



Koninklijk Nederlands  
Meteorologisch Instituut  
*Ministerie van Infrastructuur en Milieu*

# Representativiteitonderzoek van GMS-stations

Iris Clerx en Niels Rensen

KNMI Intern Rapport IR-2016-03



# Representativiteitonderzoek van GMS-stations



HAS Kennistransfer en Bedrijfsopleidingen  
Onderwijsboulevard 221  
Postbus 90108  
5200 MA 's-Hertogenbosch  
Telefoon: (088) 890 36 37

Documenttitel: Representativiteitonderzoek van GMS-stations  
Projectcode: 1601KNM4

Status: Definitief

Opdrachtgever: KNMI  
Contactpersoon: Raymond Sluiter

Accountmanager: Marien de Bakker

Projectleider: Marien de Bakker

Projectteam: Iris Clerx  
Niels Rensen

Plaats: De Bilt  
Datum: 25 juni 2016

## Voorwoord

Als onderdeel van de afstudeerfase van de opleiding Geo Media & Design aan de HAS Hogeschool te 's-Hertogenbosch is, gedurende een periode van 20 weken, door Niels Rensen en Iris Clerx een beroepsopdracht (BO) uitgevoerd. Deze opdracht is uitgevoerd voor het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI). Dit onderzoeksrapport beschrijft de activiteiten die uitgevoerd zijn en de bijbehorende bevindingen en conclusies.

Onze dank gaat uit naar Raymond Sluiter, Marieke Dirksen en Marcel Molendijk voor de gewaardeerde hulp en kennis tijdens het uitvoeren van dit onderzoek. Ook willen we Marien de Bakker, Erik Dietvorst en Wouter Thijs bedanken voor hun ondersteuning en feedback.

## Samenvatting

Het KNMI DataLab wil meer ervaring opdoen met het uitvoeren van big data onderzoek. Met die reden is er onderzoek gestart naar het Gladheidsmeldsysteem (GMS) van Rijkswaterstaat. Dit systeem meet op 330 locaties in Nederland gegevens als de wegdektemperatuur, luchttemperatuur en de geleidingswaarde.

Gedurende dit project is onderzocht wat de invloed is van omgevingsfactoren op het GMS. Hierbij is de volgende hoofdvraag opgesteld:

“In welke mate beïnvloeden omgevingsfactoren de metingen van GMS-stations?”

De hoofdvraag is opgedeeld in twee deelvragen:

1. Beïnvloedt de verkeersintensiteit de metingen van sensoren binnen één GMS-station?
2. Zijn er verschillen tussen metingen van GMS-sensoren op bruggen of viaducten en sensoren op normale wegen binnen één station?

Een ‘normale weg’ wordt in dit onderzoek gedefinieerd als een hoofdweg of provinciale weg met een vaste ondergrond.

Hierbij wordt verwacht dat wegdektemperaturen op de rechterrijstrook hoger zijn dan op de linkerrijstrook door de hogere verkeersintensiteit op de rechterrijstrook. Daarnaast wordt ook verwacht dat de wegdektemperaturen op een normale weg hoger zijn dan op een brug of viaduct omdat er een vaste ondergrond is die de warmte kan vasthouden.

Door middel van een classificatie van de sensoren kunnen verschillende eigenschappen van de sensoren achterhaald worden. Bijvoorbeeld of de sensoren wel of niet op een brug of viaduct liggen, maar ook op welke rijstrook deze zich bevinden.

Om de betrouwbaarheid van de resultaten van het onderzoek te verbeteren wordt voor de analyse een datavalidatie uitgevoerd. Hierbij worden de extreme waardes uit de onderzoeksdata gefilterd. De overgebleven gevalideerde data wordt gebruikt voor het onderzoek.

Er heeft eerst een exploratieve fase plaatsgevonden om een beeld te krijgen van de gegevens in de database. De volgende stap was het berekenen van het gemiddelde temperatuurverschil tussen de binnenste en de buitenste rijstroken en het gemiddelde temperatuurverschil tussen normale wegen en bruggen of viaducten. Vervolgens is doormiddel van een T-toets aangetoond of het verschil tussen de genoemde variabelen significant is om een uitspraak te kunnen doen over de invloed van deze omgevingsfactoren.

Om vergelijkbare situaties te analyseren is gekozen voor 5 stralingsnachten in de winter van 2015-2016. Hierdoor zijn externe invloeden zoals wisselende bewolking en wind uitgesloten. Hieruit bleek dat de rechterrijstrook gemiddeld 0,86°C warmer is dan de linkerrijstrook. Ook was het normale wegdek 0,26°C warmer dan het viaduct en 0,42°C warmer dan het wegdek op een brug. De waargenomen verschillen zijn allen significant.

Uit het onderzoek is dus gebleken dat de twee onderzochte omgevingsfactoren, verkeersintensiteit en infrastructuur, de metingen van het GMS beïnvloeden.

## Summary

The KNMI Datalab wants to gain more experience in big data research. For this reason, research has been initiated on the 'Gladheidsmeldsysteem' (GMS). This system measures data at 330 locations in the Netherlands. These measurements include road temperature, air temperature and the conductivity value.

During this project we investigated the influence of environmental factors on the GMS. The main research question is:

“To what extent do environmental factors influence the measurements of the GMS-stations?”

In order to answer this question, it is divided into two sub-questions:

1. Does traffic intensity influence the measurements from sensors within one GMS-station?
2. Are there differences between measurements of GMS sensors on bridges or flyovers and sensors on normal roads within one observation station?

In this study a 'normal road is defined as a highway with a solid surface.

It is expected that the sensors on the right lane observe higher temperatures than the left lane due to the higher traffic volume on the right lane. It is also expected that road temperatures on a normal road are higher than temperatures on a bridge or flyover because there is solid ground which is capable of retaining the heat of the normal road.

On the basis of a sensor classification, various characteristics can be recognised. For example whether the sensor is on a bridge, flyover or normal road, or if the sensor is on the left or right lane.

In order to improve the reliability of the results of the project data validations have been carried out. The extreme measurements of the GMS have been filtered, which means only validated data has been used for the research.

First, there has been an exploratory phase to obtain an overview of the content in the database. The next step was to calculate the average difference in temperature between the left and the right lanes, and the average temperature difference between normal roads and bridges or flyovers. By performing a T-test, it is proven that the difference between mentioned variables is significant.

To exclude the majority of external influences only the measurements of the five radiation nights in the winter of 2015-2016 have been used. This showed that the average temperature on the right lane is 0.86°C higher than the left lane. On average the normal road surface was 0.26°C higher than flyovers and 0.42°C higher than bridges. All of the observed differences are statistically significant.

The research has shown that the two investigated environmental factors, traffic intensity and infrastructure, have an influence on the GMS sensors.

## Inhoudsopgave

Voorwoord .....	3
Samenvatting .....	4
1. Inleiding.....	8
2. Methode .....	10
2.1 Datasets .....	10
2.1.1 Gebruikte datasets.....	10
2.1.2 Instrumenten .....	11
2.2 Data-preparatie.....	13
2.2.1 Classificatie GSM-sensoren.....	13
2.2.2 Dataselectie.....	14
2.2.3 Datavalidatie .....	16
2.3 Data-analyse .....	19
2.3.1 Data-exploratie .....	19
2.3.2 Statistische analyse .....	20
3. Resultaten .....	21
3.1 Algemene exploratie.....	21
3.2 Resultaten rijstroken.....	26
3.2.1 Data-exploratie .....	26
3.2.2 Stralingsnachten (mean difference).....	28
3.2.3 Statistische analyse (T-toets) .....	32
3.3 Resultaten bruggen en viaducten .....	34
3.3.1 Data-exploratie .....	34
3.3.2 Stralingsnachten (mean difference).....	36
3.3.3 Statistische analyse (T-toets) .....	39
4. Discussie.....	41
5. Conclusies en aanbevelingen .....	43
5.1 Rijstroken .....	43
5.2 Bruggen en viaducten .....	43
5.3 Hoofdvraag.....	44
5.4 Ervaring Big Data onderzoek.....	44
5.5 Aanbevelingen .....	45
Bibliografie .....	47
Bijlagen.....	48



Bijlage 1 Beschrijving GMS-sensoren.....	48
Bijlage 2 Koppeling GMS-stations met KNMI-stations.....	49
Bijlage 3 Overzicht van scripts op CD.....	50
Bijlage 4 Overzicht gebruikte stations deelvraag 2.....	51
Bijlage 5 Statistische resultaten rijstroken.....	52
Bijlage 6 Resultaten data-exploratie viaducten .....	57
Bijlage 7 Resultaten stralingsnachten viaducten .....	59

## 1. Inleiding

### Projectopdracht

De opdrachtgever van de beroepsopdracht is Raymond Sluiter, onderzoeker bij het Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) gelegen in De Bilt. Dit instituut is onderdeel van het Ministerie van Infrastructuur en Milieu (IenM) en houdt zich bezig met het monitoren van weer- en klimaatverschijnselen in Nederland. Door dagelijks weersomstandigheden te meten en te modelleren kunnen burgers geïnformeerd worden over mogelijk gevaarlijke situaties zoals: gladheid, stormen of aardbevingen.

Het KNMI heeft in december 2015 een DataLab opgericht dat data gedreven innovaties faciliteert. Het KNMI DataLab wil meer ervaring opdoen met big data onderzoek, in het bijzonder met de tools, technieken en borging van de projectactiviteiten. Om deze reden wordt op de afdeling 'R&D Waarnemingen en Datatechnologie' het project omtrent het Gladheidsmeldsysteem (GMS) uitgevoerd. Dit systeem, dat onderhouden wordt door Rijkswaterstaat, bestaat uit ongeveer 330 meetstations die aangebracht zijn op verschillende wegen in Nederland. Deze meetstations bevatten verschillende sensoren die elke 5 minuten gegevens meten als: wegdektemperatuur, luchttemperatuur en geleidingswaarde (zie Paragraaf 2.2.1).

Om dit project uit te voeren is er een onderzoeksvraag opgesteld die aan het eind van dit rapport beantwoord wordt. De onderzoeksvraag luidt:

*“In welke mate beïnvloeden omgevingsfactoren de metingen van GMS-stations?”*

Met omgevingsfactoren worden factoren bedoeld die in de directe omgeving van de weg liggen en daar potentieel invloed kunnen hebben op de metingen die het GMS uitvoert. Denk hierbij aan bebouwing, verkeersintensiteit, de hoogteligging van stations en infrastructuur (bruggen en viaducten).

Om de onderzoeksvraag te beantwoorden is er in de enorme hoeveelheid data gedoken die het GMS levert. Hierdoor is er ervaring opgedaan met big data analyses, de benodigde tools en technieken. Daarnaast is er inzicht verkregen in de inhoud en de mogelijkheden van het GMS.

Om het onderzoek uit te voeren is de onderzoeksvraag verdeeld in twee deelvragen. Deze deelvragen zijn opgesteld aan de hand van een *exploratieve fase*. Tijdens deze fase is het projectteam bezig geweest met het ontleden van de GMS database om te ontdekken welke potentiële informatie hierin zit. Zo is voorkomen dat er deelvragen zijn opgesteld die niet relevant waren en dat er belangrijke onderwerpen over het hoofd werden gezien. De exploratieve fase wordt nader toegelicht in Hoofdstuk 2.

De deelvragen die als gevolg van deze exploratieve fase zijn opgesteld luiden als volgt:

1. Beïnvloedt de verkeersintensiteit de metingen van sensoren binnen één GMS-station? (Rijstrook, spitsstrook, oprit en afrit)
2. Zijn er verschillen tussen metingen van GMS-sensoren op bruggen of viaducten en sensoren op normale wegen binnen één station?

Een 'normale weg' wordt in dit onderzoek gedefinieerd als een hoofdweg of provinciale weg met een vaste ondergrond.

Er wordt verwacht dat de gemiddelde wegdektemperatuur op de rechterrijstrook hoger is dan op de linkerrijstrook door de hogere verkeersintensiteit. Daarnaast wordt ook verwacht dat de gemiddelde wegdektemperatuur op een normale weg hoger is dan op een brug of viaduct omdat er een vaste ondergrond is die de warmte transporteert. Er wordt verwacht dat dit effect het grootst is tijdens stralingsnachten, heldere nachten met weinig wind. Dit wordt nader toegelicht in paragraaf 2.2.2

Het doel van dit onderzoeksrapport is om antwoord te geven op de hoofd- en deelvragen. De ervaring die is opgedaan met big data onderzoek wordt weergegeven in een infographic. Dit onderzoeksrapport is opgebouwd uit 5 hoofdstukken. De inhoudsopgave kan gezien worden als leeswijzer.

### Onderzoeksgebied

In dit onderzoek zijn uitsluitend meetstations gebruikt die in Nederland liggen. Deze stations bevinden zich op het hoofdwegennet en op provinciale wegen. In Figuur 1 is te zien waar alle stations zich bevinden die zijn gebruikt in dit onderzoek.



Figuur 1 Locatie van alle meetstations

## 2. Methode

In dit hoofdstuk wordt beschreven hoe het onderzoek uitgevoerd is. Eerst zal worden beschreven welke datasets gebruikt zijn en wat de metadata zijn. Vervolgens zal worden beschreven welke instrumenten gebruikt zijn, bestaande uit een korte toelichting van het GMS en de gebruikte softwarepakketten voor data analyses en visualisaties. In de tweede paragraaf wordt toegelicht hoe de data geprepareerd, geselecteerd en gevalideerd is om de verschillende deelvragen te beantwoorden. Tot slot wordt uitgelegd hoe de verschillende data analyses uitgevoerd zijn. Hierin wordt uitgelegd wat er tijdens de exploratiefase gedaan is en hoe en waarom de statistische analyse uitgevoerd is.

### 2.1 Datasets

#### 2.1.1 Gebruikte datasets

Voor het onderzoek zijn verschillende datasets gebruikt. Deze datasets zijn gebruikt voor het uitvoeren van de analyses maar ook voor het maken van kaarten en ander ondersteunend materiaal.

In Tabel 1 is een overzicht van de gebruikte datasets te zien met bijbehorende metadata.

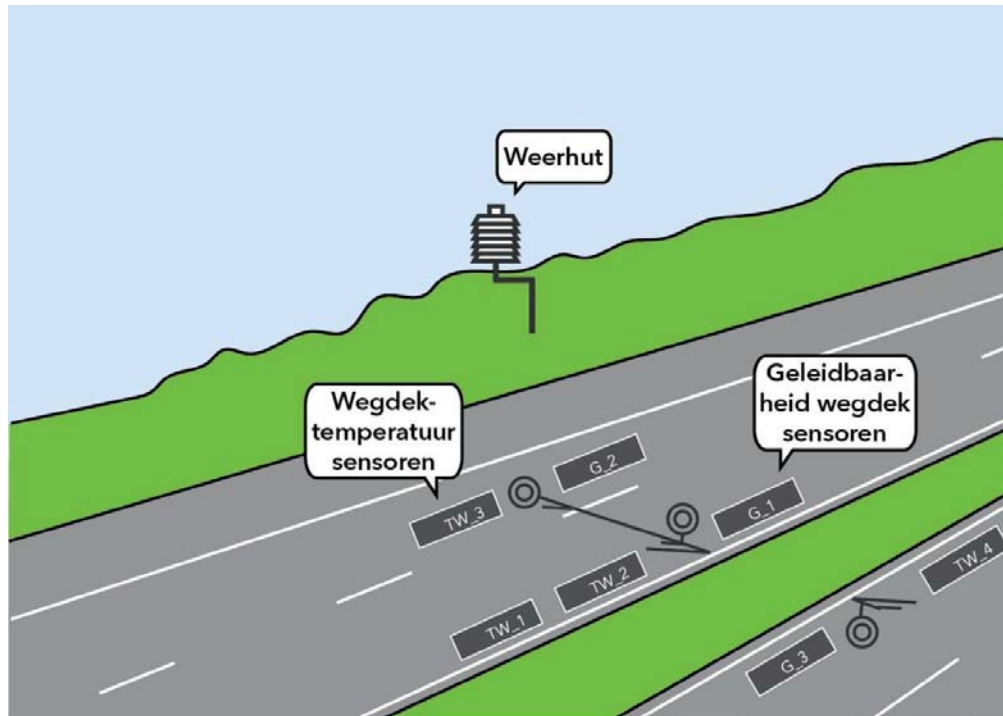
Naam	Bron	Beschrijving	Actualiteit	Schaalniveau	Formaat
<b>GMS</b>	Rijkswaterstaat	Het Gladheidsmeldsysteem is een landelijk dekkend systeem dat met sensoren in de weg meet om gladheid te detecteren.	2009 – 2016 Opgeroepen in februari 2016	1:10.000	MySQL database intern beschikbaar via KNMI
<b>AHN1_5m</b>	Waterschappen en Rijkswaterstaat	Het Actueel Hoogtebestand is een 5 meter grid en bevat precieze maaiveldhoogtes voor heel Nederland.	1996 – 2004 Opgeroepen in april 2016	1:10.000	Grid intern beschikbaar via HAS Hogeschool
<b>NWB - wegen</b>	Rijkswaterstaat	Dit bestand bevat alle wegen die worden beheerd door overheden in Nederland.	2004 Opgeroepen in mei 2016	1:10.000	SHP intern beschikbaar via HAS Hogeschool
<b>INTERN_EU_Countries</b>	KNMI	Polygonen van landen in Europa.	2008 Opgeroepen in mei 2016	1:10.000	SHP intern beschikbaar via KNMI
<b>Bestuurlijke grenzen</b>	Kadaster en CBS	De Nederlandse provinciegrenzen.	2016 Opgeroepen in april 2016	1:10.000	WMS beschikbaar via PDOK

Tabel 1 Gebruikte datasets

## 2.1.2 Instrumenten

### Specificaties GMS-sensoren

Het Gladheidsmeldsysteem (GMS) is een landelijk dekkend systeem van Rijkswaterstaat dat weersomstandigheden meet waardoor gladheid kan ontstaan. De circa 330 meetstations zijn uitgerust met een weerhut langs de weg en maximaal 24 sensoren in de weg, waarvan maximaal 12 wegdektemperatuur (TW) sensoren en 12 geleidbaarheid wegdek (G) sensoren. In Figuur 2 is een mogelijke opstelling van een meetstation te zien (Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, 2007).



Figuur 2 Voorbeeld opstelling van een meetstation. Aangepast overgenomen uit *Handleiding GMS release 1.6.5* door Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, 2007, Delft.

