

# Data analyse : impact van weercondities op luchtkwaliteit Breemarsweg Hengelo

DATUM: 04-03-2025

AUTEUR: MATTHIJS VOS – SMARTCITY-IOT



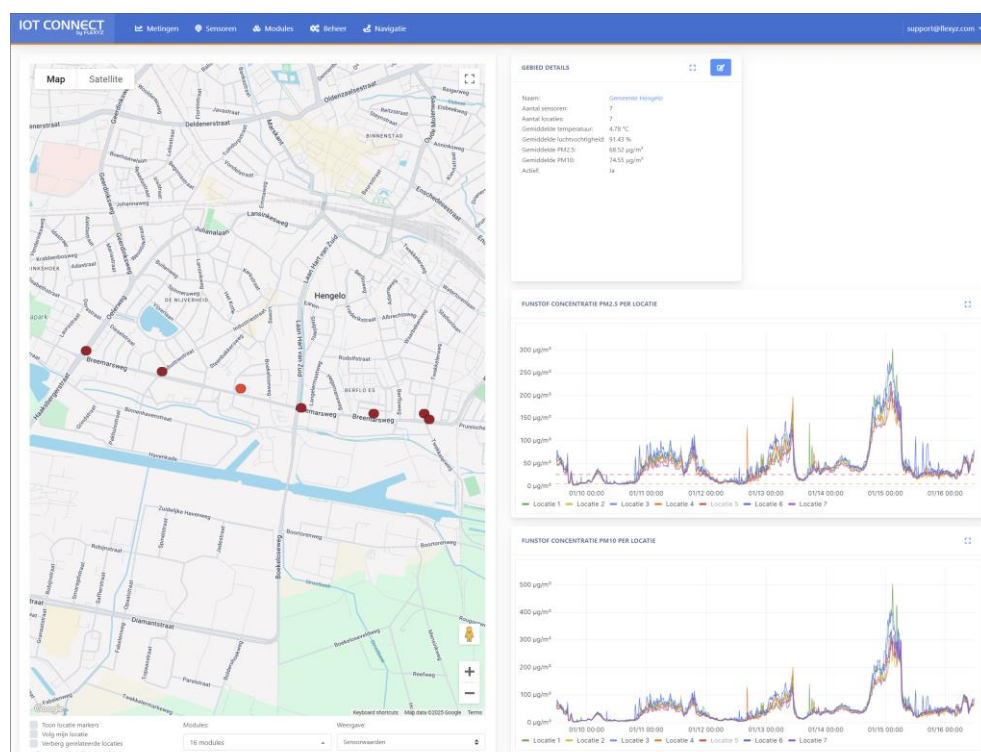
# Introductie

Aan de Breemarsweg in Hengelo zijn zeven luchtkwaliteitssensoren geplaatst. Deze sensoren meten fijnstofconcentraties (PM2.5 en PM10), temperatuur en luchtvochtigheid. De sensoren zijn gekoppeld aan het SmartCity-IoT-platform en sturen één keer per uur meetgegevens naar dit dataplatform. Het platform biedt een gebruiksvriendelijke interface waarmee data worden gevisualiseerd, opgeslagen en in context wordt gezet. Het stelt onder andere beleidsmakers in staat om patronen in luchtkwaliteit te monitoren en gericht te reageren op situaties waarin de normen voor luchtkwaliteit worden overschreden. Zo brachten de verzamelde patronen de gemeente ertoe om aanvullend onderzoek te laten uitvoeren.

In opdracht van de gemeente Hengelo is een analyse uitgevoerd om het verband te onderzoeken tussen fijnstofconcentraties en meteorologische factoren zoals windrichting en windsnelheid. Het doel van deze analyse is om inzicht te verkrijgen in de momenten en omstandigheden waarin de luchtkwaliteit in Hengelo verslechtert en om beter te begrijpen hoe lokale en externe bronnen hierbij een rol spelen bij luchtkwaliteit. Deze inzichten kunnen dienen als basis voor een aanvullend onderzoek ter verbetering van de luchtkwaliteit.



Figuur 1 Fijnstofsensor aan de Breemarsweg.



Figuur 2 Print screen IoT-Connect (product van SmartCity-IoT) dashboard fijnstofsensoren Gemeente Hengelo.

# Onderzoek

Dit onderzoek vormt een eerste stap in het verkrijgen van beter inzicht in de luchtkwaliteitsontwikkelingen langs de Breemarsweg. Door middel van fijnstofmetingen wordt een beeld gevormd van de huidige situatie en de mogelijke invloed van weersomstandigheden en lokale emissiebronnen. Om tot definitieve conclusies te komen, is het noodzakelijk om over een langere periode metingen uit te voeren. Dit biedt de mogelijkheid om seizoensgebonden variaties en langetermijntrends beter te begrijpen. Daarnaast kunnen verdere analyses nodig zijn om de invloed van specifieke bronnen en verkeersstromen nauwkeuriger te duiden. Dit onderzoek legt daarmee een belangrijke basis voor toekomstige metingen en beleidsmaatregelen gericht op het verbeteren van de luchtkwaliteit in Hengelo. Op basis van de resultaten kunnen vervolgonderzoeken worden uitgewerkt, waarbij de meetstrategie verder wordt verfijnd en aanvullende locaties of variabelen worden meegenomen.

## Onderzoeksvraag

Het doel van dit onderzoek is om inzicht te krijgen in de herkomst van de verhoogde PM10- en PM2.5-concentraties en te achterhalen of er een patroon te ontdekken is.

De centrale onderzoeksvraag luidt:

*Kunnen we een verband vinden tussen windrichting, windsnelheid en de verhoogde PM10- en PM2.5-metingen voor de periode april-november 2024?*

Om deze vraag te beantwoorden, hebben we het onderzoek in twee stappen opgedeeld:

## Validatie van de meetgegevens

Allereerst wordt de verzamelde dataset onderworpen aan een validatieproces om de betrouwbaarheid en consistentie van de metingen te waarborgen. Dit omvat het identificeren en uitsluiten van metingen die als afwijkend of niet-representatief kunnen worden beschouwd op basis van statistische criteria. Vervolgens wordt de gevalideerde dataset vergeleken met fijnstofmetingen afkomstig van citizen science-sensoren in Hengelo, die zijn gekoppeld aan het Samen Meten Dataportaal van het RIVM. Deze vergelijking heeft als doel om overeenkomstige trends en patronen te identificeren, zonder dat daarbij rekening wordt gehouden met de specifieke lokale omstandigheden waarin deze sensoren zijn geplaatst. Hierdoor wordt inzicht verkregen in de mate van overeenstemming tussen de fijnstofsensormetingen langs de Breemarsweg en de onafhankelijke burgermetingen binnen hetzelfde meetgebied.

## Koppeling van winddata aan fijnstofmetingen

Vervolgens koppelen we de gevalideerde fijnstofmetingen van de sensoren langs de Breemarsweg, aan gedetailleerde meteorologische gegevens van een KNMI-station in de nabijheid van Hengelo. Dit is het meetstation van het KNMI op het op het voormalige militaire vliegveld Twente, op ongeveer 8 kilometer afstand vanaf Breemarsweg. Dit station meet windrichting, windsnelheid, temperatuur en luchtvochtigheid en staat opgesteld in het vrije veld. De windrichting wordt geanalyseerd in stappen van 45 graden en de windsnelheid in intervallen van 1 m/s. Hiermee onderzoeken we onder welke specifieke windcondities de verhoogde fijnstofwaarden optreden.

# Data verwerken

Voor dit onderzoek is gebruik gemaakt van drie verschillende databronnen:

- Data van de fijnstofsensoren: metingen van de door de gemeente aangeschafte zeven fijnstofsensoren. <https://iotconnect.cloud/>
- KNMI-meteorologische data: historische windgegevens van het weerstation "Twente", met informatie over windsnelheid en windrichting. <https://www.knmi.nl/nederland-nu/klimatologie/daggegevens>
- Samen Meten-luchtkwaliteitsdata: Er is onderzocht of de data van een volwaardig RIVM-meetstation als referentie gebruikt kon worden voor de validatie van de fijnstofmetingen. Echter, vanwege de afstand van meer dan 10 km tot de meetlocatie bleek dit niet zinvol. Luchtkwaliteit is sterk locatieafhankelijk en wordt beïnvloed door lokale emissiebronnen, meteorologische factoren en omgevingskenmerken. Hierdoor zouden de metingen van het RIVM-meetstation onvoldoende representatief zijn voor de specifieke situatie op de meetlocatie, wat de betrouwbaarheid van de vergelijking zou beperken. <https://samenmeten.rivm.nl/dataportaal/>

De datasets zijn gecombineerd zodat elke fijnstofmeting wordt aangevuld met bijbehorende meteorologische informatie.

