetingen op andere stations. De correlatie met stations 111 (VW) en 110 (HR) in 2020 is weergegeven in figuur B1.33 en B1.34. Duidelijk te zien is dat de spreiding

in de waarden op VS veel groter is dan bij de andere stations. Dit heeft er mede mee te maken dat dit station voor een deel van de dag in de schaduw ligt. Desondanks is de sterkte van het verband redelijk (R^2 is 0.6 of groter). Omdat de tijd dat station 112 in de schaduw ligt mede afhangt van de stand van de zon (en dus varieert door het jaar heen), en het effect bovendien afhankelijk is van de weersomstandigheden (bewolking), is ervoor gekozen om de algehele correlatie te gebruiken bij het schatten van de straling op VS in 2021.



Figuur B1.33: Correlatie in gemeten straling tussen station 111 (VW) en 112 (VS) in 2020.



Figuur B1.34: Correlatie in gemeten straling tussen station 110 (HR) en 112 (VS) in 2020.

Bijlage 2 Overzicht meetcampagne

Tabel B2 1. Samenvatting van de meetcampagne in de jaren 2018-2021 op de vijf stedelijke meetstations, en de drie KNMI referentiestations. Zowel het aantal tropische nachten als de hoogst gemeten minimum temperatuur is hier bepaald aan de hand van de minimum etmaaltemperatuur (tussen 00:00 en 24:00).

		Vlissingen	Westdorpe	Wilhelminaldorp	Middelburg - Walplein	Middelburg - Eisenhowerlaan	Heinkenszand	Vlissingen - Westerzicht	Vlissingen - Scheldestraat
Zomerse dagen	2018	27	55	33	35	27	37	31	36
	2019	14	35	22	23	21	24	21	27
	2020	22	31	25	22	22	27	22	28
	2021	6	14	10	14	13	13	11	14
Tropische dagen	2018	5	9	3	4	3	6	5	6
	2019	6	11	10	11	9	11	10	11
	2020	6	12	7	11	9	11	9	11
	2021	0	1	0	0	0	0	0	1
Hoogst gemeten max (°C)	2018	36.2	37.2	35.6	36.4	36	35.7	35.5	35.1
	2019	37.1	40.3	39.9	40.1	39.7	40.5	39.7	39.9
	2020	33.3	36.1	34.6	35.7	35.4	35.1	34.6	34.9
	2021	27.8	30	29	29.8	29.1	29.5	29.5	30.3
Tropische nachten	2018	5	0	2	4	3	3	3	5
	2019	4	0	1	4	2	3	4	4
	2020	8	0	3	7	4	6	5	9
	2021	0	0	0	0	0	0	0	0
Hoogst gemeten min (°C)	2018	21.6	19.7	21.6	21.7	20.8	21.6	21.1	22.4
	2019	21.3	19.2	20.6	22.4	20.5	21.3	20.8	22.6
	2020	22.5	19.5	21.2	23.1	22	22.8	22.7	23.8
	2021	18.5	19.3	19.7	18.8	18.0	19.5	18.5	18.9

Tabel B2 1 Aantal tropische nachten en de hoogst gemeten minimum temperatuur tijdens de meetcampagne bepaald aan de hand van de minimum nachttemperatuur (tussen 18:00 en 06:00).

		Vlissingen	Westdorpe	Wilhelminadorp	Middelburg - Walplein	Middelburg - Eisenhowerlaan	Heijikenszand	Vlissingen - Westerzicht	Vlissingen - Scheldestraat
Tropische nachten	2018	7	1	3	6	4	4	4	9
	2019	7	2	3	7	5	8	7	8
	2020	10	1	5	11	6	8	7	13
	2021	1	1	1	1	1	1	1	1
Hoogst gemeten min (°C)	2018	24.0	20.7	21.3	23.9	22.0	22.8	23.7	25.2
	2019	22.8	21.9	22.6	23.2	22.4	23.3	22.9	23.5
	2020	22.7	21.6	21.6	23.1	22.2	22.8	23.1	23.8
	2021	20.9	21.1	21.2	21.8	21.3	22.1	21.6	22.2

Wageningen Environmental Research
Postbus 47
6700 AA Wageningen
T 0317 48 07 00
wur.nl/environmental-research

Wageningen Environmental Research
Rapport
ISSN 1566-7197



De missie van Wageningen University & Research is 'To explore the potential of nature to improve the quality of life'. Binnen Wageningen University & Research bundelen Wageningen University en gespecialiseerde onderzoeksinstituten van Stichting Wageningen Research hun krachten om bij te dragen aan de oplossing van belangrijke vragen in het domein van gezonde voeding en leefomgeving. Met ongeveer 30 vestigingen, 6.800 medewerkers (6.000 fte) en 12.900 studenten behoort Wageningen University & Research wereldwijd tot de aansprekende kennisinstellingen binnen haar domein. De integrale benadering van de vraagstukken en de samenwerking tussen verschillende disciplines vormen het hart van de unieke Wageningen aanpak.