In de weerhut langs de weg worden de volgende variabelen gemeten:

- **Luchttemperatuur (°C)**
- **Dauwpunt temperatuur (°C)**
- **Relatieve luchtvochtigheid (%)**
- **Neerslagaanwezigheid (μS)**

De sensoren in de weg meten de volgende variabelen:

- **Temperatuur wegdek, sensor 1 t/m 12 (°C)**
- **Temperatuur onderzijde wegdek (°C)**
- **Geleidbaarheid wegdek, sensor 1 t/m 12 (μS)**

De bovenstaande variabelen worden nader beschreven in Bijlage 1.

## Software

Om het mogelijk te maken de data te bezichtigen, bewerken en te visualiseren moesten er verschillende software pakketten gebruikt worden. Hieronder wordt genoemd welke dit waren met een korte beschrijving.

### **R 3.2.3, 2015 / Rstudio 0.99.902, 2016**

R is een programmeertaal die gebruikt kan worden voor databewerking, statistische analyses en data visualisaties. De software is Open Source en daarom gratis voor iedereen te gebruiken (The R Foundation). De software heeft enige overeenkomstigheid met de statistische functies in software als SPSS, maar bij R is het mogelijk grotere datasets te gebruiken (1.000.000+ records) wat in SPSS niet mogelijk is. Dit was in het huidig onderzoek noodzakelijk, daarom is er gebruik gemaakt van deze software.

Rstudio is een interface die gemaakt is om het gebruikersgemak van R te verbeteren. Het biedt verschillende tools aan die gebruikt kunnen worden voor het plotten, het inzien van de data, geschiedenis van de coderingen en vele anderen extra's (RStudio, 2016).

### **ArcGIS 10.2.2, 2014 / 10.3, 2015**

ArcGIS is een softwarepakket dat is ontworpen door Esri. GIS is een afkorting voor Geografisch Informatie Systeem. Deze software wordt gebruikt om geografische data te analyseren en visualiseren (Esri, 2015). Voor die toepassingen is het ook binnen dit onderzoek toegepast.

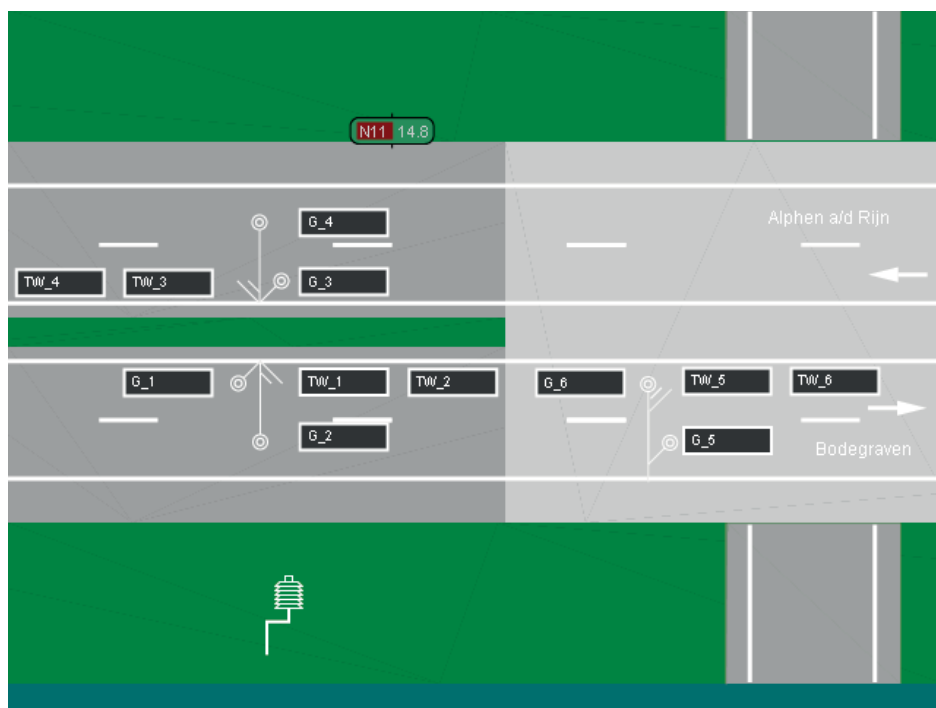
### **SPSS 23.0, 2015**

SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) is een programma dat gebruikt wordt voor het lezen, bewerken en analyseren van gegevens en resultaten. Het wordt veel in de statistiek gebruikt en heeft ook mogelijkheden om data te visualiseren (Manders, 2015).

## 2.2 Data-preparatie

### 2.2.1 Classificatie GMS-sensoren

Van elk meetstation is een situatieschets aanwezig waarop de locaties van de sensoren te zien zijn. Figuur 3 toont een voorbeeld van een situatieschets. Aan de kleur van de brug of het viaduct in de schets is te zien van welk materiaal deze gemaakt is. Een overzicht van alle materialen is te zien in Tabel 2 (Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, 2007).



Kleur	Materiaal
Donkergrijs	Asfalt
Lichtgrijs	Beton
Roodbruin	Staal

Tabel 2 Materiaal wegdek

Figuur 3 Situatieschets van station 571. Overgenomen uit *Handleiding GMS release 1.6.5* door Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, 2007, Delft

Uit de situatieschetsen is door Marcel Molendijk (KNMI: persoonlijke communicatie, 19 februari 2016) een codeersysteem bedacht om de sensoren te classificeren. In een online spreadsheet zijn de karakteristieken van alle sensoren geïdentificeerd. Dit helpt bij het beantwoorden van de deelvragen. Elke code bestaat uit 6 cijfers. De positie van het cijfer en de waarde ervan geven informatie over de locatie van de sensor in het wegdek. In Tabel 3 is een overzicht van het codeersysteem te zien.

Cijfer	Waarde	Omschrijving
1. Rijbaan	[1, 2, 3, 4]	Rijbaan met TW_1: 1, tegenovergestelde rijbaan: 2, parallelbaan naast rijbaan 1: 3, parallelbaan naast rijbaan 2: 4
2. Rijstrook	[0, 1, 2, 3, 4, 5]	Anders: 0, meest links van rijbaan: 1
3. Spitsstrook	[0, 1]	Nee: 0, ja: 1
4. Oprit	[0, 1]	Nee: 0, ja: 1
5. Afrit	[0, 1]	Nee: 0, ja: 1
6. Brug of viaduct	[0, 1, 2]	Nee: 0, brug: 1, viaduct: 2

Tabel 3 Overzicht van het codeersysteem

Gebruik makend van deze codering ziet de classificatie van het station in Figuur 3 er als volgt uit:

TW_1	: 110000	G_1	: 110000
TW_2	: 110000	G_2	: 120000
TW_3	: 210000	G_3	: 210000
TW_4	: 210000	G_4	: 220000
TW_5	: 110002	G_5	: 120002
TW_6	: 110002	G_6	: 110002

In samenwerking met Marcel Molendijk zijn alle sensoren geclassificeerd.

### 2.2.2 Dataselectie

Voor het onderzoek is maar een deel van de gegevens nodig, daarom worden in de database een aantal selecties doorgevoerd om alleen met de nodige data aan het werk te gaan. Het script hiervoor is te vinden in Bijlage 3. Deze selecties worden hieronder nader toegelicht.

#### Jaar

Het GMS meet vanaf 2009 tot heden. In overleg met de opdrachtgever is gekozen om te beginnen met de jaren 2015-2016.

#### Maand

Omdat één van de kernfuncties van het GMS bestaat uit het voorspellen van gladheid op de wegen, is er besloten om alleen data te gebruiken uit de winterperiode. Hierbij is gekozen voor de maanden: november, december en januari. Deze drie maanden zijn geselecteerd, omdat in deze periode het aantal zonuren het laagst is en de mate van invloed hiervan dus minder is (M. Molendijk, persoonlijke communicatie, 12 april 2016).

#### Periode in de dag

De zon op het wegdek kan de sensoren beïnvloeden. Zo warmt het wegdek veel sneller op en is het ook mogelijk dat sensoren in de schaduw gaan vallen. Om te voorkomen dat de metingen van de sensoren door de zon beïnvloedt zullen worden, is er een tijdsperiode gekozen waarin de invloed van de zon erg laag is. Deze periode is van 16:00 – 10:00 de volgende dag. Om 16:00 begint namelijk de afname van de opwarming door de zon gedurende de middag. Daarom is dit tijdstip gekozen (Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde, 2007).

#### Stralingsnachten

Naast invloeden van de zon, wordt de temperatuur ook beïnvloed door andere weersomstandigheden zoals regen, hagel en bewolking. Om ook deze invloeden zoveel mogelijk uit te sluiten is besloten alleen gebruik te maken van stralingsnachten. Tijdens stralingsnachten is er namelijk weinig tot geen bewolking waardoor de metingen minimaal beïnvloed worden. Marcel Molendijk (persoonlijke communicatie, 12 april 2016) heeft aan de hand van metingen van KNMI station 260 (De Bilt) de stralingsnachten gedurende de winters van 2010 t/m 2016 geselecteerd. Deze selectie is gedaan op basis van de volgende criteria: een periode van 18:00 tot 06:00 (12 uur) met 75% van de tijd minder dan 3/8 bewolking.



In overleg met de opdrachtgever is gekozen om deze stralingsnachten te gebruiken voor alle GMS-stations. Als de stralingsnachten van andere KNMI-stations ook bekend zijn zou het beter zijn om deze gegevens te regionaliseren door de GMS-stations te koppelen aan een van de KNMI-stations aan de hand van Thiessen polygonen. Hierbij wordt om ieder datapunt een polygoon getekend waarbij de grenzen elkaar raken in het midden tussen de datapunten. In Bijlage 2 is te zien hoe de Thiessen polygonen eruit zien van het GMS.

### Resultaat

De dataset waar het onderzoek op uitgevoerd gaat worden loopt van november 2015 tot en met januari 2016. Binnen deze periode zijn 5 stralingsnachten geïdentificeerd, deze luiden als volgt:

- 3 november 2015
- 23 november 2015
- 8 december 2015
- 9 januari 2016
- 18 januari 2016

B.v. de stralingsnacht van 3 november houdt in dat er gekeken wordt naar de data van 2 november 16:00 tot 3 november 10:00. De data van deze 5 stralingsnachten zal gebruikt worden bij het beantwoorden van beide deelvragen.

### Dataselectie rijstroken

Voor het beantwoorden van deelvraag 1 worden zes stations met elkaar vergeleken. Vooraf is in R eerst een tabel gemaakt waarin de classificatie code opgesplitst werd zodat alleen het 2<sup>e</sup> cijfer van elke sensor overbleef (zie Bijlage 3). Dit getal indiceert de rijstrook waarop de sensor zich bevindt. Aan de hand van deze tabel en de situatieschetsen kunnen de stations die voor het beantwoorden van de deelvraag nodig zijn handmatig uitgezocht worden.

Hierbij zijn de volgende zes stations uitgekozen. De stations zijn uitgekozen op basis van hun locatie, aantal rijstroken en aantal sensoren per rijhelft. Hierbij is het belangrijk dat de sensoren nooit in de schaduw zullen liggen door bebouwing langs de weg, de stations een verschillende hoeveelheid rijstroken hebben en bij voorkeur ook meerdere sensoren per weghelft hebben. De volgende zes stations zijn geselecteerd (zie Tabel 4).

Station nummer	Locatie	Wegnummer	Rijstroken
201	Nieuwegein	A12	4
204	Breukelen	A2	5
217	Veenendaal	A2	3
351	Knooppunt Benelux	A4	2
908	Oss	A50	2
1104	Lankhorst	A28	2

Tabel 4 Gebruikte stations deelvraag 1

Er wordt ook nog onderscheid gemaakt in verschillende rijbanen, hierin is rijbaan 1 de baan waarop TW\_1 gelegen is, en rijbaan 2 de baan die er parallel aan ligt.

### Dataselectie bruggen en viaducten

Voor het beantwoorden van deelvraag 2 is er eerst een selectie gemaakt van alle sensoren op een brug of viaduct. Dit is gedaan door de 6-cijferige code te splitsen in R en subsets te maken van alle stations met sensoren op een brug of viaduct (zie Bijlage 3). In Figuur 5 is een overzicht te zien van het aantal stations met minimaal één sensor op een brug of viaduct.

Aan de hand van dit overzicht en de situatieschetsen is handmatig gezocht naar stations met zowel sensoren op een brug of viaduct als op een normale weg. Hierbij is ook rekening gehouden met verkeersintensiteit. Dit wil zeggen dat de sensoren op dezelfde rijstrook liggen. In Bijlage 4 is te zien welke stations er vervolgens overbleven en zijn gebruikt voor de analyse van deelvraag 2.

### 2.2.3 Datavalidatie

Het GMS meet op 330 locaties, met tientallen sensoren, elke 5 minuten verschillende waarden. Het is daarom erg aannemelijk dat er verschillende meetfouten in deze data terecht zullen komen. Om het onderzoek zo accuraat mogelijk uit te kunnen voeren is er een datavalidatie uitgevoerd. In deze datavalidatie zijn verschillende regels opgesteld waaraan een meting moet voldoen. Hierbij wordt gekeken naar de betrouwbaarheid van het meetstation en de betrouwbaarheid van de meting. Wanneer er niet aan deze regels wordt voldaan, wordt de meting of het station uit de data verwijderd. Dit heeft geen verdere gevolgen voor de overige metingen van hetzelfde station. De regels die voor de validatie zijn opgesteld zullen in deze paragraaf besproken worden.



Figuur 5 Aantal GMS-stations op een brug of viaduct

### Valideren stations

Naast de mogelijkheid tot meetfouten, zijn er ook vooraf een aantal stations aan te wijzen die in het onderzoek niet meegenomen zullen worden (zie Tabel 5). Dit komt omdat deze meetstations gebruikt worden als teststations van Rijkswaterstaat en dus niet gebruikt worden om onder andere de wegdektemperaturen van de openbare wegen te meten. Overigens vallen de bijbehorende coördinaten van station **1502** en **1503** niet binnen de grenzen van Nederland. Deze drie stations zullen daarom te allen tijde verwijderd worden voor er een analyse plaats zal vinden.

Station nummer	Naam station
1501	AVV Testcentrum 1
1502	EMC Testkast
1503	GPRS Demonstrator

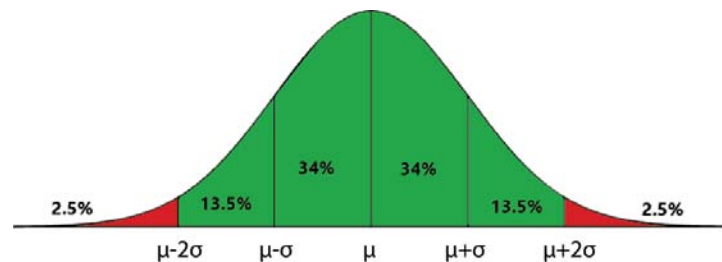
Tabel 5 Overzicht van onbruikbare stations

## Valideren metingen

Het komt regelmatig voor dat de sensoren van het GMS een afwijkende meting uitvoeren. Wanneer er bijvoorbeeld 6 sensoren in één station een waarde van ongeveer  $-5^{\circ}\text{C}$  aangeven maar één sensor een waarde geeft van  $45^{\circ}\text{C}$ , is het erg aannemelijk dat deze laatstgenoemde waarde incorrect is. Deze hoge waarden kunnen grote verschuivingen in bijvoorbeeld gemiddelden of interpolaties veroorzaken en mede daarom is het noodzakelijk om deze, en andere meetfouten, uit de data te verwijderen.

Om deze 'extreme waarden' eruit te filteren wordt gebruikt gemaakt van een normale verdeling (zie Figuur 6). Er wordt per wegdektemperatuur sensor (TW\_1 t/m TW\_12) het gemiddelde ( $\mu$ ) berekend. Alle waarden die vervolgens buiten een marge van 2 maal de standaarddeviatie ( $\sigma$ ) van het gemiddelde liggen worden verwijderd. Dus voor het selecteren van de bruikbare metingen wordt de volgende formule gehanteerd:  $\mu - 2\sigma < \text{meting\_sensor} < \mu + 2\sigma$ .

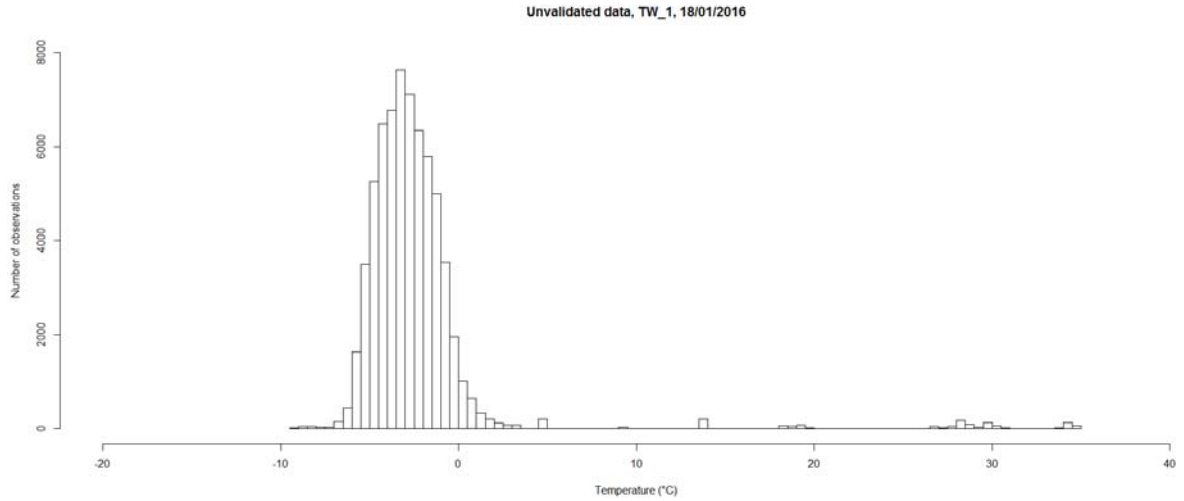
Deze validatietechniek wordt vijf maal toegepast, één keer voor alle stations per stralingsnacht.