## Fijnstofdata

De fijnstofdata bestaat uit metingen van zeven sensoren langs de Breemarsweg, elk geplaatst op een eigen locatie in lichtmasten aan de Breemarsweg op +/- 4 meter hoogte. De locaties zijn genummerd van Locatie 1 tot Locatie 7 en hebben bijbehorende coördinaten (latitude en longitude). De sensoren meten PM2.5- en PM10-concentraties in microgram per kubieke meter ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Daarnaast registreren ze ook temperatuur en luchtvochtigheid. In de onderstaande tabel wordt een sample weergegeven van gebruikte data.

	sensor_name	reading_time	pm2_5	pm10	temperature	humidity	week	day_of_week	hour_of_day	time_of_day	location_name	latitude	longitude	month	matching_time
25030	4309	2024-07-18 00:58:03	12.163641	12.570704	17.09	72.91	29	3	0	00:58:03	Locatie 5	52.251211	6.796377	July	2024-07-18 01:00:00
27693	4309	2024-11-12 06:45:33	16.738594	19.151937	9.40	91.74	46	1	6	06:45:33	Locatie 5	52.251211	6.796377	November	2024-11-12 07:00:00
19554	4308	2024-07-14 18:45:44	3.723961	3.723960	23.90	58.91	28	6	18	18:45:44	Locatie 4	52.251496	6.790394	July	2024-07-14 19:00:00
2086	3011	2024-06-17 21:25:34	3.133176	3.133177	21.70	61.77	25	0	21	21:25:34	Locatie 2	52.252465	6.785443	June	2024-06-17 21:30:00
13857	4306	2024-07-11 19:13:39	3.068509	3.068509	23.73	60.20	28	3	19	19:13:39	Locatie 1	52.254403	6.772671	July	2024-07-11 19:00:00
11682	4305	2024-12-01 00:57:47	16.113708	16.236532	4.44	82.29	48	6	0	00:57:47	Locatie 3	52.250938	6.800962	December	2024-12-01 01:00:00
26474	4309	2024-09-19 18:56:03	32.459312	33.991493	20.79	72.79	38	3	18	18:56:03	Locatie 5	52.251211	6.796377	September	2024-09-19 19:00:00
23079	4308	2024-12-09 07:05:19	16.748430	17.830231	6.32	87.40	50	0	7	07:05:19	Locatie 4	52.251496	6.790394	December	2024-12-09 07:00:00
11344	4305	2024-11-16 14:37:50	27.952787	28.477711	9.43	82.86	46	5	14	14:37:50	Locatie 3	52.250938	6.800962	November	2024-11-16 14:30:00
9971	4305	2024-09-19 12:18:09	57.394634	60.001602	19.59	80.23	38	3	12	12:18:09	Locatie 3	52.250938	6.800962	September	2024-09-19 12:30:00

Tabel 1: Willekeurige sample van data van de fijnstofsensoren langs de Breemarsweg.

## KNMI-meteorologische data

De meteorologische data van het KNMI bevat historische daggegevens van het weer in Nederland. Voor dit onderzoek is het dichtstbijzijnde weerstation gebruikt, gelegen in Twente. Dit station biedt het meest representatieve beeld van de windsnelheid en windrichting in het onderzoeksgebied. In de onderstaande tabel wordt een sample weergegeven van gebruikte data.

	wind_speed	wind_direction	reading_time	week	day_of_week	hour_of_day	time_of_day	location_name	latitude	longitude	month	matching_time
3835	5.0	40	2024-07-12 08:00:00	28	4	8	08:00:00	Twente	52.273	6.891	July	2024-07-12 08:00:00
5253	3.0	250	2024-09-09 10:00:00	37	0	10	10:00:00	Twente	52.273	6.891	September	2024-09-09 10:00:00
4041	2.0	170	2024-07-20 22:00:00	29	5	22	22:00:00	Twente	52.273	6.891	July	2024-07-20 22:00:00
1602	4.0	250	2024-04-10 07:00:00	15	2	7	07:00:00	Twente	52.273	6.891	April	2024-04-10 07:00:00
1657	9.0	250	2024-04-12 14:00:00	15	4	14	14:00:00	Twente	52.273	6.891	April	2024-04-12 14:00:00
2025	3.0	130	2024-04-27 22:00:00	17	5	22	22:00:00	Twente	52.273	6.891	April	2024-04-27 22:00:00
6999	5.0	230	2024-11-21 04:00:00	47	3	4	04:00:00	Twente	52.273	6.891	November	2024-11-21 04:00:00
4394	4.0	310	2024-08-04 15:00:00	31	6	15	15:00:00	Twente	52.273	6.891	August	2024-08-04 15:00:00
2067	3.0	160	2024-04-29 16:00:00	18	0	16	16:00:00	Twente	52.273	6.891	April	2024-04-29 16:00:00
2011	3.0	130	2024-04-27 08:00:00	17	5	8	08:00:00	Twente	52.273	6.891	April	2024-04-27 08:00:00

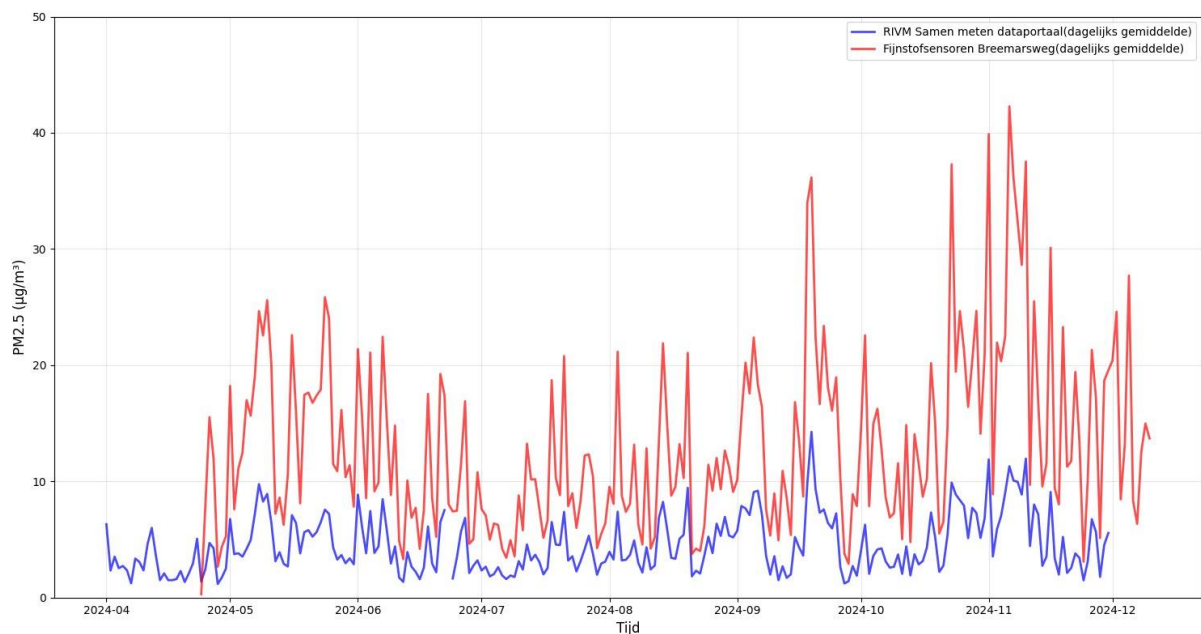
Tabel 2: Een willekeurige sample van de data uit het KNMI-weerstation.