Figuur 6 Normale verdeling bij datavalidatie

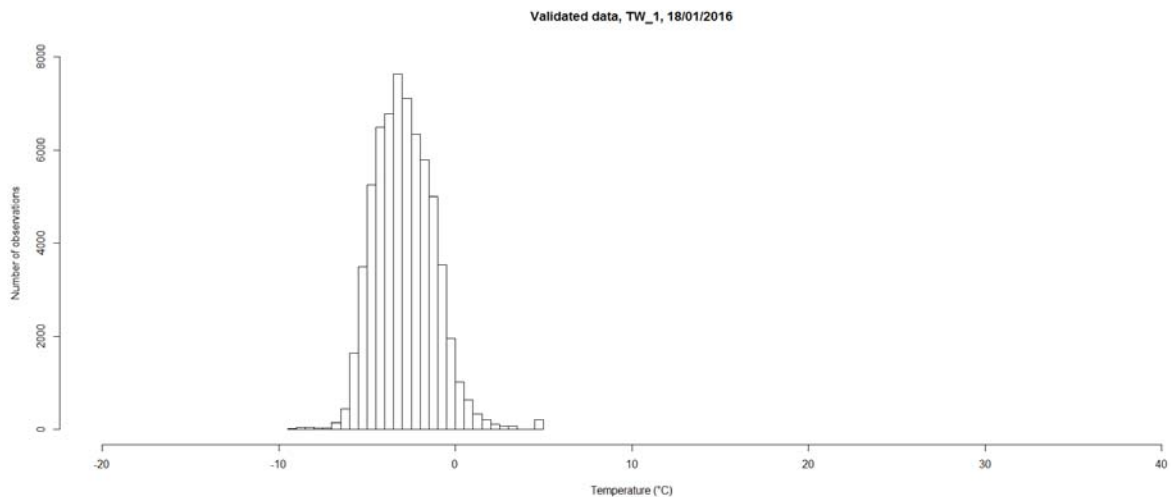
## Resultaat

Wanneer een meting buiten deze marge valt wordt de desbetreffende meting als NA (Not Available) weergegeven. Dit heeft verder geen gevolgen voor de eerdere of toekomstige metingen van dezelfde sensor. In de onderstaande afbeeldingen is een voorbeeld te zien van de toegepaste validatie (Figuur 7 en Figuur 8). In Figuur 7 is de frequentie van alle metingen die door de TW\_1 sensor uitgevoerd zijn op alle stations in Nederland op de stralingsnacht van 18 januari 2016 weergegeven. Hierin is te zien dat deze varieert van ongeveer  $-10^{\circ}\text{C}$  tot ongeveer  $35^{\circ}\text{C}$ .



Figuur 7 Ongevalideerde data van TW\_1

Vervolgens worden doormiddel van een functie in 'R' de waardes gefilterd die niet aan de validatie eisen voldoen. De gebruikte functie is terug te vinden in Bijlage 3. De metingen die hierdoor eruit gefilterd worden zijn dus de waardes die verder dan  $2\sigma$  van het gemiddelde vandaan liggen, of het betreft station **1501**, **1502** of **1503**. Hierbij houd je de volgende resultaten over (Figuur 8). Deze resultaten worden als valide beschouwd. Om de gevolgen van de datavalidatie zichtbaar te maken en te kunnen vergelijken zullen de gevalideerde en niet-gevalideerde meetgegevens van het koudste tijdstip in de winterperiode van 2015-2016 geïnterpoleerd worden. De interpolatiemethode die hiervoor is gebruikt is Ordinary Kriging met behulp van de Geostatistical Wizard in ArcGIS. Hiermee kan ruimtelijke correlatie onderzocht worden in een semivariogram. Omdat het om enkel om een beeld van de datavalidatie ging zijn de default (standaard) instellingen geaccepteerd.



Figuur 8 Gevalideerde data van TW\_1

## 2.3 Data-analyse

### 2.3.1 Data-exploratie

Het onderzoek is gestart met een data-exploratie. Tijdens deze exploratie zijn verschillende figuren gemaakt om een beeld te krijgen van de gegevens uit de GMS database. Een voorbeeldscript om grafieken te maken in R is terug te vinden in Bijlage 3. Aan de hand van de resultaten van deze data-exploratie zijn gerichte deelvragen opgesteld. Hiermee is voorkomen dat er interessante onderwerpen onbelicht bleven, of juist deelvragen werden opgesteld die niet relevant waren.

De exploratie-fase is opgesplitst in een *‘algemene exploratie’* en *‘deelvragen exploratie’*.

Tijdens de *algemene exploratie* zijn figuren gemaakt die betrekking hebben op het gehele GMS. De figuren zijn gemaakt van de wegdek- en luchttemperaturen van één of meerdere stations, tijdens een dag, week of maand in de winterperiode van 2015-2016.

Nadat de deelvragen zijn opgesteld heeft er ook een *deelvragen exploratie* plaatsgevonden. Tijdens deze fase is één station uitgelicht om de opgestelde hypothese te toetsen. De eerste deelvraag luidt:

*“Beïnvloedt de verkeersintensiteit metingen van sensoren binnen een GMS-station (rijstrook spitstrook oprit en afrit)?”*

Om een eerste beeld te krijgen omtrent de opgestelde hypothese en om een eerste stap te zetten richting het beantwoorden van de deelvraag is er een station uitgekozen waarbij minimaal twee sensoren op meeste rechtse rijstrook liggen en minimaal twee sensoren op de meest linkse rijstrook. Hierbij gaat de voorkeur naar twee sensoren per rijstrook zodat het mogelijk is de metingen onderling met elkaar te vergelijken. De sensoren op dezelfde rijstrook zouden namelijk nagenoeg dezelfde metingen moeten geven. Wanneer dit afwijkt kan het zijn dat één van de sensoren onjuist is afgesteld, in de schaduw ligt of om andere redenen afwijkend gedrag vertoont. Wanneer er maar één sensor gebruikt wordt kan dit niet gecontroleerd worden.

Voor dit station zijn verschillende grafieken gemaakt om de temperaturen op de verschillende rijstroken met elkaar te vergelijken voor een dag, week, maand en de gehele winterperiode.

De tweede deelvraag luidt:

*“Zijn er verschillen tussen metingen van GMS-sensoren op bruggen of viaducten en sensoren op normale wegen binnen één station?”*

Om een eerste beeld te krijgen van de hypothese zijn verschillende stations met zowel sensoren op een brug of viaduct als op een normale weg in een grafiek weergegeven. Er zijn geen sensoren van verschillende stations met elkaar vergeleken omdat hierbij meerdere omgevingsfactoren de metingen kunnen beïnvloeden. Tevens is er rekening gehouden met verkeersintensiteit. Dit wil zeggen dat de sensoren die met elkaar vergeleken zijn altijd op dezelfde rijstrook liggen om de invloed van verkeersdruk uit te sluiten. Om de hypothese te toetsen zijn de metingen van deze stations geplotted tijdens een dag, week, maand en stralingsnacht in de winterperiode.

### 2.3.2 Statistische analyse

Om te toetsen of de verschillen tussen de twee groepen per deelvraag significant zijn is de 'Independent Samples T Test' gebruikt. Hiervoor is gekozen omdat iedere deelvraag te maken heeft met twee groepen die onafhankelijk zijn van elkaar. Daarnaast zijn wegdektemperaturen intervalvariabelen, als de variabelen nominaal waren zou de chi-kwadraattoets worden gebruikt en de Mann-Whitney toets voor ordinale variabelen (Huizingh, 2014).

De T-toets stelt vast of de gemiddelden van twee groepen aan elkaar gelijk zijn. Is de gemiddelde wegdektemperatuur op de rechterrijstrook hetzelfde als op de linkerrijstrook? Is de gemiddelde wegdektemperatuur op bruggen hetzelfde als op normale wegen?

De nulhypothese  $H_0$  luidt dat de twee gemiddelden gelijk zijn.

De alternatieve hypothese  $H_1$  van deelvraag 1 luidt dat de gemiddelde wegdektemperatuur op de rechterrijstrook hoger is dan op de linkerrijstrook.

De alternatieve hypothese  $H_1$  van deelvraag 2 luidt dat de gemiddelde wegdektemperatuur op normale wegen hoger is dan op bruggen en viaducten.

De uitvoer van de Independent-Samples T Test in SPSS bestaat uit twee onderdelen:

- Group Statistics: een beschrijving van de twee groepen. Hierin is o.a. te zien wat de gemiddelde wegdektemperatuur van iedere groep is. Dit verschil, het aantal waarnemingen en de standaarddeviaties van de gemiddelden bepalen samen de uitkomst van de T-toets.
- Independent Samples Test: de resultaten van de T-toets. Hierin wordt duidelijk of het verschil significant is (Huizingh, 2014).

SPSS voert twee verschillende T-toetsen uit. De Levene-toets toetst of de varianties in beide groepen gelijk of ongelijk zijn. Hierbij luidt de nulhypothese  $H_0$  dat de varianties gelijk zijn. Als de overschrijdingskans van de Levene-toets kleiner is dan 0,05 wordt niet aangenomen dat de varianties gelijk zijn. Vervolgens wordt naar de uitkomst van de Unequal Variance-methode berekend. Hierbij is de overschrijdingskans voor een tweezijdige toets bepaald. Omdat in dit onderzoek in de alternatieve hypothese wordt aangegeven welke groep een hoger gemiddelde heeft is de toets eenzijdig en wordt de overschrijdingskans door twee gedeeld. Als de overschrijdingskans kleiner is dan 0,05 wordt de nulhypothese  $H_0$  verworpen (Huizingh, 2014).

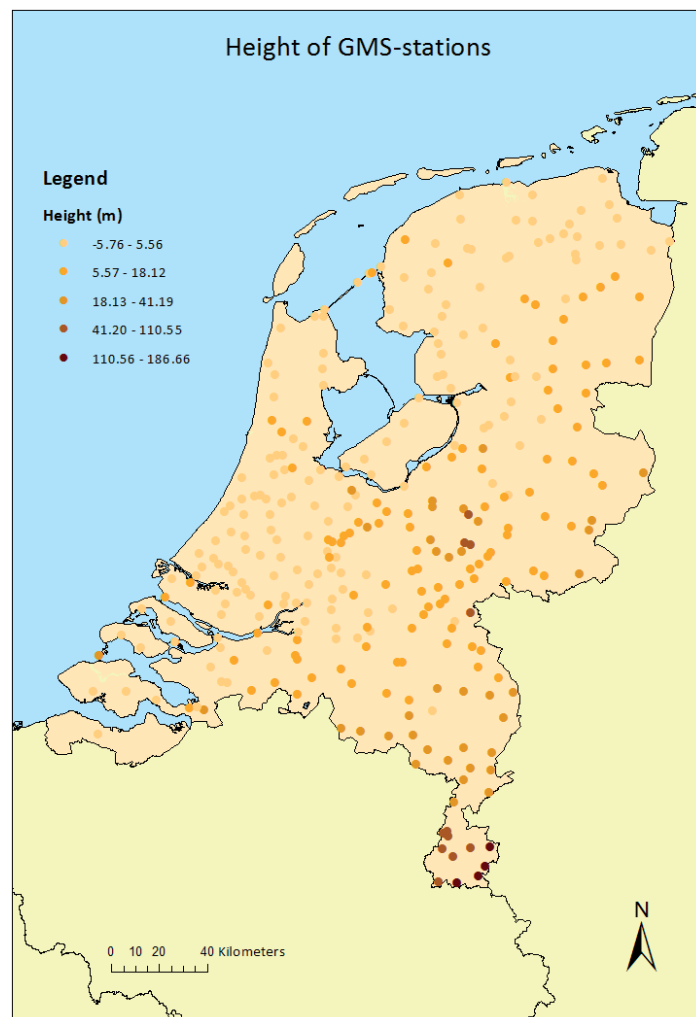
### 3. Resultaten

#### 3.1 Algemene exploratie

Tijdens de data-exploratie zijn er verschillende figuren gemaakt die niet direct bedoeld zijn voor het beantwoorden van de deelvragen, maar om inzicht te krijgen in het GMS. Daarnaast konden er ook onverwachte resultaten gevonden worden die de moeite waard zouden zijn om verder uit te werken of aan te bevelen voor een vervolgonderzoek.

#### Hoogte GMS-stations

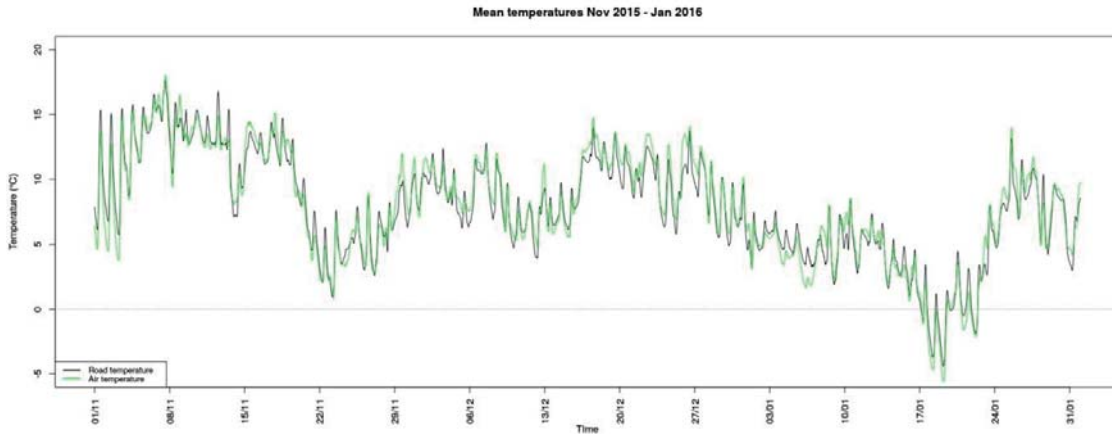
Op de onderstaande kaart is de hoogte van de GMS-stations te zien, afgeleid uit het Algemeen Hoogtebestand Nederland versie 1 (AHN) (Figuur 9). De grootte van de classes zijn verdeeld door middel van 'natural breaks'. Dit wil zeggen dat de classes aangepast worden zodat er nagenoeg gelijke hoeveelheid stations in elke klasse zitten. De meeste stations zijn gelegen op een hoogte tussen de -5.76 m en 5.56 m. Er zijn een aantal hoger gelegen stations in zuidoost Brabant, Limburg en de Veluwe.



Figuur 9 Kaart hoogte GMS-stations

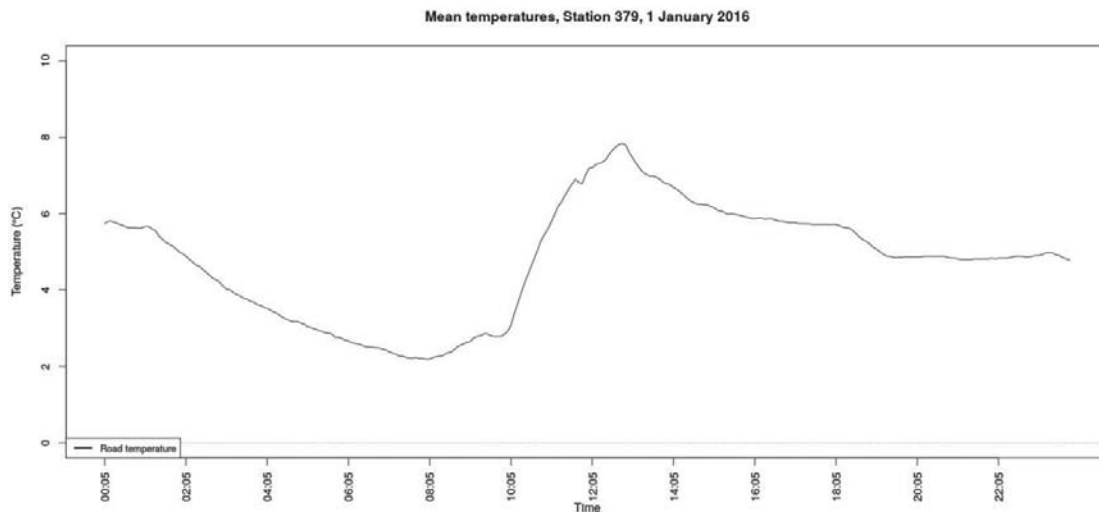
## Temperatuur Winterperiode

In de onderstaande grafiek (Figuur 10) is het temperatuurverloop te zien van alle sensoren op alle stations in het GMS over de gehele winterperiode van november 2015 tot en met januari 2016. Het is de gehele periode gemiddeld boven 0°C geweest behalve in de week van 17 januari.



Figuur 10 Gemiddelde wegdektemperaturen november 2015 t/m januari 2016

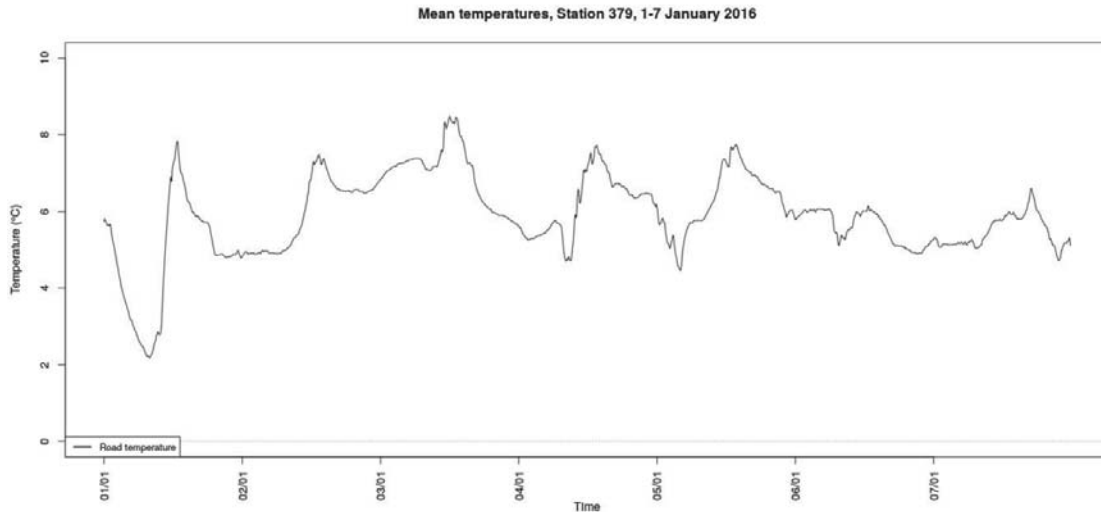
Om inzicht te krijgen in het verloop van de temperatuur over een hele dag is willekeurig het station 379 gekozen om over een periode van 24 uur de gemiddelde wegdek temperatuur te weergeven (Figuur 11). Hierbij is de temperatuur aan het begin van de periode ongeveer 6°C graden en neemt gelijkmatig af tot ongeveer 2°C om 08:00. Daarna begint de opwarming van het wegdek die aanzet tot ongeveer 13:00. Daarna neemt de temperatuur weer langzaam af.



Figuur 11 Gemiddelde wegdektemperatuur van station 379 op 1 januari 2016

In Figuur 12 is hetzelfde station gebruikt als Figuur 11 maar dan over een periode van 7 dagen weergegeven. Hierin is te zien dat de wegdektemperatuur tussen dag en nacht bijna 6°C verschilt en in een hoog tempo opwarmt en afkoelt. De dagen die daarop volgen laten een iets geleidelijker verloop zien.





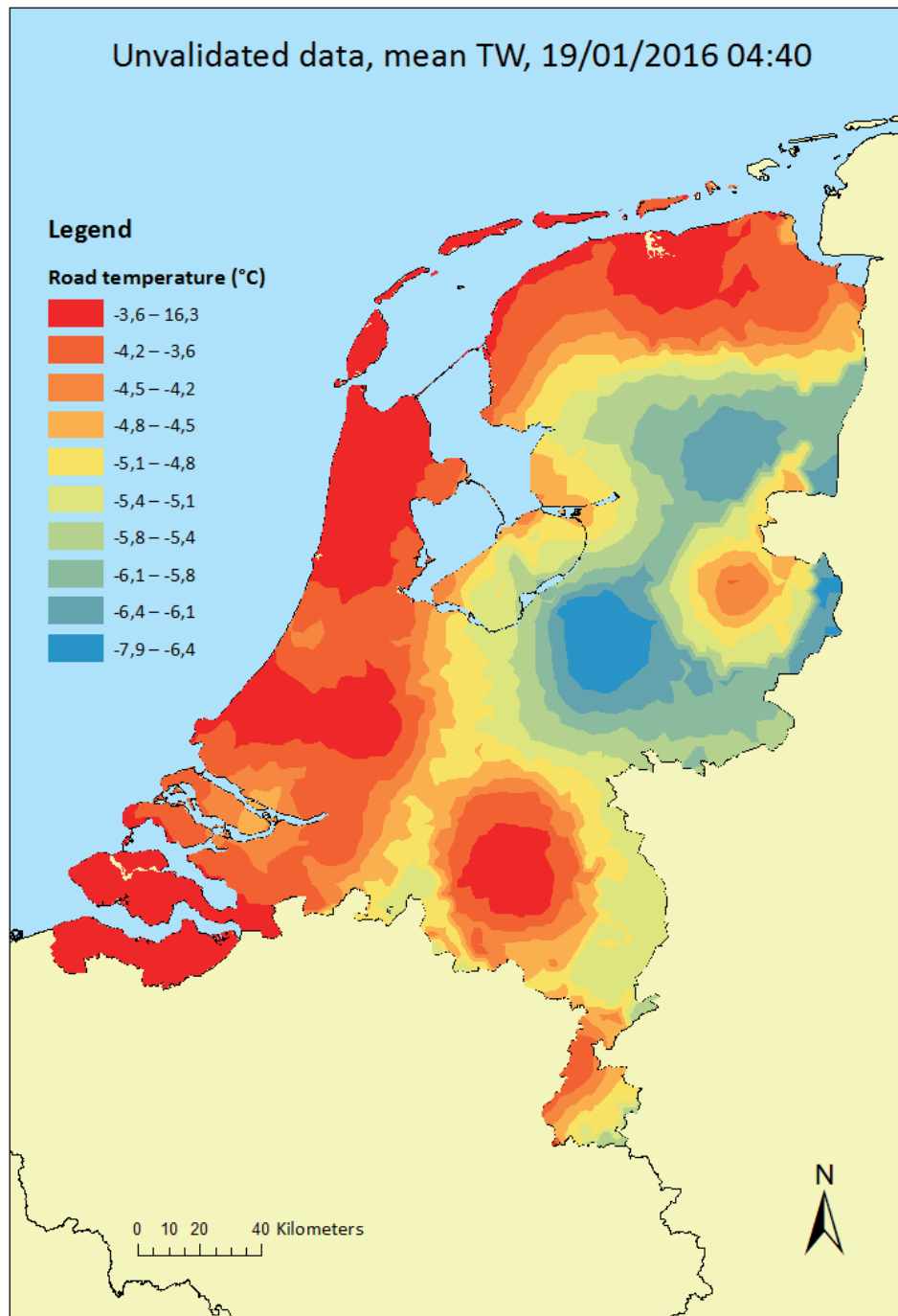
Figuur 12 Gemiddelde wegdektemperatuur van station 379 van 1 tot 7 januari 2016

### Data valideren

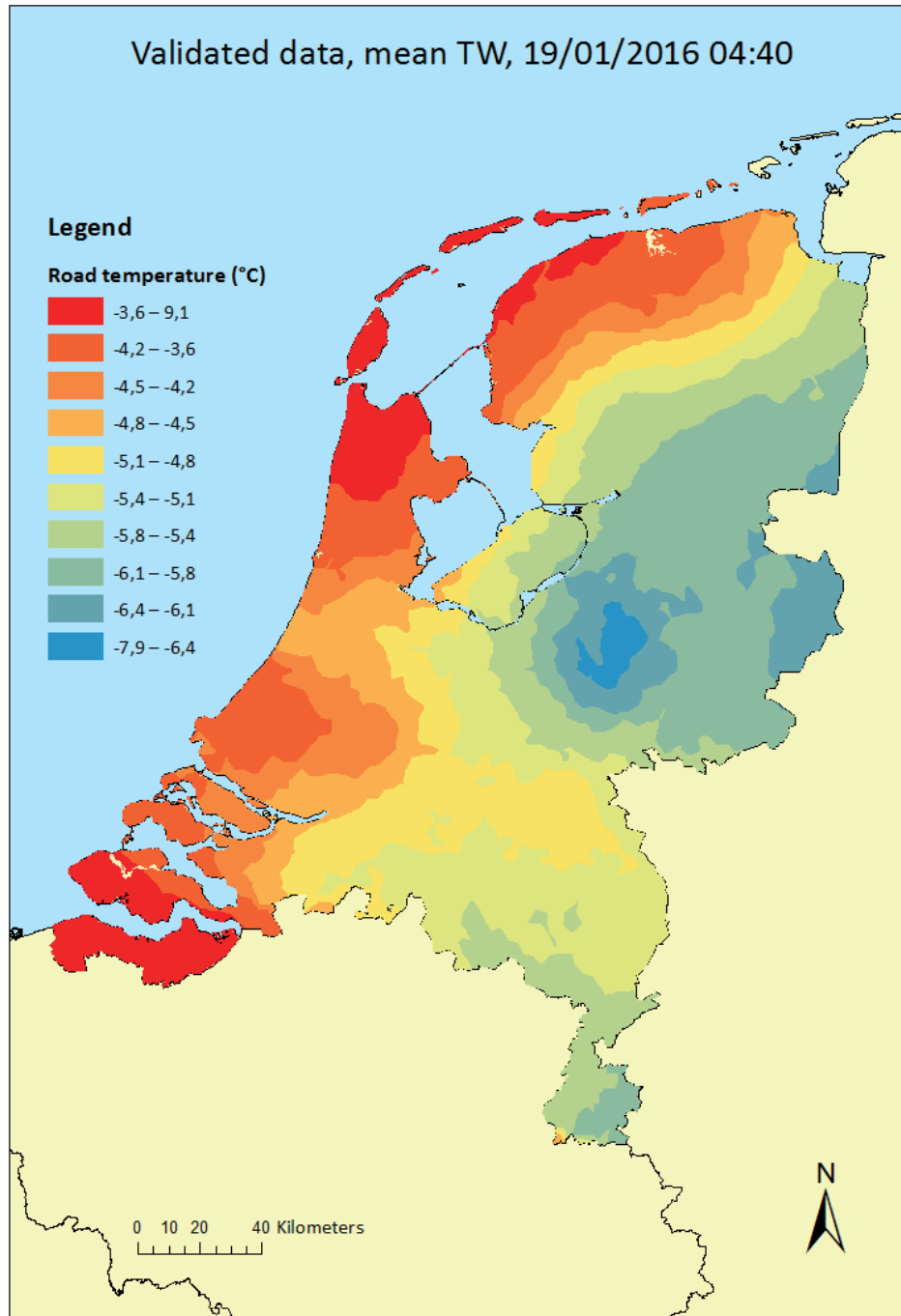
Om de uitkomsten van de datavalidatie te controleren is de gemiddelde wegdektemperatuur van de koudste dag in de winterperiode van 2015-2016, 19 januari 2016, in kaart gebracht.

In Figuur 13 is de gemiddelde wegdektemperatuur zonder het uitvoeren van de datavalidatie geïnterpoleerd. Het is duidelijk te zien dat het kustgebied gemiddeld warmer is dan het oosten van het land, met uitzondering van centraal Brabant. De Veluwe is gemiddeld kouder dan de rest van Nederland en ten oosten daarvan zit ook nog een opvallend warm gebied.

Vervolgens is de interpolatie opnieuw uitgevoerd nadat er een datavalidatie is gedaan. Dit resulteert in Figuur 14. De opvallende vlekken die in het vorige figuur zichtbaar waren zijn nu verdwenen en het geheel verloop veel egaler. Nog steeds is duidelijk te zien dat de kustgebieden warmer zijn en naarmate je verder het land in gaat de wegdektemperatuur steeds lager wordt. Het oosten van Nederland is bij uitstek het koudste gebied samen met Zuid-Limburg.



Figuur 13 Ongevalideerde wegdektemperatuur op 19 januari 2016 om 04:40



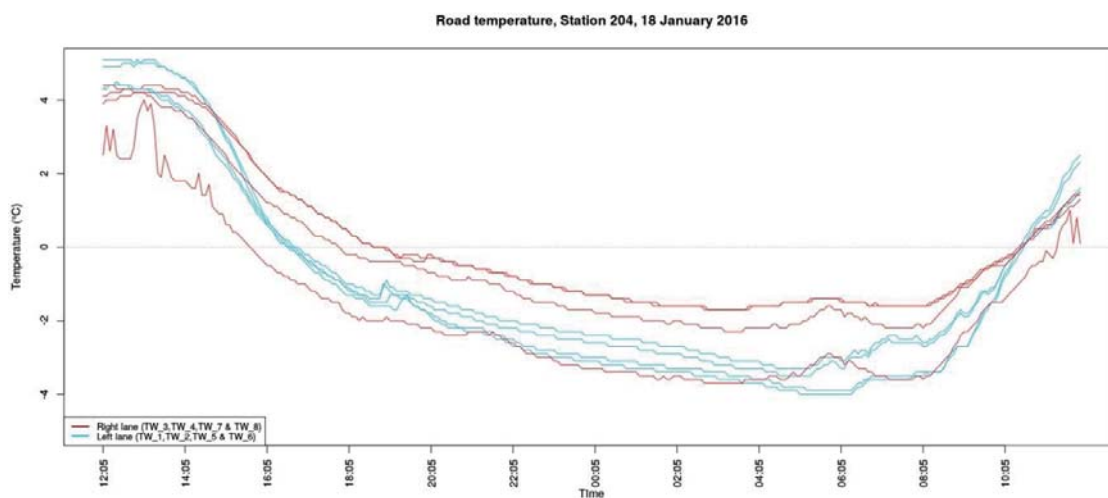
Figuur 14 Gevalideerde wegdektemperatuur op 19 januari 2016 om 04:40

## 3.2 Resultaten rijstroken

### 3.2.1 Data-exploratie

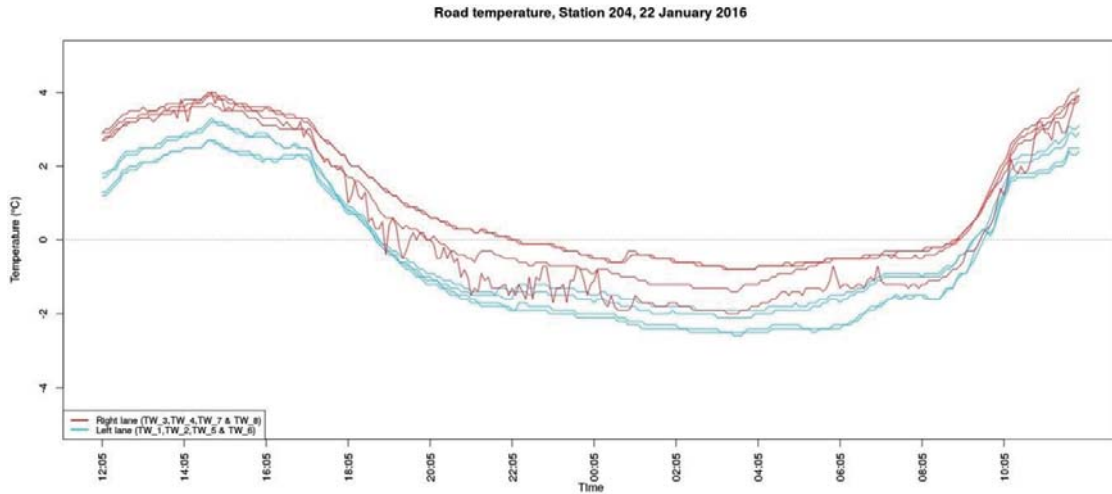
Voor het uitvoeren van de data-exploratie is de keuze gevallen op station 204. Op dit station liggen namelijk twee sensoren op de linkerrijstrook en twee op de rechterrijstrook, in beide richtingen. Dit brengt het totaal op 8 sensoren. Hierbij kunnen de temperaturen op de binnenste en buitenste rijstrook met elkaar vergeleken worden. Daarnaast kan ook de betrouwbaarheid van de sensoren gecontroleerd worden omdat er steeds twee naast elkaar liggen. Om te kijken hoe deze sensoren reageren in verhouding met elkaar op verschillende dagen wordt deze data-exploratie uitgevoerd. Hierbij wordt er gekeken naar de wegdektemperatuurmetingen op een stralingsdag (18 januari 2016), op een niet-stralingsdag (22 januari 2016), op een warme dag (27 januari 2016) en metingen over een hele week (1 t/m 7 januari 2016).

In de onderstaande grafiek (Figuur 15) is de wegdektemperatuur weergegeven van alle 8 sensoren op de stralingsnacht van 18 januari 2016. Hierbij lopen de metingen van 17 januari 12:00 tot 18 januari 12:00. De rode lijnen geven de 4 sensoren aan die op de rechterrijstroken liggen en de blauwe lijnen de sensoren op de linkerrijstroken. In de grafiek is af te lezen dat de rechterrijstroken in drie van de vier gevallen tussen de periode van 16:00 en 10:00 hogere temperaturen meten dan de linkerrijstroken, met uitzondering van de onderste rode lijn (TW\_8). Dit geldt voor niet voor de metingen buiten deze periode, hier is de linkerrijstrook veelal warmer dan de rechter.



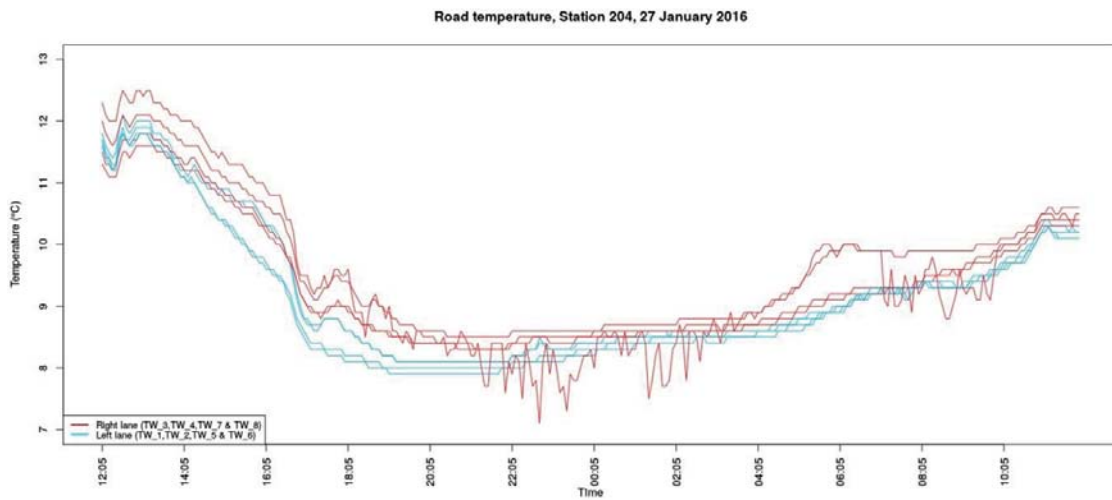
Figuur 15 Metingen stralingsnacht 204

Op de volgende afbeelding (Figuur 16) is het temperatuurverloop te zien op een niet-stralingsdag. Hierbij is de rechterrijstrook over de gehele periode warmer dan de linkerrijstrook, wederom met uitzondering van TW\_8.



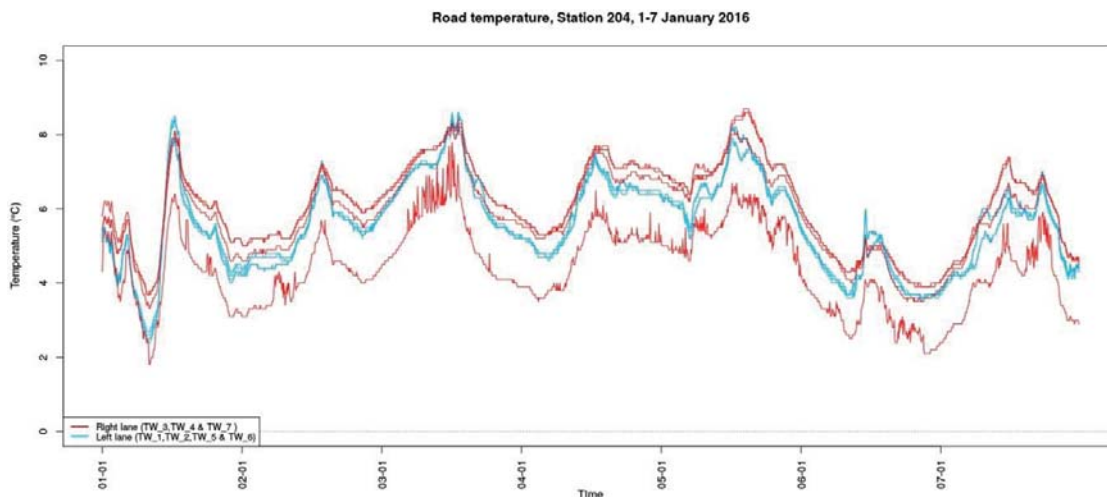
Figuur 16 Metingen niet-stralingsdag 204

In Figuur 17 zijn de metingen van de sensoren op een warme dag in de winterperiode van 2015-2016 te zien. De temperaturen vanaf 16:00 tonen een stabiel verloop op deze dag in vergelijking met de andere dagen. Zoals in de voorgaande grafieken meten de sensoren op de rechterrijstroken vaak een hogere temperatuur. Daarnaast geeft TW\_8 wederom afwijkende metingen.



Figuur 17 Metingen warme dag 204

In Figuur 18 zijn de metingen van station 204 te zien over een periode van 7 dagen. Hierbij is de lijn van TW\_8 meteen de eerste lijn die er uit springt. Deze geeft consequent lagere metingen dan alle andere sensoren maar heeft een zelfde verloop. De overige metingen op de rechterrijstroken zijn bijna ten alle tijden hoger dan de metingen op de linkerrijstroken.