## RIVM Samen Meten luchtkwaliteitsdata

De luchtkwaliteitsdata van het RIVM Samen Meten Dataportaal is afkomstig van de vijf dichtstbijzijnde meetpunten in Hengelo. Om de vergelijking met de fijnstofdata van de Breemarsweg overzichtelijk te maken, zijn de kolommen van deze dataset aangepast naar de structuur van deze dataset. In de onderstaande tabel wordt een sample weergegeven van gebruikte data.

	sensor_name	reading_time	pm2_5	pm10	temperature	humidity	week	day_of_week	hour_of_day	time_of_day	location_name	latitude	longitude
26881	4743	2024-11-17 19:00:00+00:00	0.99	3.66	NaN	NaN	46	6	19	19:00:00	LTD_47857	52.270	6.804
19262	5904	2024-09-12 21:00:00+00:00	2.56	3.81	11.10	97.36	37	3	21	21:00:00	LTD_54673	52.262	6.830
5766	2781	2024-05-20 13:00:00+00:00	1.42	2.00	24.75	87.38	21	0	13	13:00:00	LTD_33046	52.270	6.832
5220	5904	2024-05-10 10:00:00+00:00	1.77	3.33	24.01	54.74	20	2	10	10:00:00	LTD_54673	52.262	6.830
14671	4743	2024-08-05 15:00:00+00:00	3.52	9.81	NaN	NaN	32	0	15	15:00:00	LTD_47857	52.270	6.804
8624	2781	2024-06-14 15:00:00+00:00	1.10	2.38	23.04	81.19	24	4	15	15:00:00	LTD_33046	52.270	6.832
19465	2781	2024-09-14 14:00:00+00:00	0.48	1.93	18.46	80.99	37	5	14	14:00:00	LTD_33046	52.270	6.832
393	5904	2024-04-04 06:00:00+00:00	2.10	4.81	9.60	99.90	14	3	6	06:00:00	LTD_54673	52.262	6.830
13216	2781	2024-07-24 12:00:00+00:00	0.71	3.08	24.63	80.62	30	2	12	12:00:00	LTD_33046	52.270	6.832
23267	6071	2024-10-18 08:00:00+00:00	9.80	12.87	16.15	99.90	42	4	8	08:00:00	LTD_56018	52.273	6.768

Tabel 3: Een willekeurige sample van de data uit het Samen Meten Dataportaal van het RIVM.



## Conclusie en mogelijke verklaringen voor afwijkingen

De grafiek toont een vergelijking tussen de dagelijkse gemiddelde PM2.5-concentraties gemeten door de fijnstofsensoren langs de Breemarsweg (rode lijn) en de RIVM Samen Meten Dataportaal-sensoren (blauwe lijn). Beide datasets laten een stijgende trend in fijnstofconcentraties zien richting de wintermaanden, wat kan wijzen op seizoensgebonden effecten zoals verhoogde uitstoot door verwarming en minder luchtcirculatie.

### Belangrijkste verklaring voor afwijkingen

De hogere en meer variabele fijnstofconcentraties bij de fijnstofsensoren langs de Breemarsweg kunnen grotendeels worden verklaard door hun lokale positionering. Deze sensoren hangen:

- Boven een drukke doorgaande weg, waar voertuigemissies direct invloed hebben op de gemeten waarden.
- Op ongeveer vier meter hoogte, waardoor ze sneller vervuiling registreren die door de wind wordt meegevoerd en minder mengen met schone luchtlagen.



### *Aanvullend onderzoek*

Hoewel de locatie en hoogte van de sensoren een duidelijke verklaring bieden voor de afwijkingen, kunnen andere factoren zoals sensorprestaties, weersomstandigheden en verschillen in dataverwerking een rol spelen. Een diepere analyse is nodig om deze effecten verder te kwantificeren en eventuele correcties toe te passen.

### **Samenvattend**

De fijnstofsensoren langs de Breemarsweg en de RIVM-meetpunten laten vergelijkbare trends zien, wat bevestigt dat de metingen een consistent beeld geven van de luchtkwaliteit. De hogere en meer variabele metingen van de fijnstofsensoren langs de Breemarsweg kunnen mogelijk worden verklaard door lokale vervuilingbronnen, sensorverschillen en weersinvloeden.

### **Keuze voor validatiemethode: RIVM Samen Meten Dataportaal**

Voor de validatie van de data is gekozen voor een vergelijking met data uit het Samen Meten Dataportaal van het RIVM. Deze keuze is gebaseerd op de volgende overwegingen:

#### **1. Betrouwbaarheid en toegankelijkheid**

Het Samen Meten Dataportaal is een door het RIVM beheerde dataset die gebruikmaakt van een netwerk van sensoren verspreid door Nederland. Hoewel deze meetpunten deels bestaan uit citizen science-sensoren, worden ze regelmatig gecontroleerd en vergeleken met geijkte referentiestationen van het RIVM. Dit maakt het een toegankelijke en representatieve databron voor vergelijkende validatie.

#### **2. Ruimtelijke nabijheid**

De meetpunten binnen het Samen Meten netwerk bevinden zich op relatief korte afstand van de meetlocaties in Hengelo. Dit maakt het mogelijk om de trends en fluctuaties in luchtkwaliteit binnen dezelfde klimatologische en geografische omstandigheden te vergelijken.

#### **3. Beperking van alternatieve referentiepunten**

Een alternatief voor de validatie zou een volledig geijkt RIVM-meetstation kunnen zijn. Echter, het dichtstbijzijnde RIVM-fijnstofmeetpunt bevindt zich op meer dan 10 kilometer afstand, wat tot een minder representatieve vergelijking kan leiden. De fijnmazige verdeling van Samen Meten-sensoren zorgt ervoor dat er een betere overeenkomst is tussen de lokale meetwaarden en de referentiedata.

#### **4. Vergelijking met meerdere meetpunten**

In plaats van een validatie met slechts één meetpunt, zijn de metingen langs de Breemarsweg vergeleken met data van meerdere Samen Meten-sensoren in de stad. Dit helpt om eventuele lokale afwijkingen in afzonderlijke sensoren te compenseren en een robuustere vergelijking te verkrijgen.

# Verwerken van winddata

De winddataset bevat informatie over windrichtingen in graden, waarbij de volgende notatie wordt gehanteerd:

**1...360** = Windrichting in graden

**0** = Windstil

**990** = Te wisselvallig

Om de data geschikt te maken voor analyse, zijn metingen met waarden van **0** (windstil) en **990** (te wisselvallig) uitgesloten van verdere verwerking.

De windrichting wordt in de dataset gemeten met een nauwkeurigheid van 10 graden. Voor dit onderzoek is echter gekozen om de data te groeperen in intervallen van *45 graden*. Deze indeling maakt het mogelijk om de relatie tussen windrichting en fijnstofconcentraties overzichtelijker en eenvoudiger te analyseren. Dit resulteert in acht windrichtingen:

**N** (Noord)

**NO** (Noordoost)

**O** (Oost)

**ZO** (Zuidoost)

**Z** (Zuid)

**ZW** (Zuidwest)

**W** (West)

**NW** (Noordwest)

# Data validatie

Om de betrouwbaarheid van de metingen van de zeven fijnstofsensoren langs de Breemarsweg te beoordelen, zijn verschillende statistische maatstaven toegepast. Deze helpen inzicht te krijgen in de spreiding, stabiliteit en betrouwbaarheid van de gemeten waarden. Hieronder volgt een uitleg van deze maatstaven, gekoppeld aan de specifieke resultaten voor PM2.5 en PM10.

## Standaarddeviatie – Spreiding van de metingen

De standaarddeviatie geeft aan hoe sterk de individuele meetwaarden afwijken van het gemiddelde. Een hoge standaarddeviatie betekent dat de meetwaarden sterk fluctueren, terwijl een lage standaarddeviatie duidt op een meer constante meting.

- Voor PM2.5 is de standaarddeviatie 20,11  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , wat relatief hoog is ten opzichte van het gemiddelde van 16,11  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .
- Voor PM10 is de standaarddeviatie 17,19  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , eveneens aanzienlijk in verhouding tot het gemiddelde van 17,16  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Dit geeft aan dat de meetwaarden sterk verspreid zijn rond het gemiddelde en een hoge variabiliteit vertonen bij zowel PM2.5 als PM10. Deze grote spreiding kan worden veroorzaakt door wisselende externe factoren zoals weeromstandigheden, verkeersdrukke en lokale emissies.

## Variatiecoëfficiënt – Relatieve spreiding

De variatiecoëfficiënt (VC) drukt de standaarddeviatie uit als percentage van het gemiddelde en maakt datasets beter vergelijkbaar, zelfs als ze verschillende eenheden of schalen hebben.