Figuur 18 metingen over een week

### 3.2.2 Stralingsnachten (mean difference)

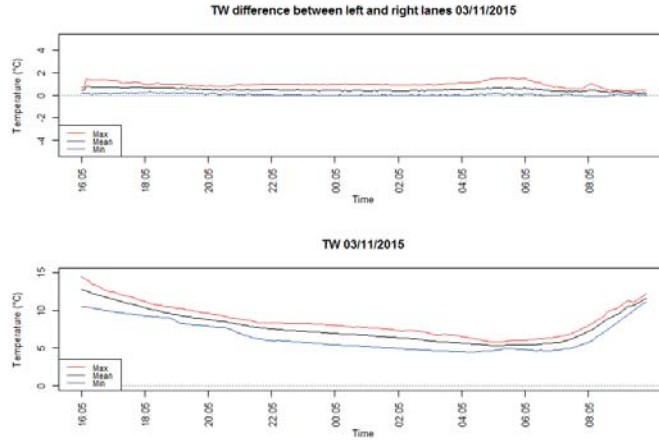
In de onderstaande grafieken komen de beschrijvende resultaten van de zes vooraf gekozen stations aan bod. De figuren bestaan uit 3 onderdelen:

- De eerste grafiek (boven) laat het gemiddelde verschil tussen de linker- en rechterrijstroken zien van alle gekozen stations. Hierbij zijn ook min/max lijnen toegevoegd om aan te geven binnen welke marge de gemiddeldes vallen. Hierbij is de gemiddelde temperatuur op de linkerrijstroken afgetrokken van de gemiddelde temperatuur op de rechterrijstroken. Wanneer dit dus een positief getal is, wil dat zeggen dat de rechterrijstrook gemiddeld een hogere temperatuur had. Wanneer dit getal lager dan 0°C is, was de temperatuur op de linkerrijstrook hoger.
- De grafiek daaronder laat de gemiddelde wegdektemperaturen zien van alle sensoren van de deelnemende stations, gedurende de genoemde stralingsnacht. Hierbij zijn ook de hoogste en de laagste waarden weergegeven doormiddel van een min en max lijn.

Station 201 heeft geen metingen gedaan in 2015 en zal daarom alleen in de grafieken van stralingsnachten in 2016 zichtbaar zijn. Daarnaast is ook besloten station 908 uit het onderzoek te laten omdat de metingen onbetrouwbaar waren.

In het onderstaande figuur (Figuur 19) zijn de metingen te zien van de stralingsnacht op 3 november in 2015. Hierbij zijn 4 stations gebruikt. Het gemiddelde verschil tussen de linker- en de rechterrijstrook in de eerste grafiek ligt constant boven 0°C. Ook het minimale verschil ligt vrijwel nooit onder de nullijn. Het verschil tussen het gemiddelde, de minimale waarde en de maximale waarde is gering.

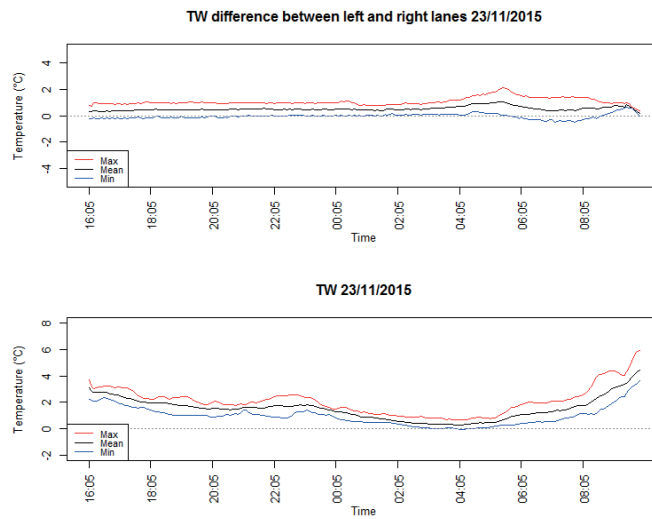
Op de grafiek daaronder is af te lezen dat het een stralingsnacht was met temperatuur rond de 10°C.



Figuur 19 Resultaten stralingsnacht 03 november 2015

Figuur 20 bevat de metingen van de stralingsnacht op 23 november in 2015. Hierbij zijn 4 stations gebruikt. Het gemiddelde verschil tussen de linker- en de rechterrijstrook in de eerste grafiek ligt wederom constant boven 0°C. Het minimale verschil bereikt soms wel een waarde onder 0°C. Daarnaast is de spreiding tussen 16:00 en 04:00 zeer minimaal en neemt het de uren daarna vervolgens lichtelijk toe.

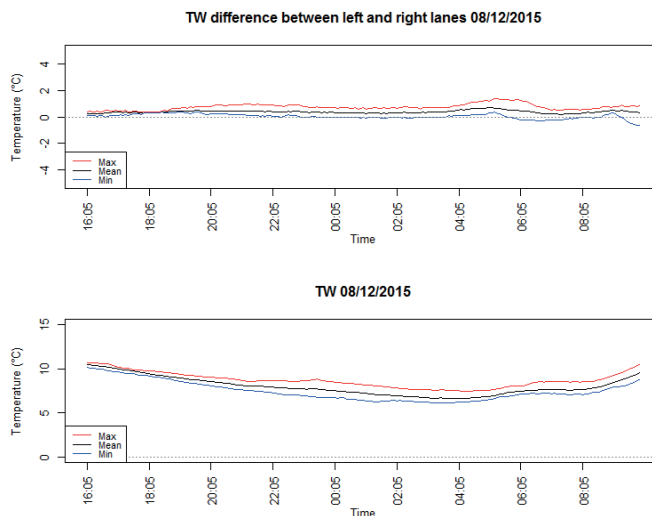
Op de grafiek eronder is te zien dat de temperaturen gemiddeld rond de 5°C liggen en er kleine wisseling is tussen de marge van het minimale en maximale gemiddelden.



Figuur 20 Resultaten stralingsnacht 23 november 2015

Het volgende figuur (Figuur 21) bevat de metingen van de stralingsnacht op 8 december in 2015. Hierbij zijn 4 stations gebruikt. Het gemiddelde verschil tussen de linker- en de rechterrijstrook in de eerste grafiek ligt constant boven 0°C. Het minimale verschil bereikt na 04:00 regelmatig een waarde net onder de 0°C. Daarnaast is de spreiding tussen 16:00 en 04:00 zeer minimaal en neemt het de uren daarna vervolgens zeer lichtelijk toe.

Op de grafiek eronder is te zien dat de temperaturen gemiddeld rond de 10°C liggen en de spreiding van het gemiddelde verschil constant is.



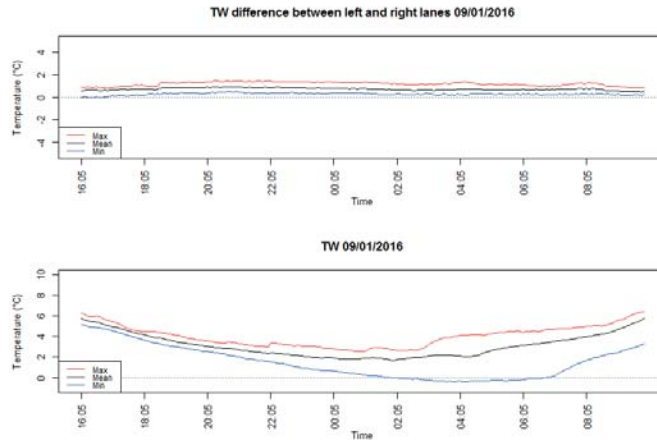
**Figuur 21 Resultaten stralingsnacht 08 december 2015**

Figuur 22 laat de metingen zien van stralingsnacht op 8 januari 2016. Hierbij is 201 meegenomen, dus zijn er 5 stations in totaal. Het gemiddelde verschil van de temperaturen op de linker- en rechterrijstrook is gemiddelde de hele dag boven 0°C, de spreiding tussen het minimale en maximale verschil is over de gehele periode zeer minimaal.

De gemiddelde temperaturen van alle wegdektemperatuur sensoren hebben een kleine spreiding tussen 16:00 en 20:00. In de uren daarna gaat vooral de minimale temperatuur verder omlaag terwijl de gemiddelde en de maximale lijn redelijk dezelfde trend blijven volgen. Daarna stijgen ze weer alle drie weer gelijk.

In de staafdiagram is af te lezen dat alle 5 station een gemiddeld positief verschil hebben tussen de 0°C en de 1,5°C.



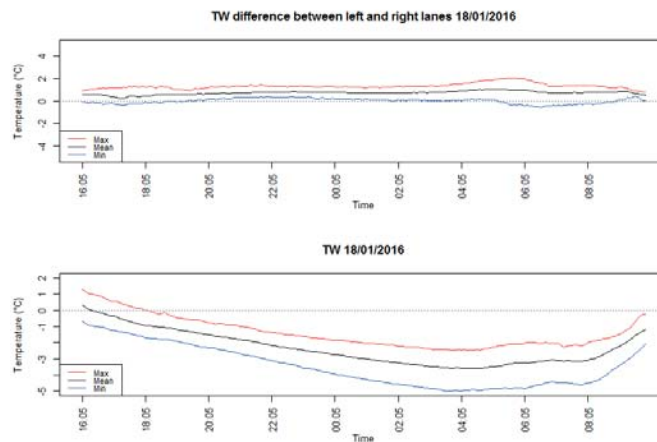


Figuur 22 Resultaten stralingsnacht 8 januari 2016

In Figuur 23 zijn de metingen van de laatste stralingsnacht te zien in de winterperiode van 2015-2016. De gemiddelde verschillen geven hetzelfde verloop aan als de voorgaande stralingsnachten. De gemiddelde temperatuur is en alle tijden hoger dan 0°C, het maximale verschil is ongeveer 0,5°C hoger en het minimale verschil is vrijwel te allen tijde onder 0°C behalve tussen 05:00 en 09:00.

De gemiddelde temperaturen in de onderste grafiek hebben een relatief grote spreiding in vergelijking met de voorgaande grafieken. Het verschil tussen de gemiddelde wegdektemperatuur van alle sensoren en de maximale wegdektemperatuur is te allen tijde ongeveer 1°C tot 1,5°C. Ook het verschil met de minimale wegdektemperatuur is ongeveer 1°C tot 2°C graden tijdens de stralingsnacht.

Ook het staafdiagram toont dezelfde resultaten als de voorgaande grafieken. Alle deelnemende stations hebben een gemiddeld positief verschil, dat varieert tussen de 0°C en de 1,5°C.



Figuur 23 Resultaten stralingsnacht 18 januari 2016

### 3.2.3 Statistische analyse (T-toets)

In de onderstaande tabellen wordt aan de hand van de Independent Samples T-test onderzocht of de verschillen tussen de linker- en de rechterrijstrook significant zijn. Hierbij wordt deze test afzonderlijk uitgevoerd voor de vijf stations en ook voor de verschillende rijbanen.

In dit hoofdstuk worden de SPSS-resultaten toegelicht van station 204. De resultaten van de andere stations zijn terug te vinden in Bijlage 5.

In Tabel 6 zijn de statistieken van station 204 te lezen op één rijbaan. Op de linkerrijstrook zijn 1073 metingen uitgevoerd tijdens de vijf stralingsnachten met een gemiddelde van 3,60°C. De bijbehorende standaarddeviatie is 4,35°C.

Op de rechterrijstrook van station 204 zijn 1062 metingen uitgevoerd met een gemiddelde van 4,73°C en een standaarddeviatie van 4,15°C.

De overschrijdingskans (Sig.) van de Levene-toets in Tabel 7 is 0,42. Dit is hoger dan 0,05 wat inhoudt dat er gekeken wordt naar de tweezijdige overschrijdingskans van de Equal Variance-methode.

De alternatieve hypothese H<sub>1</sub> van deelvraag 1 luidt dat de gemiddelde wegdektemperatuur op de rechterrijstrook hoger is dan op de linkerrijstrook. Deze hypothese is eenzijdig dus wordt de overschrijdingskans (Sig. 2-tailed) gedeeld door twee. Dit resulteert in een overschrijdingskans van 0,00.

Het gemiddelde verschil van dit station is 1,13°C. Er kan daarnaast met 95% betrouwbaarheid gezegd worden dat het verschil varieert tussen de 0,77°C en de 1,49°C.

	Location	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
TW	Right lane	1062	4,7286	4,14708	,12726
	Left lane	1073	3,6026	4,34752	,13272

Tabel 6 Independent Samples Test station 204 (1)

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means							
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference		
								Lower	Upper	
TW	Equal variances assumed	,650	,420	6,122	2133	,000	1,12597	,18392	,76529	1,48665
	Equal variances not assumed			6,124	2130,105	,000	1,12597	,18387	,76538	1,48656

Tabel 7 Independent Samples Test 204 (2)

De resultaten van de andere rijbaan en rijstroken zijn terug te vinden in Bijlage 5. Een overzicht van deze resultaten is te zien in Tabel 8. In de tabel is te zien dat in 8 van de 9 gevallen, de rechtterijstrook een gemiddeld hogere wegdektemperatuur heeft dan de linkerijstrook. Behalve stations 1104 op rijbaan 1, hier is de wegdektemperatuur op de linkerijstrook juist warmer dan de rechter.

Station nummer	Gemiddelde TW linkerijstrook	Gemiddelde TW rechtterijstrook	Gemiddeld verschil (rechts – links)	Significant	Rijbaan
201	0,45 °C	1,30 °C	0,85 °C	✓	1
201	1,03 °C	1,70 °C	0,67 °C	✓	2
204	3,60 °C	4,73 °C	1,13 °C	✓	1
204	3,68 °C	4,57 °C	0,89 °C	✓	2
217	3,02 °C	3,80 °C	0,78 °C	✓	1
217	2,66 °C	3,89 °C	1,23 °C	✓	2
351	3,09 °C	5,31 °C	2,22 °C	✓	1
1104	2,76 °C	1,93 °C	- 0,83 °C	✓	1
1104	2,92 °C	3,27 °C	0,35 °C	✓	2

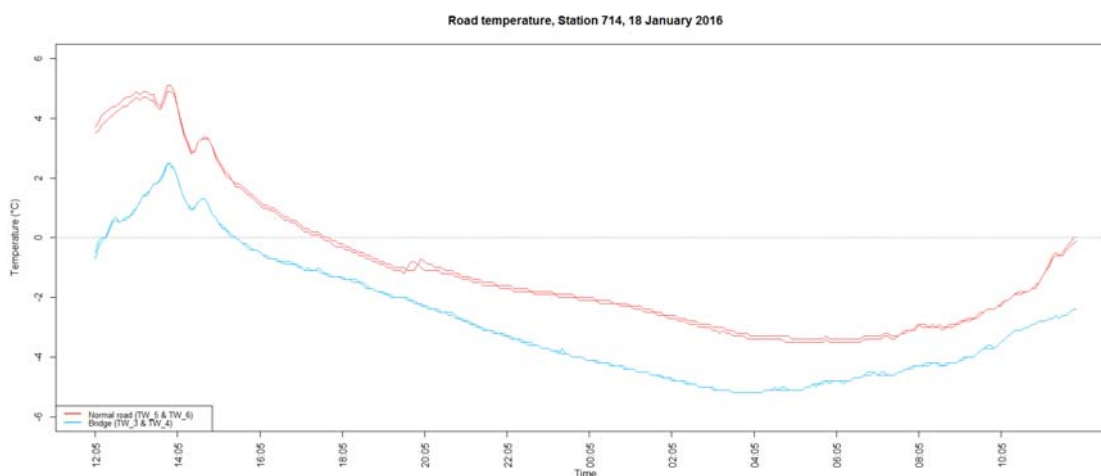
Tabel 8 Eindresultaten

### 3.3 Resultaten bruggen en viaducten

#### 3.3.1 Data-exploratie

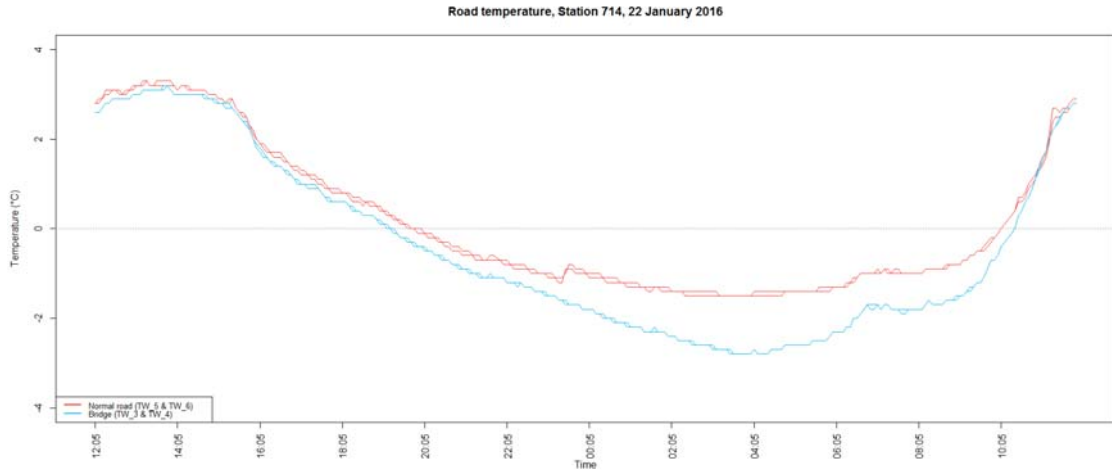
Voorafgaand aan het onderzoek wordt verwacht dat sensoren op normale wegen hogere wegdektemperaturen meten dan sensoren op bruggen en viaducten binnen één station. Dit wordt verwacht omdat bruggen en viaducten geen ondergrond hebben die de warmte transporteert. Er wordt verwacht dat dit effect het grootst is tijdens stralingsnachten, heldere nachten met weinig wind. (Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2007).

Om een eerste beeld te krijgen van deze hypothese zijn verschillende grafieken gemaakt van twee stations met zowel sensoren op een brug of viaduct als op een normale weg. De grafieken van het station met sensoren op een viaduct zijn opgenomen in Bijlage 6. Het station dat in deze paragraaf behandeld wordt is station 714. Dit station ligt in Oosterhout en heeft twee sensoren op een brug (TW\_3 en TW\_4) en twee sensoren op een normale weg (TW\_5 en TW\_6), al deze sensoren liggen op dezelfde rijstrook. De grafieken lopen van 12:00 tot 12:00 de volgende dag. De rode lijnen in de grafieken zijn de sensoren op een normale weg en de blauwe lijnen zijn de sensoren op een brug. In Figuur 24 is de wegdektemperatuur van station 714 tijdens een stralingsnacht in januari 2016 te zien. In deze grafiek is te zien dat op 18 januari 2016 het wegdek op de brug altijd 0,5°C tot 2°C kouder was dan het wegdek op de normale weg.