- Voor PM2.5 is de VC 117,15%. Voor PM10 is de VC 106,74%.

Een variatiecoëfficiënt (VC) boven de 100% betekent dat de spreiding in verhouding tot het gemiddelde hoog is. Dit duidt op een dataset waarin de fijnstofconcentraties aanzienlijk fluctueren ten opzichte van hun gemiddelde waarden.

## Gemiddelde absolute afwijking – Hoeveel meetwaarden afwijken van het gemiddelde

De gemiddelde absolute afwijking (GAA) meet de gemiddelde afwijking van individuele metingen ten opzichte van het gemiddelde, zonder dat extreme waarden onevenredig veel invloed hebben (in tegenstelling tot de standaarddeviatie).

- Voor PM2.5 is de GAA 12,13  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , wat aangeeft dat meetwaarden gemiddeld ruim 12  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  afwijken van het gemiddelde van 16,11  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .
- Voor PM10 is de GAA 13,24  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , wat betekent dat de afwijkingen gemiddeld iets groter zijn dan bij PM2.5.

Hoewel deze waarden hoog lijken, is dit niet ongebruikelijk bij fijnstofmetingen, gezien de dynamische omgevingsfactoren die de luchtkwaliteit beïnvloeden.



### Z-score stabiliteit – Consistentie van de dataset

De Z-score stabiliteit meet hoeveel procent van de metingen binnen  $\pm 2$  standaarddeviaties van het gemiddelde valt. Dit is een indicatie van hoe consistent de dataset is en of er extreme uitschieters zijn.

- Voor PM2.5 ligt 94,67% van de metingen binnen het verwachte bereik.
- Voor PM10 is dit 94,03%, wat duidt op een vergelijkbare stabiliteit.

Aangezien in een normaal verdeelde dataset ongeveer 95% van de waarden binnen dit bereik zou moeten vallen, bevestigt dit dat de fijnstofsensoren langs de Breemarsweg betrouwbare en stabiele metingen leveren, ondanks de natuurlijke variatie in luchtkwaliteit.

Validatieresultaten	Fijnstof PM2.5	Fijnstof PM10
Totaal aantal metingen	39.029	39.029
Valide metingen:	38.751 (99,29%)	38.751 (99,29%)
Gemiddelde:	16,1060 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	17,1642 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Standaarddeviatie:	20,1081	17,1919
Gemiddelde absolute afwijking:	12,1342	13,2370
Variatiecoëfficiënt:	117,15%	106,74%
Z-score stabiliteit ( $\pm 2$ std):	94,67%	94,03%

### Conclusie van de validatie

De validatieresultaten tonen aan dat de sensoren langs de Breemarsweg een hoge mate van betrouwbaarheid hebben, met een validiteitspercentage van 99,29% voor zowel PM2.5 als PM10. Hoewel de spreiding groot is, zoals blijkt uit de hoge standaarddeviatie en variatiecoëfficiënt, is dit typerend voor fijnstofmetingen en wordt het verklaard door externe factoren zoals meteorologie en verkeersdrukke.

De hoge Z-score stabiliteit bevestigt dat de sensordata grotendeels binnen een normaal verwachte bandbreedte valt, wat wijst op een consistente dataset zonder grote meetfouten. Dit betekent dat de metingen een betrouwbare basis vormen voor verdere analyse en beleidsontwikkeling gericht op luchtkwaliteit.

# Koppeling van winddata

In deze stap van het onderzoek worden de gevalideerde fijnstofmetingen van de zeven fijnstofsensoren langs de Breemarsweg gekoppeld aan de meteorologische gegevens van het KNMI-weerstation Twente. Deze integratie maakt het mogelijk om de invloed van weersomstandigheden, zoals windrichting en windsnelheid, op de gemeten fijnstofconcentraties (PM2.5 en PM10) te analyseren.

Om de datasets op een consistente manier te combineren en betrouwbare analyses uit te voeren, zijn de volgende methodologische stappen gevolgd:

## Tijdssynchronisatie

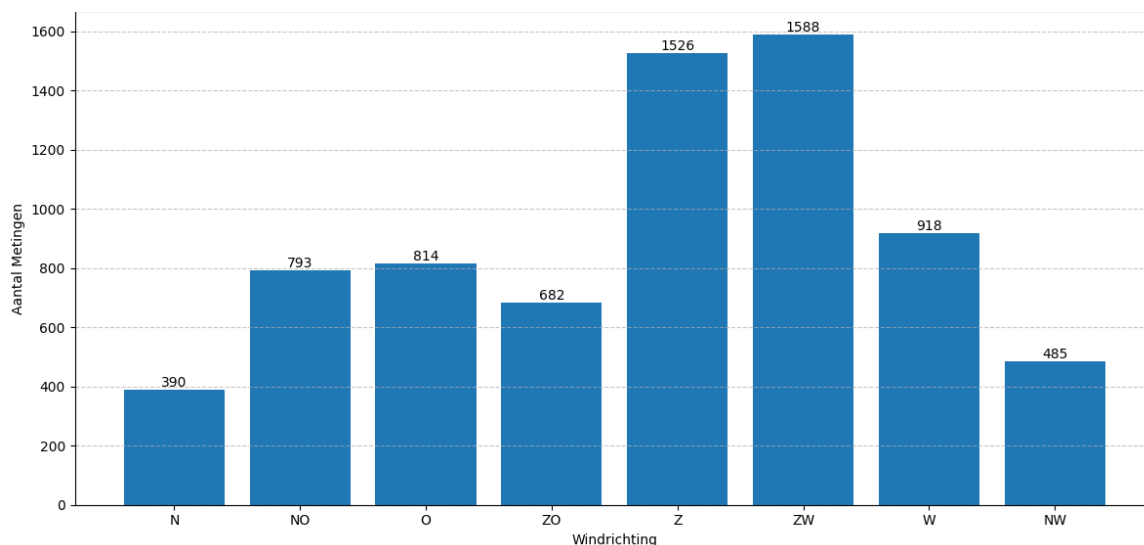
De metingen van beide datasets zijn gesynchroniseerd op precies dezelfde tijdstippen. Alle tijdstempels zijn afgerond naar het dichtstbijzijnde half uur. Hierdoor kunnen fijnstofmetingen direct worden gekoppeld aan windgegevens die op exact hetzelfde moment zijn verzameld.

## Windrichtingen classificeren

Windrichtingen in graden zijn vertaald naar begrijpelijke windstreken. Bijvoorbeeld: 360 graden = Noord (N), 90 graden = Oost (O), enzovoort. Deze indeling maakt de gegevens eenvoudiger te interpreteren en te analyseren.

## Gecombineerde dataset

De grafiek toont het aantal fijnstofmetingen per windrichting in de gecombineerde dataset, waarin fijnstofmetingen zijn gekoppeld aan windgegevens. Hieruit blijkt dat de wind het vaakst uit het zuidwesten (ZW) en zuiden (Z) komt, met respectievelijk 1.588 en 1.526 metingen. De minst voorkomende windrichting is noord (N) met 390 metingen. Door deze gegevens te combineren met de fijnstofconcentraties kunnen we analyseren of bepaalde windrichtingen samenhangen met verhoogde luchtverontreiniging, wat kan wijzen op invloed van externe emissiebronnen.