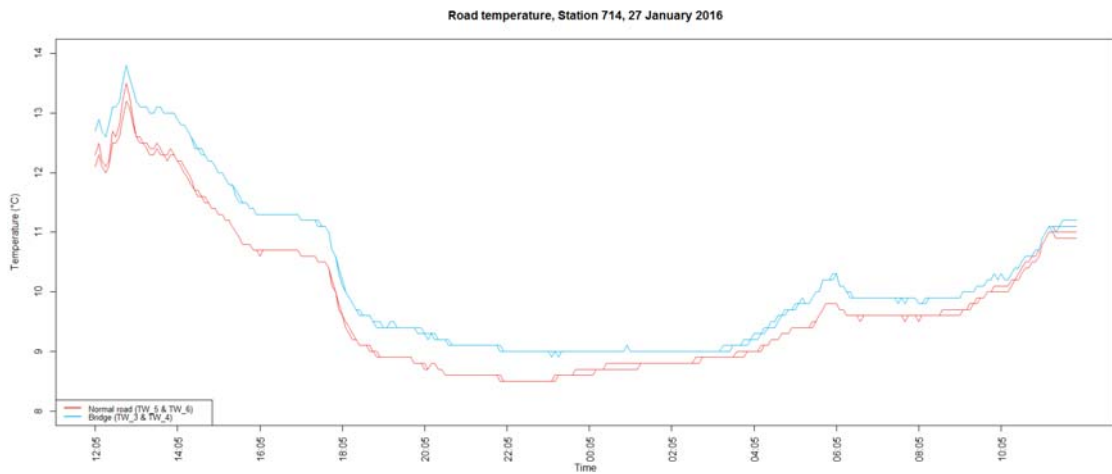
Figuur 24 Wegdektemperatuur op stralingsnacht station 714

In Figuur 25 is de wegdektemperatuur van station 714 te zien tijdens een koude niet-stralingsnacht in januari 2016. Zoals getoond wordt in deze grafiek is op 22 januari 2016 gedurende de nacht het wegdek op de brug altijd kouder dan het wegdek op de normale weg, dit verschil loopt uiteen van 0°C tot 1,5°C.



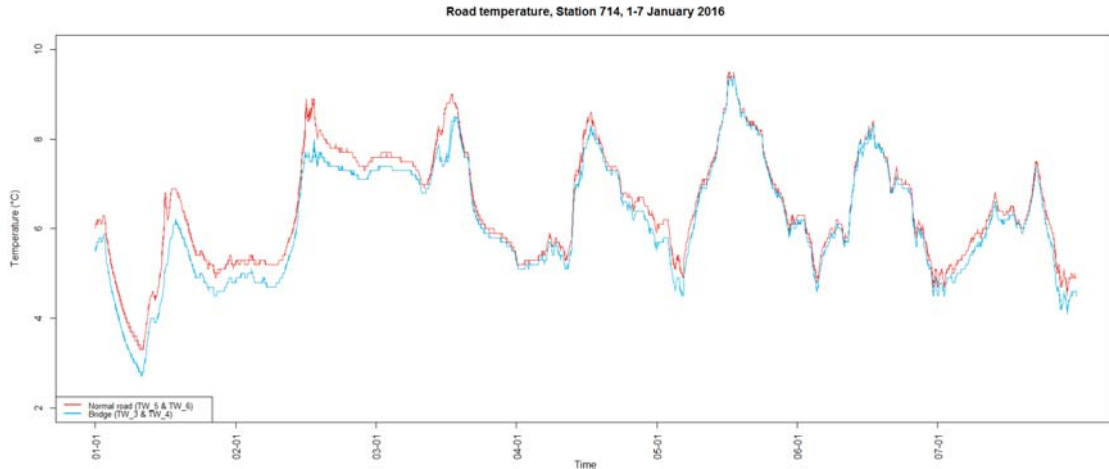
**Figuur 25 Wegdektemperatuur op niet-stralingsnacht station 714**

Figuur 26 laat de wegdektemperatuur van station 714 zien tijdens een warmere niet-stralingsnacht in januari 2016. In deze grafiek is te zien dat op 27 januari 2016, in tegenstelling tot de bovenstaande grafieken (Figuur 24 en Figuur 25), het wegdek op de normale weg altijd kouder is, namelijk 0°C tot 0,5°C.



**Figuur 26 Wegdektemperatuur op warme niet-stralingsnacht station 714**

In Figuur 27 is het verloop van de wegdektemperatuur van station 714 te zien in de eerste week van januari 2016. Deze grafiek laat zien dat gedurende de nacht het wegdek op de brug altijd kouder is dan het wegdek op de normale weg in de periode van 1 t/m 7 januari 2016.



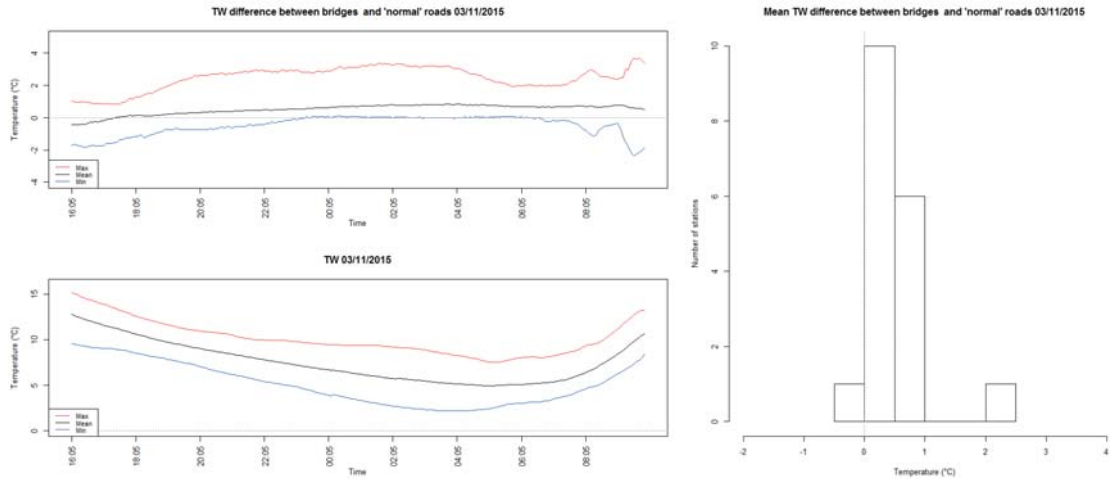
Figuur 27 Wegdektemperatuur van hele week op station 714

### 3.3.2 Stralingsnachten (mean difference)

In de onderstaande figuren komen de resultaten van alle 24 stations met zowel sensoren op een brug als op een normale weg gedurende de stralingsnachten aan bod. De grafieken met de resultaten van alle 15 stations met sensoren op een viaduct zijn opgenomen in Bijlage 7. De figuren bestaan ieder uit 3 grafieken:

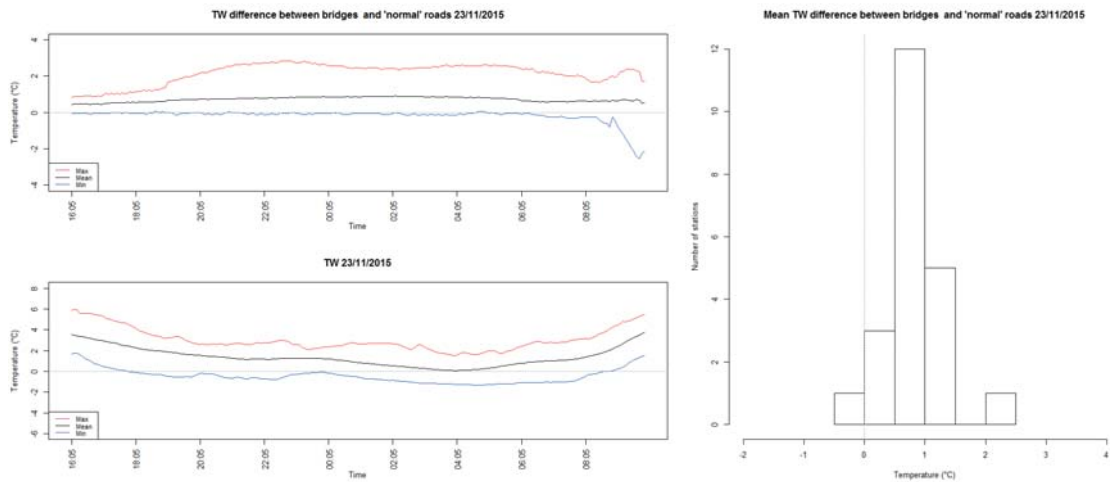
- De grafiek linksboven laat het verschil tussen de wegdektemperatuur op bruggen en op normale wegen zien van 24 stations. De zwarte lijn in de grafiek laat het gemiddelde verschil zien, de rode lijn het maximale verschil en de blauwe lijn het minimale verschil. Hiermee wordt ook de spreiding van het verschil weergegeven. Als de verschillen positief zijn (boven de nullijn) is het wegdek op de brug kouder.
- In de grafiek linksonder is te zien wat de gemiddelde (zwarte lijn) wegdektemperatuur van alle 24 stations met zowel sensoren op een brug als op een normale weg is. Daarnaast wordt aan de hand van de minimale (blauwe lijn) en maximale (rode lijn) wegdektemperatuur de spreiding weergegeven.
- De rechter staafdiagram laat zien wat het gemiddelde verschil tussen de wegdektemperatuur op bruggen en op normale wegen is per station (24 stations in totaal). Als het verschil positief is (rechts van de nullijn) is het wegdek op de brug kouder.

In Figuur 28 zijn de metingen van de stralingsnacht op 3 november 2015 te zien. In de grafiek linksboven is te zien dat het wegdek op de brug meestal gemiddeld  $0,5^{\circ}\text{C}$  kouder is dan het wegdek op de normale weg. Het minimale verschil loopt uiteen van  $0^{\circ}\text{C}$  tot  $-2^{\circ}\text{C}$  verschil en het maximale verschil van  $1^{\circ}\text{C}$  tot  $3^{\circ}\text{C}$  verschil, beide met een paar uitschieters rond 09:00. De gemiddelde temperatuur op deze dag was tussen de  $5^{\circ}\text{C}$  en  $15^{\circ}\text{C}$  zoals te zien is in de grafiek linksonder. Verder is in de rechter grafiek te zien dat van één station het wegdek op de normale weg gemiddeld kouder was en van alle andere stations het wegdek op de brug gemiddeld kouder. Er was één uitschieter waarbij het gemiddelde verschil in temperatuur meer dan  $2^{\circ}\text{C}$  was.



Figuur 28 Resultaten stralingsnacht 3 november 2015

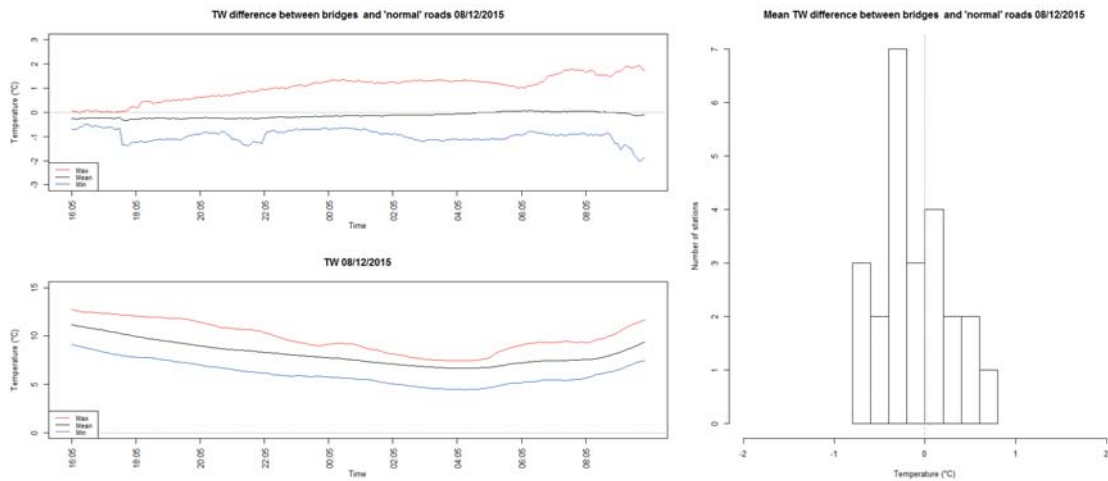
In Figuur 29 zijn de metingen van de stralingsnacht op 23 november 2015 te zien. In de grafiek linksboven is te zien dat het wegdek op de brug gemiddeld altijd 0,5°C kouder is dan het wegdek op de normale weg. Het minimale verschil hangt constant rond de 0°C en bereikt rond 10:00 een uitschieter waarbij het wegdek op de normale weg ongeveer 2°C kouder is. De grafiek linksonder laat zien dat de temperatuur deze nacht gemiddeld tussen de 0°C en 4°C was. De spreiding van de temperatuur was gelijkmatig. Tot slot laat de rechter grafiek zien dat van één station het wegdek op de normale weg gemiddeld kouder was en van alle andere stations het wegdek op de brug gemiddeld kouder. Er was één uitschieter waarbij het gemiddelde verschil in temperatuur meer dan 2°C was.



Figuur 29 Resultaten stralingsnacht 23 november 2015

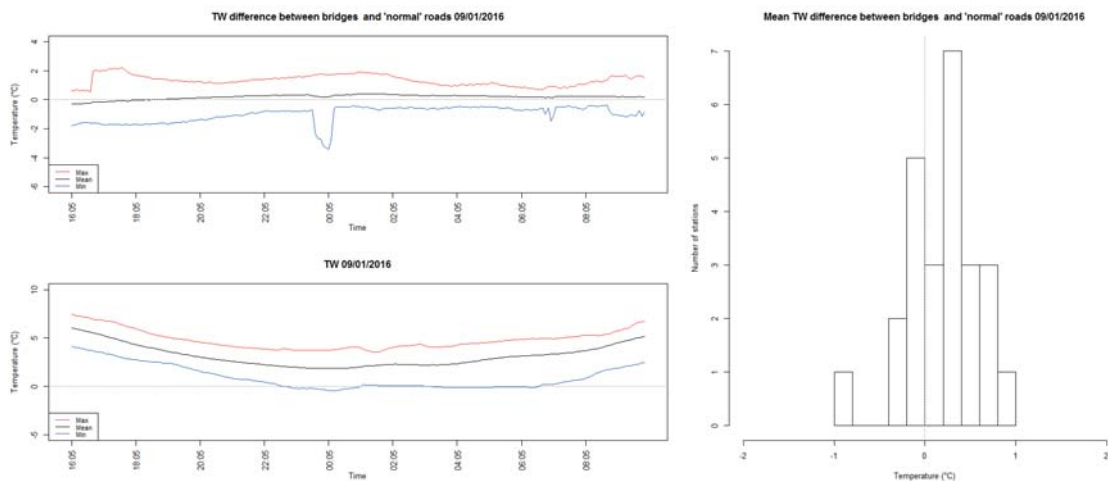
De resultaten in Figuur 30 verschillen van de voorgaande figuren. Op stralingsnacht 8 december 2015 was de gemiddelde wegdektemperatuur op de normale weg namelijk meestal 0,2°C kouder dan op de brug, zoals te zien is in de grafiek linksboven. Het minimale en maximale verschil lopen uiteen tot ongeveer 2°C verschil. In de grafiek linksonder is te zien dat de gemiddelde temperatuur

deze dag rond de 10°C was. De grafiek rechts laat zien dat het wegdek op de normale weg van meer dan de helft van de stations gemiddeld kouder was dan op de brug.



**Figuur 30 Resultaten stralingsnacht 8 december 2015**

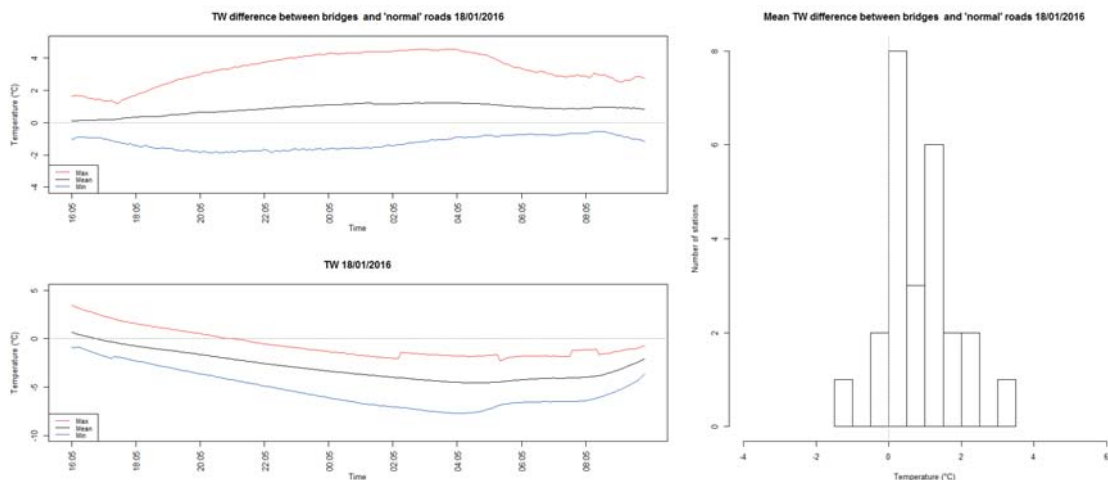
Figuur 31 laat de resultaten zien van de stralingsnacht op 9 januari 2016. In de grafiek linksboven is te zien dat het wegdek op de brug gemiddeld bijna altijd kouder is dan het wegdek op de normale weg. Het minimale verschil laat één grote uitschieter, namelijk om 00:00 was het wegdek op de normale weg ongeveer 4°C kouder dan op de brug. De gemiddelde temperatuur was ongeveer 3°C op deze dag, zoals te zien is in de grafiek linksonder. De grafiek rechts laat zien dat het wegdek op de brug van meer dan de helft van de stations kouder was dan op de normale weg.



**Figuur 31 Resultaten stralingsnacht 9 januari 2016**

Tot slot is in Figuur 32 te zien dat het wegdek op de brug altijd gemiddeld 1°C kouder was dan het wegdek op de normale weg gedurende de stralingsnacht op 18 januari 2016. Het maximale verschil loopt uit tot 4°C waarbij het wegdek op de brug kouder was. De grafiek linksonder laat zien dat de gemiddelde temperatuur deze nacht gemiddeld -4°C was. Het wegdek op de brug was van de meeste stations kouder dan op het normale wegdek.