Figuur 3 Totaal aantal fijnstofmetingen per windrichting.

sensor_name	reading_time	pm2_5	pm10	temperature	humidity	location_name	latitude	longitude	matching_time	windrichting_sn	wind_speed
4307	2024-05-29 19:57:44	5.342932	5.342930	18.42	74.09	Locatie 7	52.253342	6.778931	2024-05-29 19:00:00	ZW	2.0
3011	2024-11-01 20:47:16	74.005096	110.837372	12.20	87.38	Locatie 2	52.252465	6.785443	2024-11-01 20:00:00	W	3.0
4307	2024-08-15 23:07:46	6.246194	6.246192	23.43	65.62	Locatie 7	52.253342	6.778931	2024-08-15 23:00:00	ZW	2.0
3011	2024-11-06 06:38:02	61.602425	67.298820	5.26	84.61	Locatie 2	52.252465	6.785443	2024-11-06 06:00:00	ZW	1.0
3011	2024-06-09 19:40:55	5.361620	5.361621	17.69	54.59	Locatie 2	52.252465	6.785443	2024-06-09 19:00:00	W	5.0
4308	2024-09-01 18:59:10	9.254994	9.254990	28.24	55.69	Locatie 4	52.251496	6.790394	2024-09-01 18:00:00	O	3.0
4307	2024-05-08 16:29:24	19.981977	20.138342	24.58	57.20	Locatie 7	52.253342	6.778931	2024-05-08 16:00:00	NW	4.0
4305	2024-11-25 13:09:34	3.602417	4.433214	17.31	69.50	Locatie 3	52.250938	6.800962	2024-11-25 13:00:00	ZW	7.0
3011	2024-09-02 16:22:58	18.663769	18.663774	34.54	53.99	Locatie 2	52.252465	6.785443	2024-09-02 16:00:00	ZO	2.0
4304	2024-08-13 23:20:42	8.372232	8.372231	24.99	58.43	Locatie 6	52.251213	6.800522	2024-08-13 23:00:00	O	3.0

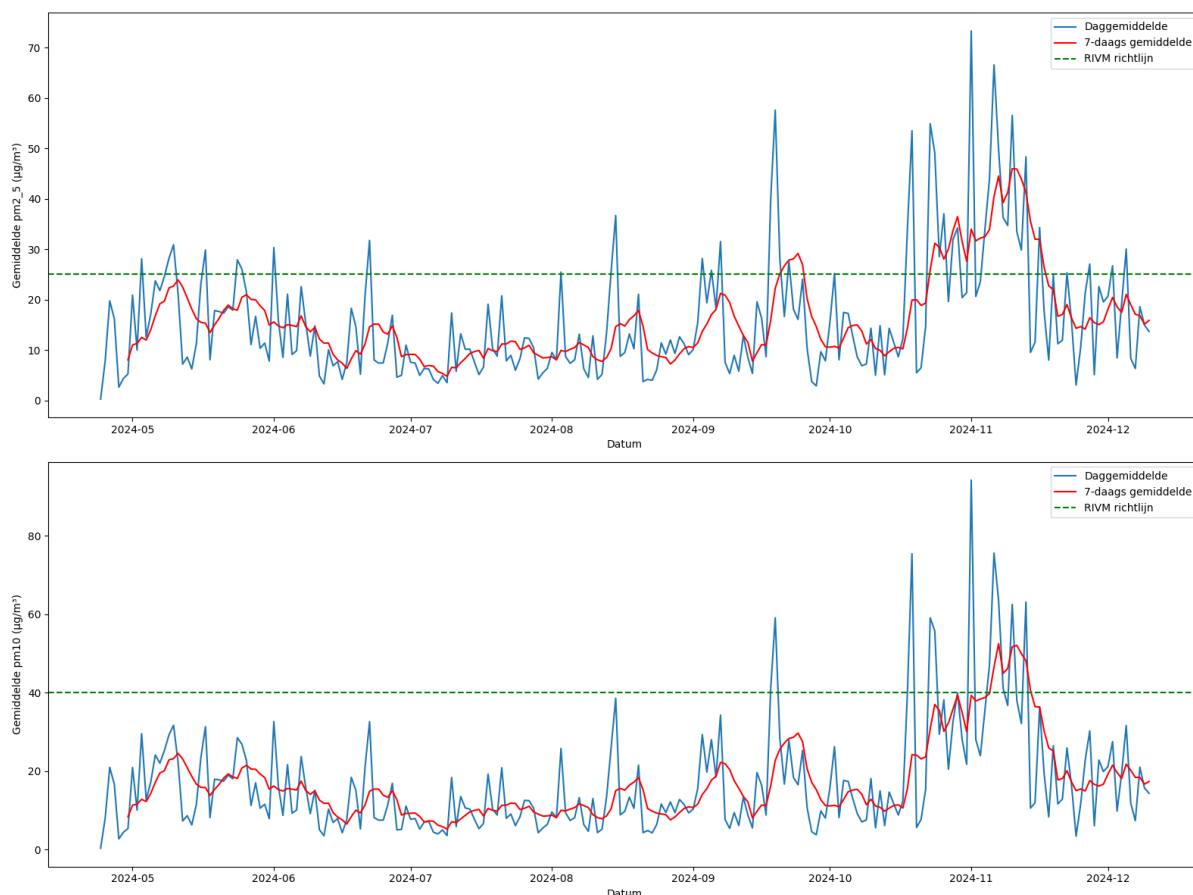
Tabel 4: Voorbeeld van de gecombineerde dataset.

# Analyse van verhoogde PM2.5- en PM10-waarden

De onderzoeksvraag richt zich op het verband tussen windrichting, windsnelheid en de verhoogde PM2.5- en PM10-waarden in de periode van april tot november 2024. Om dit verband te onderzoeken, analyseren we eerst de concentraties van PM2.5 en PM10 gedurende deze periode.

## Gemiddelde concentraties PM2.5 en PM10

In Figuur 4 worden de gemiddelde PM2.5- en PM10-concentraties van de sensoren aan de Breemarsweg weergegeven, waarbij zowel daggemiddelden als 7-daagse gemiddelden zijn gevisualiseerd. De figuur bevat tevens de door het RIVM voorgeschreven grenswaarden voor luchtkwaliteit (<https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2014-0050.pdf>).



Figuur 4 Gemiddelde PM2.5 en PM10 over meetperiode.

## Opvallende waarnemingen

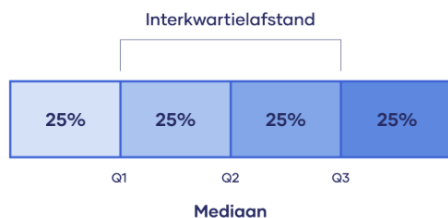
De concentraties overschrijden regelmatig de grenswaarden, met name de PM2.5-waarden.

Daggemiddelden vertonen aanzienlijke variatie ten opzichte van het 7-daagse gemiddelde, wat wijst op een hoge dagelijkse fluctuatie.

Naarmate de meetperiode vordert, stijgen de gemiddelde waarden geleidelijk. Deze maandelijkse variatie kan wijzen op een mogelijk seizoensgebonden effect.

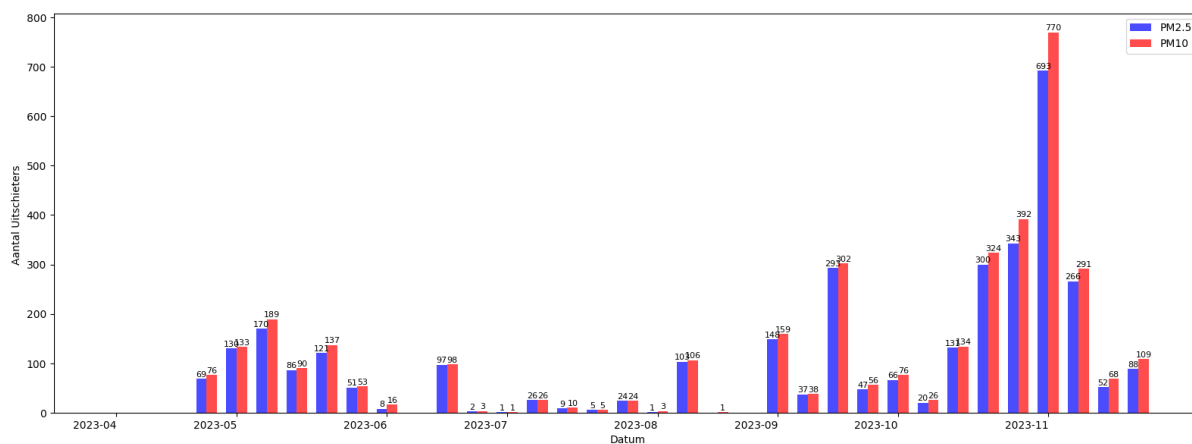
## Analyse van verhoogde PM2.5- en PM10-waarden

Om de verhoogde waarden nauwkeuriger in kaart te brengen, maken we gebruik van het concept van uitschieters. Uitschieters zijn meetwaarden die significant afwijken van het typische patroon van de dataset. We gebruiken de *Interkwartielafstand (IQR)* om te bepalen wat als normaal wordt beschouwd en wat als uitschieter wordt aangemerkt. De IQR meet het bereik tussen de waarden die de middelste 50% van de data omsluiten. Als een waarde ver buiten dit bereik valt, beschouwen we het als een uitschieter.



Figuur 5 Visualisatie van interkwartielafstand

In Figuur 6 wordt het aantal uitschieters per week weergegeven over de meetperiode.



Figuur 6 Aantal uitschieters per week.

## Belangrijkste bevindingen

- Uitschieters zijn het hele jaar door aanwezig, maar het aantal neemt sterk toe in de maand november.
- Dit patroon suggereert dat er een combinatie van factoren meespeelt die specifiek in deze periode leiden tot hogere concentraties fijnstof.

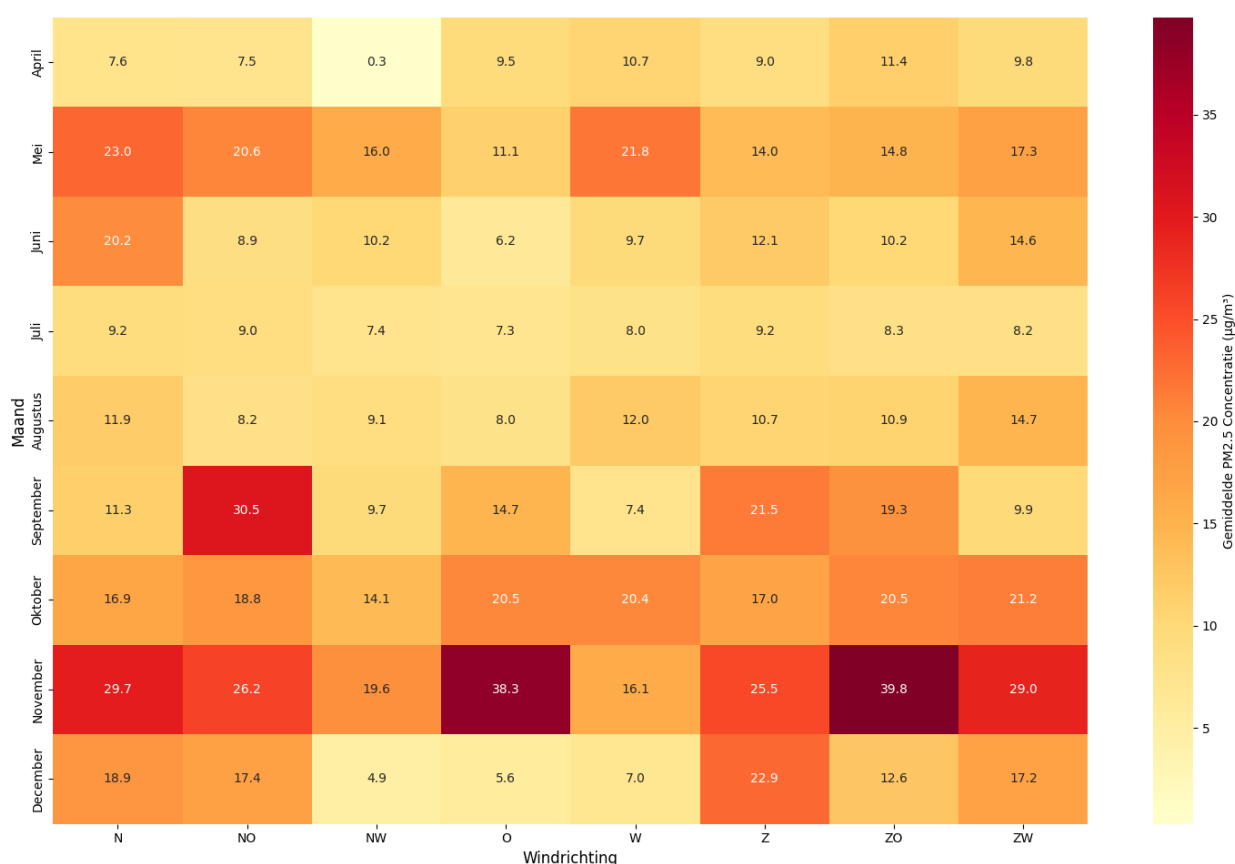
Nu de verhoogde PM2.5- en PM10-waarden en hun verspreiding over de meetperiode zijn geanalyseerd, richten we ons op het identificeren van verbanden met windrichting en windsnelheid.

## Verband tussen winddata en luchtkwaliteit

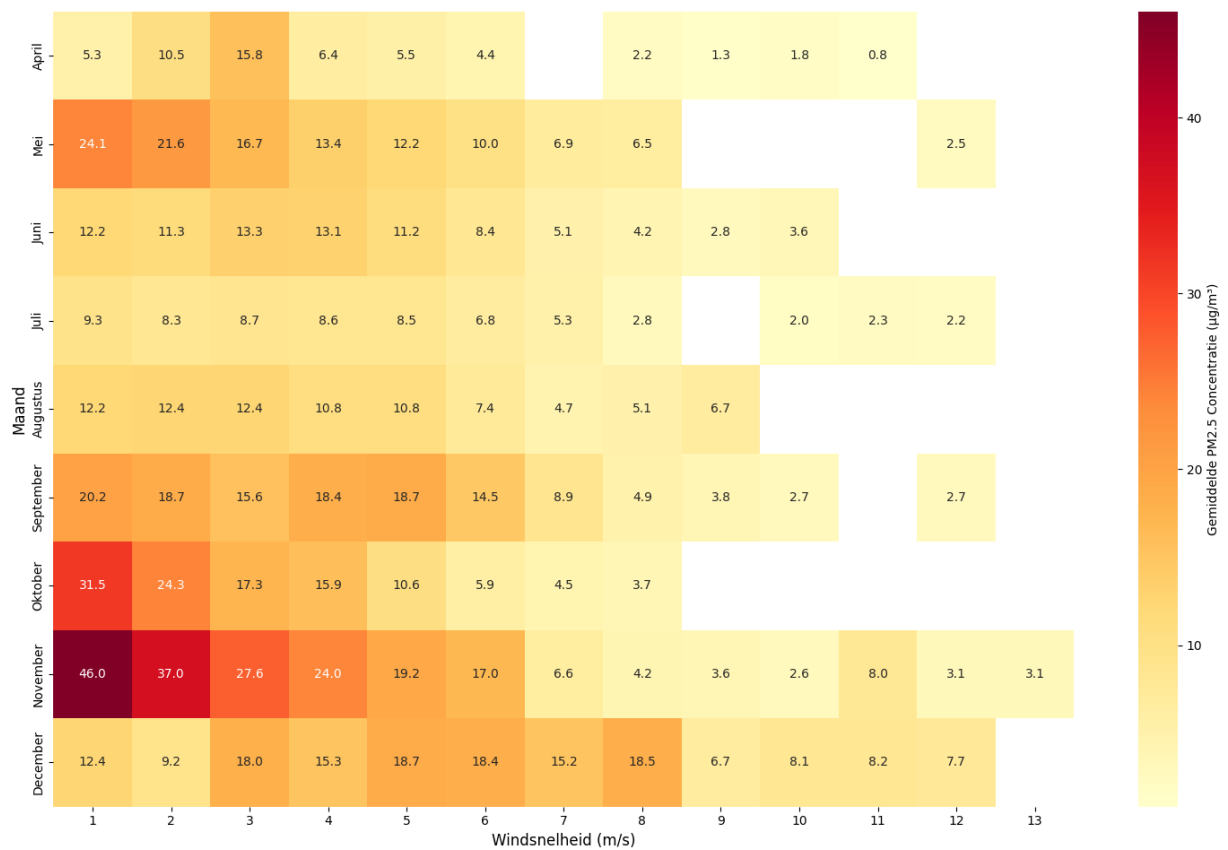
Om een verband tussen de winddata en de luchtkwaliteitswaarden aan te tonen, beginnen we met het analyseren van de windrichting en windsnelheid in onze dataset. In *Figuur 7* is de gemiddelde PM2.5-concentraties per maand ten opzichte van de windrichting te zien.

Uit deze heatmap valt op dat de PM2.5-concentraties per maand en windrichting aanzienlijk variëren. De hoogste concentraties komen voor in de herfst- en wintermaanden, met november als piekmaand. Zuidoostelijke en oostelijke winden worden geassocieerd met de hoogste waarden, wat het patroon bevestigt dat we ook in *Figuur 4* en *Figuur 6* zagen.