Figuur 32 Resultaten stralingsnacht 18 januari 2016

### 3.3.3 Statistische analyse (T-toets)

In de onderstaande tabellen wordt aan de hand van de Independent Samples T Test getoetst of de verschillen tussen de wegdektemperatuur van bruggen of viaducten en normale wegen significant zijn. De gemiddelden die met elkaar vergeleken worden zijn van alle stations met zowel sensoren op een brug of viaduct als sensoren op een normale weg, gedurende de stralingsnachten van de winterperiode 2015-2016.

In Tabel 9 is te zien dat de gemiddelde wegdektemperatuur van alle stralingsnachten op normale wegen 3,52°C is en op bruggen 3,11°C. De overschrijdingskans (Sig.) van de Levene-toets in Tabel 10 is 0,00. Omdat dit lager is dan 0,05 wordt er vervolgens gekeken naar de tweezijdige overschrijdingskans (Sig. (2-tailed)) van de Unequal Variance-methode. De alternatieve hypothese  $H_1$  is eenzijdig dus wordt de overschrijdingskans gedeeld door twee. Dit resulteert in een overschrijdingskans van 0,00. Verder is te zien dat het gemiddelde verschil van alle stralingsnachten 0,42°C is tussen de twee groepen. Tot slot kan met een betrouwbaarheidsinterval van 95% worden gezegd dit verschil varieert tussen 0,34°C en de 0,49°C.

Group Statistics					
Location	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	
TW	Normal road	25259	3,5217	4,24439	,02671
	Bridges	25653	3,1061	4,62375	,02887

Tabel 9 Independent Samples Test (1)

**Independent Samples Test**

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means							
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference		
								Lower	Upper	
TW	Equal variances assumed	160,289	,000	10,559	50910	,000	,41555	,03935	,33841	,49268
	Equal variances not assumed			10,566	50661,943	,000	,41555	,03933	,33847	,49263

**Tabel 10 Independent Samples Test (2)**

In Tabel 11 is te zien dat de gemiddelde wegdektemperatuur van alle stralingsnachten op normale wegen 3,04°C is en op viaducten 2,78°C. De overschrijdingskans (Sig.) van de Levene-toets in Tabel 12 is 0,00. Omdat dit lager is dan 0,05 wordt er vervolgens gekeken naar de tweezijdige overschrijdingskans (Sig. (2-tailed)) van de Unequal Variance-methode. De alternatieve hypothese H<sub>1</sub> is eenzijdig dus wordt de overschrijdingskans gedeeld door twee. Dit resulteert in een overschrijdingskans van 0,00. Verder is te zien dat het gemiddelde verschil van alle stralingsnachten 0,26°C is tussen de twee groepen. Tot slot kan met een betrouwbaarheidsinterval van 95% worden gezegd dit verschil varieert tussen 0,17°C en de 0,36°C.

**Group Statistics**

	Location	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
TW	Normal road	15664	3,0389	4,29976	,03436
	Flyovers	15661	2,7756	4,51109	,03605

**Tabel 11 Independent Samples Test (1)**

**Independent Samples Test**

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means							
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference		
								Lower	Upper	
TW	Equal variances assumed	49,579	,000	5,289	31323	,000	,26336	,04980	,16576	,36096
	Equal variances not assumed			5,289	31250,598	,000	,26336	,04980	,16576	,36096

**Tabel 12 Independent Samples Test (2)**

## 4. Discussie

### Stralingsnachten

Voor maken van de dataselectie is uitsluitend gekeken naar stralingsnachten. Deze stralingsnachten zijn geselecteerd aan de hand van metingen van KNMI station 260 (De Bilt). Deze selectie van stralingsnachten is gebruikt voor alle GMS-stations. Er zijn echter verschillende regio's wat betreft bewolking en neerslag, dus zou het beter zijn om geregionaliseerde gegevens te gebruiken. Dit wil zeggen dat de GMS-stations allen aan een KNMI station worden gekoppeld (zie Bijlage 2) en dat er voor ieder KNMI-station apart stralingsnachten worden geselecteerd.

### Validatie-methode

Bij de validatiemethode wordt er gekeken naar welke waardes verder dan 2x de standaarddeviatie van het gemiddelde liggen per wegdektemperatuur sensor (TW\_1 t/m TW\_12). Hierbij wordt er bijvoorbeeld gekeken naar de gemiddelde waardes van de TW\_1 sensoren van alle stations per stralingsnacht. Hierbij wordt een groot deel van de extreme waardes verwijderd, maar het zou nog accurater zijn om ook te kijken naar de afwijkende metingen per station per tijdstip.

Station nummer	TIMESTAMP	TW_1	TW_2	TW_3	TW_4	TW_5	TW_6
999	12:05:00	2	2	2	1	10	1
999	12:10:00	2	3	3	3	10	2
999	12:15:00	2	2	3	2	10	1
999	12:20:00	2	3	4	3	10	2
1	12:05:00	5	5	6	5	6	6
1	12:10:00	6	5	5	5	6	6
1	12:15:00	5	5	6	6	5	5
1	12:20:00	5	6	4	5	4	5

Tabel 13 Testdata in °C

In Tabel 13 is een voorbeeld gegeven met fictieve data waarbij TW\_5 van station 999 opvallende metingen geeft. Maar wanneer de gebruikte validatie-techniek wordt toegepast worden deze metingen er niet uit gehaald. Het gemiddelde van TW\_5 is in dit voorbeeld namelijk 7,13°C met een standaarddeviatie van 2,10°C. Dus pas wanneer TW\_5 hoger is dan 11,33°C wordt de meting verwijderd, terwijl bij station 999 duidelijk te zien is dat deze incorrect is.

Dus als je naast de huidige validatie (zie Bijlage 3) methode ook zou valideren per station per tijdstip zou het gemiddelde van de eerste rij 3°C zijn met een standaarddeviatie van 3,46°C. Het gemiddelde plus 2x de standaarddeviatie is dan 9,92°C. Dit is dus lager dan 10°C waardoor deze verwijderd zal worden.

### Reproduceerbaarheid

Voor het beantwoorden van de deelvragen is een handmatige selectie gemaakt van stations. Dit is gedaan om te bevestigen dat er binnen één station minimaal één sensor op een brug ligt en één sensor op een normale weg. Daarnaast moest er ook minimaal één sensor op de binnenste rijstrook liggen en één sensor op de buitenste. Het feit dat dit handmatig gedaan moest worden zorgt ervoor dat deze methode niet volledig reproduceerbaar is.

### Aantal stations deelvraag rijstroken

Bij de eerste deelvraag omtrent het temperatuurverschil tussen de binnenste en de buitenste rijstroken zijn 6 stations uitgekozen op basis van hun liggen, locatie van sensoren en aantal rijstroken. Echter werd pas in een laat stadium duidelijk dat een van deze stations in 2015 geen metingen had uitgevoerd, waardoor dit station alleen in de stralingsnachten van 2016 aan bod komt. Daarnaast was er nog een station waarbij maar twee sensoren metingen uitvoerden, maar de metingen van beide sensoren liepen erg uiteen waardoor het niet betrouwbaar was en het besluit was gemaakt dit station te verwijderen.

Hierdoor zijn er bij 3 stralingsnachten maar naar 4 stations gekeken in plaats van de vooraf geplande 6. Dit heeft de betrouwbaarheid van het resultaat niet ten goede gedaan en moet er in de toekomst eerder gecontroleerd worden in hoeverre de stations bruikbaar zijn. Binnen de tijd van de opdracht was het niet haalbaar om een vervangend station te vinden.

## 5. Conclusies en aanbevelingen

### 5.1 Rijstroken

De vraag die bij de eerste deelvraag gesteld werd luidt: “Beïnvloedt de verkeersintensiteit de metingen van sensoren binnen één GMS-station?”. Hierbij is er vanuit gegaan dat er meer verkeer rijdt op de rechterrijstrook omdat hier standaard gereden wordt. In de hypothese wordt dan ook beschreven dat verwacht wordt dat de rechterrijstrook warmere temperaturen zal registreren dan de linkerrijstrook.

Uit het onderzoek is naar voren gekomen dat de rechterrijstroken gemiddeld 0.81°C warmer zijn dan de linkerrijstroken gedurende de 5 stralingsnachten in de winterperiode van 2015-2016. Omdat de overschrijdingskans in alle gevallen kleiner is dan 0,05 wordt nulhypothese  $H_0$  verworpen en wordt de alternatieve hypothese  $H_1$  aangenomen:

- De nulhypothese  $H_0$  luidt dat de twee gemiddelden gelijk zijn.
- De alternatieve hypothese  $H_1$  van deelvraag 1 luidt dat de gemiddelde wegdektemperatuur op de rechterrijstrook hoger is dan op de linkerrijstrook.

Er kan dus met een 95% zekerheid gezegd dat de verschillen tussen de rijstroken significant zijn.

In de resultaten kwam dus naar voren dat op elk station, in beide richtingen (indien van toepassing) de gemiddelde wegdektemperatuur op de rechterrijstrook hoger lag dan de linkerrijstrook in de winter van 2015-2016, met uitzondering van station 1104 op rijbaan 1, op deze locatie waren de metingen op de linkerrijstrook juist warmer (zie Tabel 8).

Het is nog niet verklaard wat de reden kan zijn dat station 1104 op rijbaan 1 een afwijkend resultaat weergeeft. Het kan zijn dat een van de sensoren een afwijking heeft zonder dat het in de datavalidatie herkend werd, of het is simpelweg zo dat op deze locatie de linkerrijstrook warmer is.

### 5.2 Bruggen en viaducten

Voorafgaand aan dit onderzoek werd verwacht dat de gemiddelde wegdektemperatuur op normale wegen hoger is dan op bruggen of viaducten. Dit werd verwacht omdat bruggen en viaducten geen ondergrond hebben die de warmte transporteert. Er werd verwacht dat dit effect het grootst is tijdens stralingsnachten, heldere nachten met weinig wind.

Uit dit onderzoek is gebleken dat dit inderdaad zo is. De wegdektemperatuur op normale wegen was gemiddeld 3,54°C en op bruggen 3,11°C gedurende stralingsnachten in de winterperiode 2015-2016. Bij dit verschil van 0,42°C hoort een overschrijdingskans van 0,00. Omdat dit kleiner is dan 0,05 wordt de nulhypothese  $H_0$  verworpen en kan er met 95% zekerheid worden gezegd dat dit verschil significant is. De opgestelde hypothesen luiden als volgt:

- De nulhypothese  $H_0$  luidt dat de twee gemiddelden gelijk zijn.
- De alternatieve hypothese  $H_1$  luidt dat de gemiddelde wegdektemperatuur op normale wegen hoger is dan op bruggen en viaducten.

De wegdektemperatuur op normale wegen was gemiddeld 3,04°C en op viaducten 2,78°C gedurende stralingsnachten in de winterperiode 2015-2016. Bij dit verschil van 0,26°C hoort een overschrijdingskans van 0,00. Omdat dit kleiner is dan 0,05 wordt de nulhypothese  $H_0$  verworpen en kan er met 95% zekerheid worden gezegd dat dit verschil significant is.

In beide gevallen is de temperatuur van het wegdek op normale wegen dus hoger tijdens stralingsnachten. Het verschil met viaducten is echter kleiner dan met bruggen, maar alsnog significant.

### 5.3 Hoofdvraag

De hoofdvraag die in dit project onderzocht is luidt:

*“In welke mate beïnvloeden omgevingsfactoren de metingen van GMS-stations?”*

In dit onderzoek is uitsluitend gekeken naar omgevingsfactoren die aan de hand van de classificatie van GMS-sensoren bepaald konden worden. Deze factoren zijn verkeersintensiteit (rijstroken) en infrastructuur (bruggen en viaducten). Hierbij is onderzocht of er een significant verschil is tussen de linker- en de rechterrijstrook, en tussen normale wegen en bruggen of viaducten. Er is uitsluitend gekeken naar metingen tijdens stralingsnachten om vergelijkbare situaties te analyseren. Hierdoor zijn externe invloeden zoals bewolking en wind uitgesloten.

Bij de eerste deelvraag: *“Beïnvloedt de verkeersintensiteit de metingen van sensoren binnen één GMS-station?”* is er in alle gevallen een significant verschil aangetoond. Hiervan is op 8 van de 9 rijstroken de rechterrijstrook warmer dan de linkerrijstrook. De verkeersintensiteit beïnvloedt de wegdektemperatuur van de gekozen stations met een gemiddelde van 0,86°C.

Bij de tweede deelvraag: *“Zijn er verschillen tussen metingen van GMS-sensoren op bruggen of viaducten en sensoren op normale wegen binnen één station?”* is aangetoond dat er een significant verschil is tussen normale wegen en bruggen of viaducten. Hierbij zijn normale wegen gemiddeld warmer dan bruggen en viaducten. Het gemiddelde verschil tussen een normale weg en een brug is 0,42°C en het gemiddelde verschil tussen een normale weg en een viaduct 0,26°C. Dit zijn de verschillen waarmee de infrastructuur metingen van GMS-stations beïnvloedt.

De onderzochte omgevingsfactoren hebben dus beide invloed op de metingen van GMS-stations. De mate waarin de metingen beïnvloed worden verschillen per omgevingsfactor. Verkeersintensiteit beïnvloedt de metingen met 0,86°C verschil en infrastructuur met 0,42°C verschil op bruggen en 0,26°C verschil op viaducten.

### 5.4 Ervaring Big Data onderzoek

Naast het onderzoeken van de bovenstaande hoofd- en deelvragen, wilde het KNMI ook ervaring opdoen met het uitvoeren van een big data onderzoek. Hieruit kwamen een aantal concrete stappen naar voren:

#### 1. Exploreren

Om inzicht te krijgen in de inhoud en mogelijkheden van een database, is het van belang een exploratie uit te voeren. Tijdens deze fase worden verschillende figuren gemaakt om een beeld van data te schetsen.

#### 2. Onderzoeksvragen opstellen

Op basis van de resultaten van de exploratiefase kunnen de onderzoeksvragen opgesteld worden. Hierbij is het van belang goed afgebakende en concrete vragen te stellen.

### 3. Selecteren

Wanneer duidelijk is welke onderzoeksvragen onderzocht gaan worden, kan de benodigde data uit de database geselecteerd worden om het onderzoek uit te voeren.

### 4. Valideren

Net als in het huidige onderzoek, komt het vaak voor dat er fouten in een database voorkomen. Om dit aantal tot een minimum te beperken moet er een datavalidatie uitgevoerd worden. Hierbij kunnen bijvoorbeeld extreme waarden uit de data gefilterd worden om een betrouwbaarder resultaat neer te zetten.

### 5. Analyseren

Tot slot kan de ruimtelijke of statistische analyse met de data uitgevoerd worden om zo de onderzoeksvragen te beantwoorden.

Deze stappen zijn weergegeven in de bijgevoegde infographic (zie Bijlage 3).

## 5.5 Aanbevelingen

Gedurende het project zijn er verschillende onderwerpen geweest die niet binnen het kader van het onderzoek vielen, of waarbij het in verband met tijd niet mogelijk was om verder te onderzoeken. Deze onderwerpen zijn wel interessant voor vervolgonderzoek en worden daarom kort besproken.

### Onderzoeken andere omgevingsfactoren

Tijdens het project is alleen gekeken naar omgevingsfactoren die uit het GMS gehaald konden worden. Het zou daarnaast ook interessant zijn om andere omgevingsfactoren hierbij te betrekken. Denk hierbij aan de invloeden van bodemsoorten of bebouwing.

Er wordt namelijk verwacht dat de verschillende grondsoorten verschillend zijn in hoeverre warmte geleid wordt of vast wordt gehouden. Het zou interessant zijn om te onderzoeken in hoeverre dit de metingen van het GMS beïnvloedt.

Daarnaast zal bebouwing ook waarschijnlijk invloed hebben op de metingen van het GMS. Dit wordt verwacht omdat bebouwde gebieden door de aanwezigheid van beton, teer en bakstenen die het zonlicht absorberen en door relatief lage windsnelheden, warmer zullen zijn dan de onbebouwde omgeving.

### Onderzoeken uitschieters

In de resultaten zijn regelmatig verschillende uitschieters waargenomen. Er liggen interessante mogelijkheden voor een vervolgproject om te onderzoeken wat de oorzaak van deze uitschieters is. Dit kan bijvoorbeeld komen door afwijkingen in sensoren of door externe invloeden zoals schaduwvorming of extreme weersomstandigheden. Door naar andere weermetingen te kijken op het tijdstip van deze uitschieters kan onderzocht worden of de weersomstandigheden deze afwijkingen veroorzaakt hebben. Hierdoor kan er een technisch advies worden gegeven over de database.

### **Vergelijking maken met KNMI-stations**

Om de betrouwbaarheid van het GMS te controleren zouden de luchttemperaturen van de GMS-stations vergeleken kunnen worden met de luchttemperaturen van nabijgelegen KNMI-stations. Wanneer hieruit blijkt dat deze metingen betrouwbaar zijn zouden ze gebruikt kunnen worden om de metingen van de KNMI-stations aan te vullen.