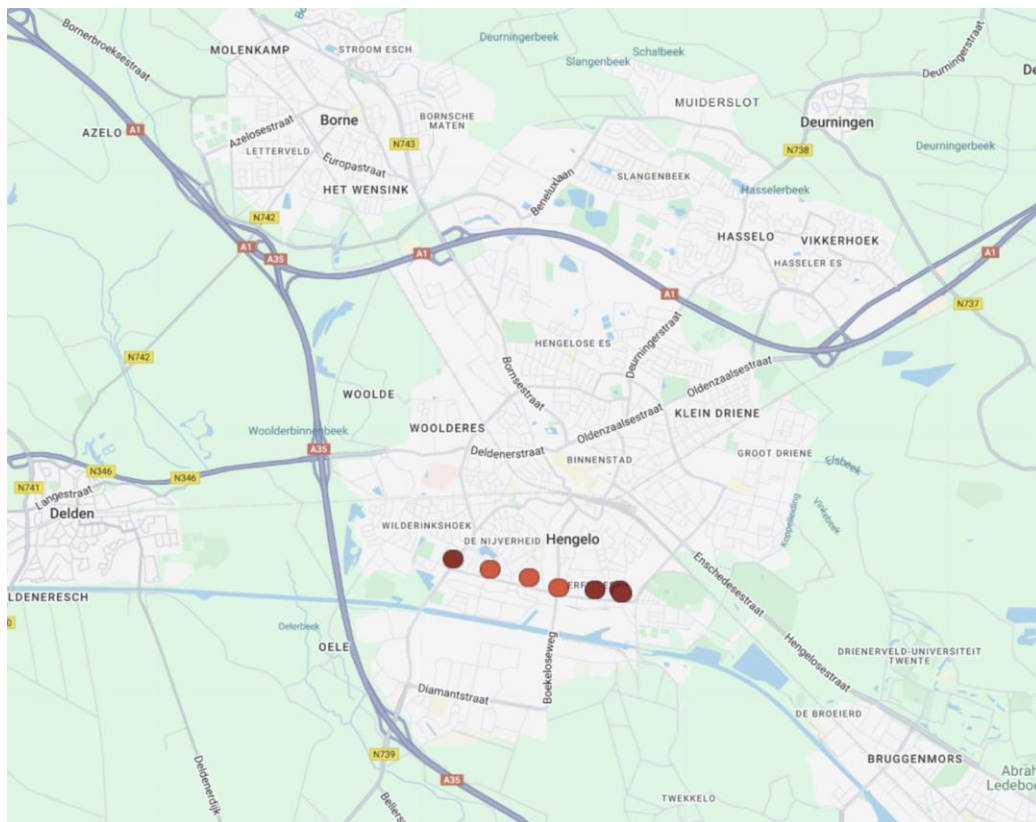
Ook wanneer we de gemiddelde PM2.5-concentratie per maand tegen de windsnelheid plotten, zie *figuur 8*, zien we dat de waarden toenemen richting de wintermaanden. Wat opvalt, is dat de concentraties in november juist hoger zijn bij lagere windsnelheden.



*Figuur 7 Gemiddelde PM2.5 concentratie per maand en windrichting.*



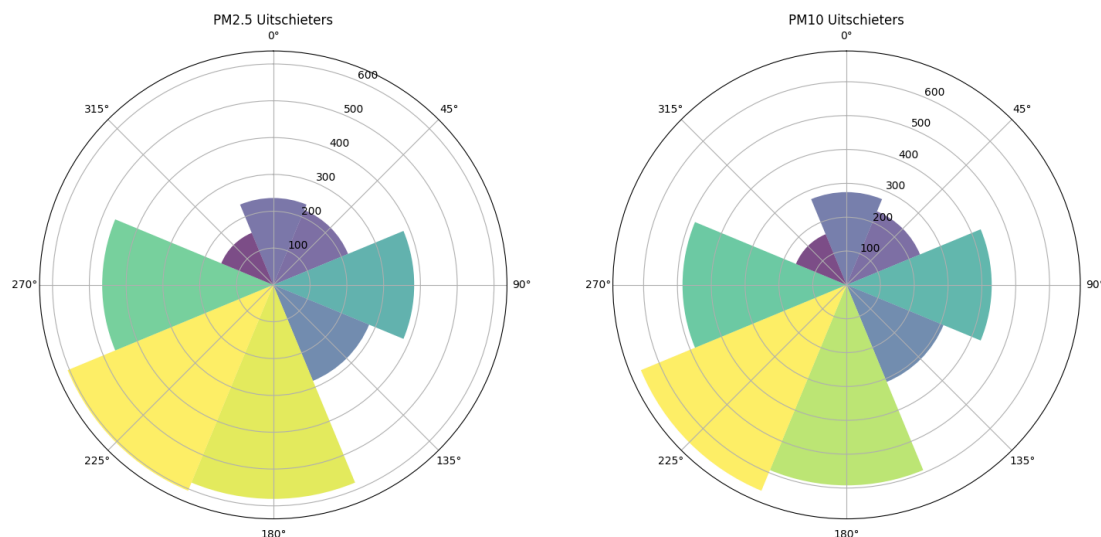
Figuur 8 Gemiddelde PM2.5 concentratie per maand en windsnelheid.



Figuur 9 Locaties van sensoren Breemarsweg Hengelo



Om verder te onderzoeken, kijken we naar de uitschieters die we in *Figuur 6* hebben vastgesteld en hoe deze zich verhouden tot de windrichting. In *Figuur 10* worden de uitschieters van PM2.5 en PM10 weergegeven in relatie tot de windrichting voor alle locaties samen. Voor zowel PM2.5 als PM10 lijken zuidwestelijke tot westelijke winden dominant te zijn in het veroorzaken van uitschieters. Dit suggereert dat vervuilingsbronnen mogelijk in deze richtingen liggen. Oostelijke en noordoostelijke winden daarentegen laten minder uitschieters zien, wat kan wijzen op schonere lucht uit deze richtingen.

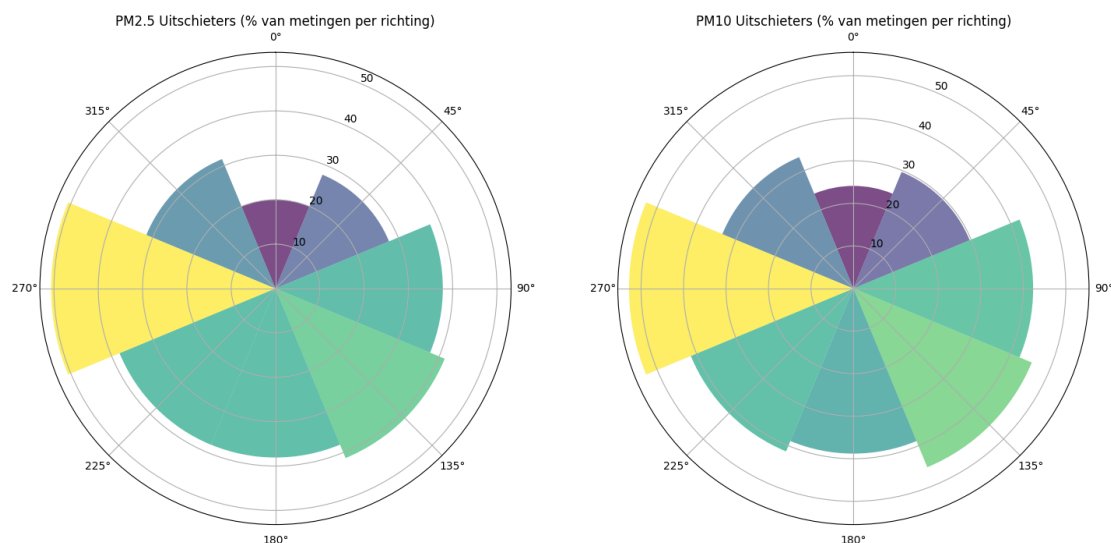


*Figuur 10 Aantal uitschieters per windrichting.*

### Genormaliseerde analyse van uitschieters per windrichting

Om beter te begrijpen welke windrichtingen vaker leiden tot hoge fijnstofconcentraties, is een grafiek gemaakt waarin de uitschieters per windrichting zijn vergeleken op een eerlijke manier. Omdat sommige windrichtingen vaker voorkomen dan andere, is hiervoor gecorrigeerd. Dit zorgt ervoor dat we niet alleen kijken naar het totaal aantal uitschieters, maar ook naar hoe vaak ze voorkomen in verhouding tot het aantal metingen per windrichting.