## Bibliografie

- Esri. (2015). *GIS for me*. Opgeroepen op 18 mei, 2016, van Esri: <http://www.esri.com/software/arcgis/about/gis-for-me>
- Huizingh, E. (2014). In *Inleiding SPSS 22* (pp. 19-20). Den Haag: BIM Media B.V.
- Manders, M. (2015, 23 september). *Wat is SPSS en waarom gebruik je SPSS*. Opgeroepen op 18 mei, 2016, van Scribbr: <https://www.scribbr.nl/statistiek/wat-spss-en-waarom-gebruik-je-spss/>
- Rijkswaterstaat, Dienst Weg- en Waterbouwkunde. (2007). *Handleiding GMS release 1.6.5*. Delft.
- RStudio. (2016). *Take control of your R code*. Opgeroepen op 18 mei, 2016, van RStudio: <https://www.rstudio.com/products/RStudio/>
- The R Foundation. (sd). *About R*. Opgeroepen op 18 mei, 2016, van R-Project: <https://www.r-project.org/about.html>

## Bijlagen

### Bijlage 1 Beschrijving GMS-sensoren

In de weerhut langs de weg worden de volgende variabelen gemeten:

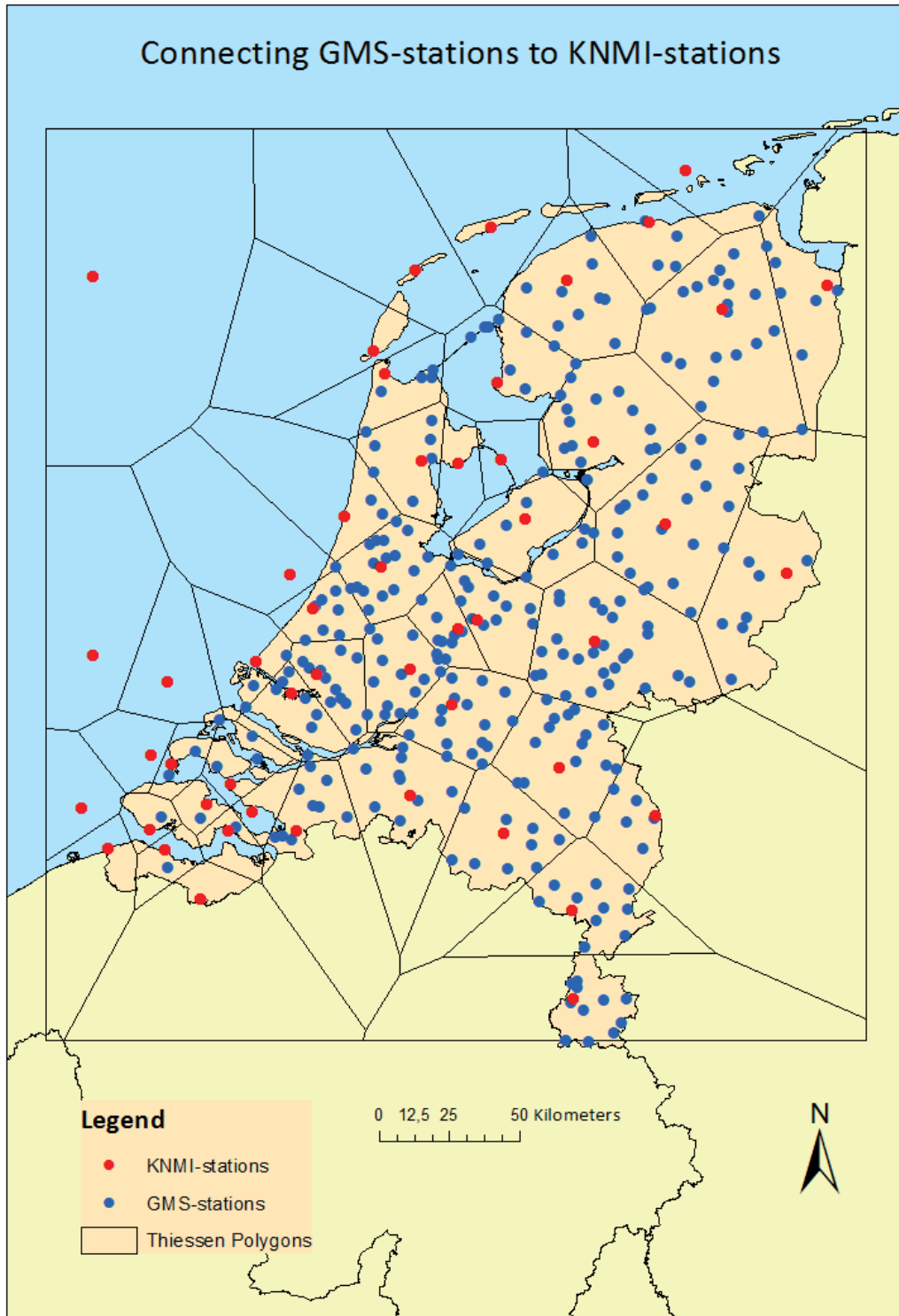
- **Luchttemperatuur (°C)**  
In de weerhut wordt de luchttemperatuur (TL) gemeten op een hoogte van 1,5 meter.
- **Dauwpunt-temperatuur (°C)**  
De dauwpunt temperatuur (TD) kan niet gemeten worden, maar wordt berekend op basis van de relatieve luchtvochtigheid en de luchttemperatuur.
- **Relatieve luchtvochtigheid (%)**  
In de weerhut wordt de relatieve luchtvochtigheid (RV) gemeten op een hoogte van 1,5 meter. De relatieve luchtvochtigheid is 100% als bij een bepaalde temperatuur de maximale hoeveelheid waterdamp de lucht zit.
- **Neerslaanwezigheid (µS)**  
Op de weerhut wordt door de neerslaanwezigheid sensor (NA) de intensiteit van de neerslag gemeten. De neerslagsensor maakt het volgende onderscheid:
  - o Geen neerslag aanwezig:  $NA \leq 2 \mu S$
  - o Signalering van neerslag:  $NA \geq 2 \mu S$

Om condensatie te voorkomen wordt de sensor verwarmd tot +3°C boven de luchttemperatuur en tijdens neerslag tot +10°C boven TL.

De sensoren in de weg meten de volgende variabelen:

- **Temperatuur wegdek, sensor 1 t/m 12 (°C)**  
Wegdektemperatuur sensoren (TW\_1 t/m TW\_12) bevinden zich 2 mm onder het wegdek. De sensoren meten iedere 5 minuten een gemiddelde wegdektemperatuur. Sensoren die een temperatuur tussen -5°C en +5°C meten hebben een nauwkeurigheid van 0,1°C.
- **Temperatuur onderzijde wegdek (°C)**  
Sommige meetstations beschikken over een sensor die de temperatuur aan de onderzijde van het wegdek meet. De waarde van TO wordt voor alsnog niet gebruikt bij het voorspellen van gladheid.
- **Geleidbaarheid wegdek, sensor 1 t/m 12 (µS)**  
De geleidbaarheid sensor (G\_1 t/m G\_12) meet de geleidbaarheid van het wegdek. Deze sensor kan zout vaststellen, hiervoor moet het wegdek nat zijn. De geleidbaarheid bij een droog wegdek is kleiner dan 4 µS, bij een nat wegdek niet groter dan 250 µS en bij een zout wegdek groter dan 250 µS.

## Bijlage 2 Koppeling GSM-stations met KNMI-stations



### Bijlage 3 Overzicht van scripts op CD

Dit is een overzicht van de scripts die op de bijgeleverde CD staan:

- **Beschrijving\_grafiek:** in deze tabel wordt toegelicht wat alle opties zijn in de functie om een grafiek te maken.
- **Classificatie:** dit script splitst de classificatie code van GMS-sensoren waardoor er specifieke selecties gemaakt kunnen worden op basis van de ligging van de sensoren.
- **Data-selectie:** dit script selecteert de stralingsnachten uit de GMS database en slaat ze lokaal op.
- **Data-validatie:** dit script filtert de wegdektemperatuur metingen m.b.v. gemiddelde + 2sd & gemiddelde - 2sd.
- **Resultaten\_exploratie:** dit script geeft een voorbeeld van de manier waarop de resultaten uit de data-exploratie gevisualiseerd zijn in R.
- **Resultaten\_stralingsnachten:** dit script berekent verschillende resultaten per stralingsnacht voor de twee deelvragen en visualiseert deze resultaten in één figuur.

Daarnaast is er ook een **infographic** omtrent big data onderzoek op de CD te vinden.

## Bijlage 4 Overzicht gebruikte stations deelvraag 2

### Bruggen

Station nummer	Locatie
107	Eilandbrug
253	Maarssen
425	Zutphen
427	Brug Twente kaal
430	Middachtenbrug
455	Ewijk brug
458	Heumen brug
472	Gellicum
520	Robbenoordbos
551	Oegstgeesterkaal
560	Rotteviaduct
612	Ramspolbrug
712	De Mark
713	Moerdijkbrug
714	Oosterhout
811	Stein brug
833	Well
852	Roosteren
904	Kerkdriel
952	Oirshot
956	Kempen-Peelland
1001	Kreekrakbrug
1013	Roompot
1102	Oranjekaal
1505	Tijdelijke brug Waalwijk

### Viaducten

Station nummer	Locatie
207	Lunetten
213	Hilversum
352	Vaanplein
362	Everdingen
477	Pleybrug Arnhem
514	ardertrekvaart
571	Zwammerdam
716	Knooppunt Zonzeel
957	Knooppunt Ekkersweijer
1161	Hamdijk
1208	Grouw
1224	Gorredijk
1225	Franeker
1411	Epe
1418	Delden

## Bijlage 5 Statistische resultaten rijstroken

201-1

Group Statistics

	Location	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
TW	Left lane	430	,4499	3,13227	,15105
	Right lane	366	1,3016	2,79774	,14624

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means							
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference		
								Lower	Upper	
TW	Equal variances assumed	7,272	,007	-4,015	794	,000	-,85176	,21216	-1,26821	-,43530
	Equal variances not assumed			-4,051	792,144	,000	-,85176	,21024	-1,26446	-,43905

201-2

Group Statistics

	Location	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
TW	Left lane	430	1,0253	2,93854	,14171
	Right lane	430	1,6995	3,30719	,15949

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means							
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference		
								Lower	Upper	
TW	Equal variances assumed	7,272	,007	-4,015	794	,000	-,85176	,21216	-1,26821	-,43530
	Equal variances not assumed			-4,051	792,144	,000	-,85176	,21024	-1,26446	-,43905

204-1

Group Statistics

Location	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
TW Right lane	1062	4,7286	4,14708	,12726
Left lane	1073	3,6026	4,34752	,13272

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	,650	,420	6,122	2133	,000	1,12597	,18392	,76529	1,48665
Equal variances not assumed			6,124	2130,105	,000	1,12597	,18387	,76538	1,48656

204-2

Group Statistics

Location	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
TW Right lane	1073	4,5694	4,01330	,12252
Left lane	1054	3,6799	4,16126	,12818

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	4,243	,040	5,018	2125	,000	,88955	,17726	,54193	1,23716
Equal variances not assumed			5,017	2118,810	,000	,88955	,17731	,54182	1,23727

217-1

Group Statistics

	Location	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
TW	Right lane	1073	3,8041	4,30348	,13138
	Left lane	1073	3,0243	4,32834	,13214

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means							
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference		
								Lower	Upper	
TW	Equal variances assumed	,003	,956	4,185	2144	,000	,77978	,18633	,41436	1,14519
	Equal variances not assumed			4,185	2143,929	,000	,77978	,18633	,41436	1,14519

217-2

Group Statistics

	Location	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
TW	Right lane	1059	3,8858	4,17678	,12835
	Left lane	1073	2,6626	4,06138	,12399

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means							
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference		
								Lower	Upper	
TW	Equal variances assumed	1,134	,287	6,856	2130	,000	1,22325	,17842	,87335	1,57315
	Equal variances not assumed			6,855	2126,401	,000	1,22325	,17845	,87329	1,57322



351

Group Statistics

	Location	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
TW	Right lane	997	5,3137	3,57457	,11321
	Left lane	1073	3,0920	4,01805	,12266

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means							
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference		
								Lower	Upper	
TW	Equal variances assumed	4,782	,029	13,253	2068	,000	2,22176	,16764	1,89300	2,55051
	Equal variances not assumed			13,310	2064,125	,000	2,22176	,16692	1,89441	2,54911

1104-1

Group Statistics

	Location	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
TW	Right lane	645	1,9330	4,75978	,18742
	Left lane	1073	2,7621	4,55816	,13915

Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means							
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference		
								Lower	Upper	
TW	Equal variances assumed	6,799	,009	3,590	1716	,000	,82905	,23092	,37612	1,28197
	Equal variances not assumed			3,552	1310,498	,000	,82905	,23343	,37111	1,28698

1104-2

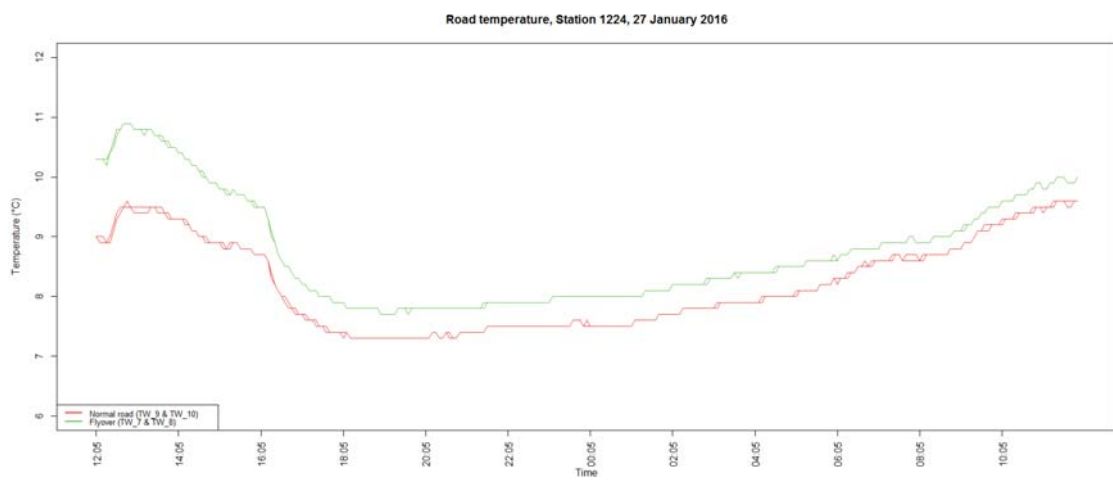
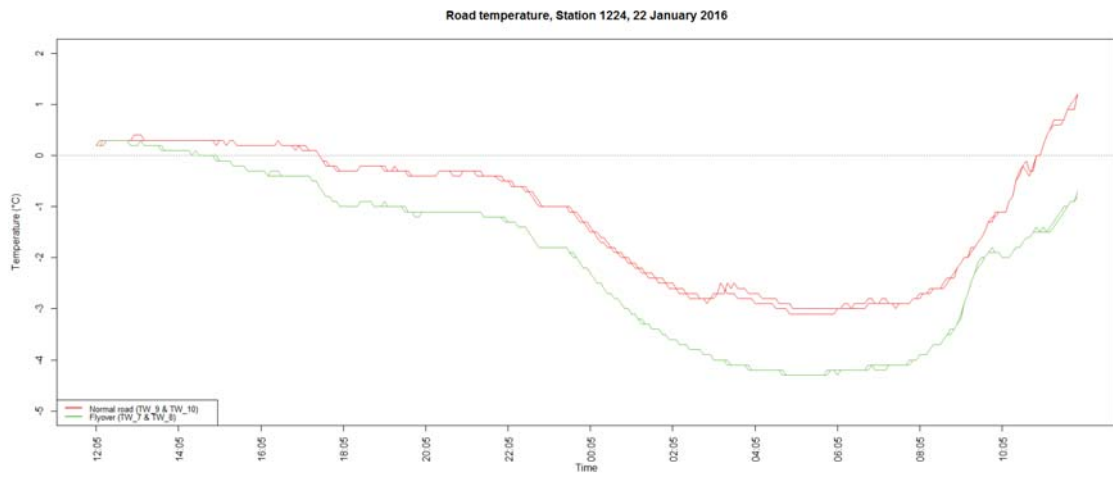
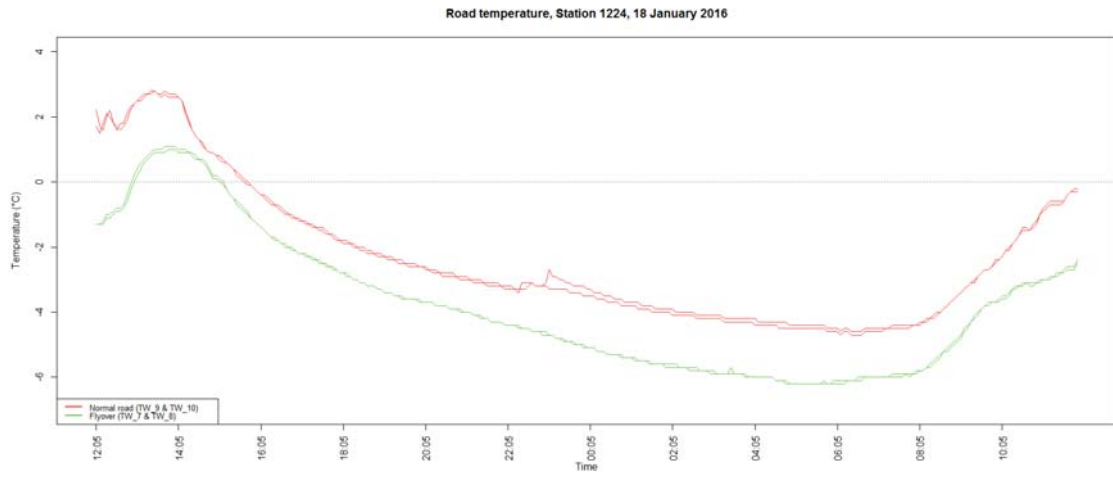
Group Statistics

Location	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Right lane	1073	3,2678	4,32530	,13204
Left lane	1073	2,9171	4,40401	,13445

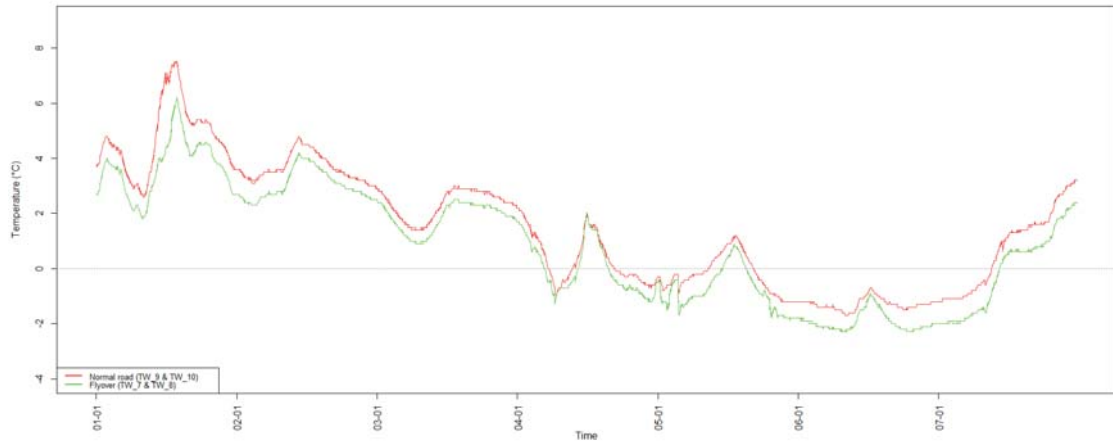
Independent Samples Test

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
								Lower	Upper
Equal variances assumed	,084	,771	1,861	2144	,063	,35065	,18844	,01890	,72020
Equal variances not assumed			1,861	2143,303	,063	,35065	,18844	,01890	,72020

## Bijlage 6 Resultaten data-exploratie viaducten



Road temperature, Station 1224, 1-7 January 2016



## Bijlage 7 Resultaten stralingsnachten viaducten