Uit *Figuur 10* blijkt dat de meeste uitschieters voorkomen bij windrichtingen tussen 90 en 270 graden (van oost tot west). Dit sluit aan bij eerdere bevindingen die erop wijzen dat er mogelijk vervuilingsbronnen in deze richtingen liggen. Door deze correctie wordt duidelijk dat deze windrichtingen relatief vaker samenhangen met hoge fijnstofwaarden dan andere richtingen.



*Figuur 11 Aantal uitschieters per windrichting genormaliseerd.*

# Conclusie

De resultaten van dit onderzoek bevestigen dat er een duidelijk verband bestaat tussen weersomstandigheden en luchtkwaliteitsmetingen. Door de gedetailleerde analyse van windrichting, windsnelheid en de concentraties fijnstof (PM2.5 en PM10), zijn verschillende belangrijke bevindingen naar voren gekomen:

## Effect van windrichting

De genormaliseerde waarden bevestigen dat westelijke windrichtingen (W) de hoogste percentages uitschieters laten zien, met PM2.5-waarden van 50,65% en PM10-waarden van 52,83%. Daarnaast zijn ook zuidoostelijke (ZO) richtingen prominent geassocieerd met verhoogde fijnstofconcentraties. Hoewel zuidoostelijke winden in eerdere analyses al als belangrijk werden geïdentificeerd, tonen de genormaliseerde resultaten dat westelijke winden zelfs nog sterker bijdragen aan verhoogde fijnstofconcentraties.

Deze trend kan wijzen op mogelijke vervuillingsbronnen in westelijke richting, zoals verkeer of industriële emissies. Echter, op basis van de huidige dataset is nog geen directe bronanalyse uitgevoerd. Verder onderzoek naar de exacte oorzaak van deze verhoogde fijnstofwaarden is nodig, bijvoorbeeld door de invloed van lokale infrastructuur en emissiebronnen in deze richtingen nader te analyseren.

## Invloed van windsnelheid

De analyse van de windsnelheid toont aan dat tijdens perioden met lagere windsnelheden, met name in november, de concentraties PM2.5 aanzienlijk hoger zijn. Dit duidt op een verminderde verdunning en verspreiding van vervuiling in de lucht. De genormaliseerde waarden benadrukken echter dat windrichting ook een belangrijke variabele is. Bijvoorbeeld, bij lage windsnelheden worden westelijke en zuidoostelijke richtingen extra significant in termen van verhoogde fijnstofconcentraties. Dit impliceert dat de combinatie van een ongunstige windrichting en een lage windsnelheid de luchtkwaliteit verder kan verslechteren.

## Seizoensgebonden effecten

De fijnstofconcentraties nemen duidelijk toe in de herfst- en wintermaanden, met een uitgesproken piek in november. Dit is waarschijnlijk te wijten aan seizoensgebonden factoren, zoals het verhoogde energieverbruik voor verwarming, bijvoorbeeld door het gebruik van houtkachels, en meteorologische omstandigheden die vervuiling vasthouden. De combinatie van deze factoren zorgt ervoor dat fijnstof minder snel verdunt en langer in de onderste luchtlagen blijft hangen, wat leidt tot hogere concentraties gedurende de wintermaanden. De genormaliseerde waarden tonen dat in deze maanden niet alleen de fijnstofconcentraties stijgen, maar dat windrichtingen vanuit het westen en zuidoosten ook een disproportioneel hoog aantal uitschieters laten zien. Dit benadrukt dat naast seizoensgebonden factoren ook de richting van luchtstromen een versterkend effect kan hebben op de concentraties fijnstof in de herfst- en wintermaanden.

## Uitschieters

Gedurende de onderzoeksperiode zijn er regelmatig uitschieters in de fijnstofmetingen waargenomen. Deze uitschieters zijn het meest prominent aanwezig in de herfst- en wintermaanden, wat wijst op periodes met abnormaal hoge concentraties fijnstof. De genormaliseerde data laten zien dat de uitschieters niet gelijk verdeeld zijn over alle windrichtingen. Westelijke winden (W) hebben verhoudingsgewijs de meeste uitschieters, met PM10-waarden van 52,83% en PM2.5-waarden van 50,65%, gevolgd door zuidoostelijke winden (ZO). Dit wijst erop dat specifieke bronnen van vervuiling, zoals verkeer of industriële emissies, mogelijk in deze richtingen liggen. De combinatie van deze data met seizoensgebonden effecten geeft beleidsmakers inzicht in mogelijke interventies, zoals het reguleren van verkeersstromen, het evalueren van industriële emissies en het monitoren van de impact van houtstook in de wintermaanden.

### **Algemene conclusie**

De genormaliseerde analyse van windrichtingen bevestigt dat westelijke en zuidoostelijke winden disproportioneel bijdragen aan verhoogde fijnstofconcentraties en uitschieters. Specifieke aandacht voor deze richtingen, in combinatie met periodes met lage windsnelheden en seizoensgebonden effecten, kan bijdragen aan het formuleren van meer gerichte en effectieve beleidsmaatregelen.

## **Aanbevelingen**

Indien dit onderzoek wordt voortgezet om een duidelijker beeld te schetsen van de invloed van meteorologische omstandigheden op de luchtkwaliteit in Hengelo, kunnen de volgende stappen worden overwogen:

### **Bredere analyse**

We raden aan om een diepgaandere analyse uit te voeren op uur-, dag- en seizoen niveau om beter inzicht te krijgen in de variabiliteit van luchtkwaliteit. Dit kan worden gedaan door middel van correlatie- en trendanalyses, evenals clusteranalyses die helpen om terugkerende patronen tussen meteorologische omstandigheden en fijnstofconcentraties te identificeren.

### **Lokale monitoring verbeteren**

Voor een betere correlatie tussen meteorologische gegevens en luchtkwaliteit metingen is het essentieel om een weerstation dicht bij de luchtkwaliteitssensoren te plaatsen. Dit zorgt voor representatievere data over lokale weersomstandigheden. Daarnaast kan een hogere meetfrequentie van meteorologische variabelen helpen om kortstondige schommelingen in windrichting en windsnelheid beter te koppelen aan fijnstofmetingen.

### **Herziening van sensorlocaties en aantallen**

De luchtkwaliteitssensoren bevinden zich momenteel allemaal langs de Breemarsweg in Hengelo, wat een beperkt beeld geeft van de ruimtelijke variatie van luchtkwaliteit. Voor een grondigere analyse wordt aanbevolen om het aantal sensoren uit te breiden en strategisch te herpositioneren, bijvoorbeeld in woonwijken met veel houtstook, industriële gebieden en landelijke zones. Het gebruik van mobiele meetstations kan helpen om tijdelijke metingen op verschillende locaties uit te voeren en zo een vollediger inzicht te krijgen in lokale variaties.

### **Verlenging van de meetperiode**

De huidige meetperiode is te kort om de impact van seizoensgebonden effecten volledig te begrijpen. Een langere meetperiode is noodzakelijk, idealiter gedurende een volledig kalenderjaar of meerdere jaren, om de invloed van lange termijn factoren zoals temperatuurinversies, verhoogd energieverbruik in de winter en trends in luchtkwaliteit beter te kunnen analyseren. Daarnaast maakt een langere meetperiode het mogelijk om beleidsmaatregelen, zoals restricties op houtstook of verkeersregulering, te evalueren en hun effectiviteit te meten.

### **Disclaimer**

*Deze data-analyse is met de grootst mogelijke zorg uitgevoerd door SmartCity-IoT, waarbij de beschreven methodologie als uitgangspunt is genomen. De resultaten bieden inzichten in de relatie tussen weersomstandigheden en luchtkwaliteit, maar dienen te worden beschouwd als een eerste analytische stap. Voor een definitieve bevestiging van de bevindingen is validatie door een onafhankelijke, gespecialiseerde externe partij aanbevolen. Er kunnen daarom geen rechten worden ontleend aan dit onderzoek zonder aanvullende verificatie en onderbouwing.*