



1^e Rapportage Hollandse Luchten colocatie onderzoek naar de kwaliteit van Sodaq PM2.5 sensorkastjes

In opdracht van:

Provincie Noord-Holland
Houtplein 33
Haarlem

Amsterdam, augustus 2024

Auteur: T. A. Koster

GGD Amsterdam
Afdeling Leefomgeving, team Milieu & Gezondheid en team Luchtkwaliteit
Postbus 2200
1000 CE AMSTERDAM

© GGD, Amsterdam, Nederland. Alle rechten voorbehouden.

GGD Amsterdam en/of de met haar gelieerde maatschappijen zijn niet aansprakelijk voor enige directe indirecte, bijkomstige of gevolgschade ontstaan door of bij het gebruik van de informatie of gegevens uit dit document, of door de onmogelijkheid die informatie of gegevens te gebruiken. De inhoud van dit rapport mag aan derden niet anders dan als één geheel worden ontsloten, voorzien van bovengenoemde aanduidingen met betrekking tot auteursrechten en aansprakelijkheid.

Inhoud

Afkortingen	2
1. Inleiding	3
1.1 Projectomschrijving Hollandse Luchten.....	3
1.2 Meetstations	3
2. Methoden.....	4
2.1 Meetapparatuur	4
2.3 Meetstrategie.....	5
2.2 Analyse meetresultaten	5
2.3 Validatie Meetresultaten	6
3. Resultaten	7
3.1 Data capture.....	7
3.2 Verloop daggemiddelde PM _{2.5} concentratie.....	8
3.3 Correlatie PM _{2.5} metingen LML met Sondaq sensors	10
3.4 Correlatie PM _{2.5} metingen referentie met Sondaq sensorkastjes	12
3.5 Correlatie Sondaq sensorkastjes onderling	13
3.6 Invloed van luchtvochtigheid en temperatuur	13
4. Conclusies	14
5. Bijlage.....	16
5.1 Figuren analyse PM _{2.5} metingen sensorkastjes en LML	16
5.2 Figuren analyse PM _{2.5} metingen sensorkastjes en referentie	22
5.3 Figuren analyse PM _{2.5} metingen Sondaq sensorkastjes onderling	24
5.4 Figuren analyse invloed luchtvochtigheid en temperatuur	27

Afkortingen

HL	=	Hollandse Luchten
LML	=	Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit, in grafieken en tabellen gebruikt om de officiële metingen aan te duiden.
REF	=	Referentiemetingen PM _{2.5} dmv weging van filters met opgevangen fijnstof.
PM _{2.5}	=	Particulate matter 2.5, fijnstofdeeltjes met diameter <2,5 micrometer
PM ₁₀	=	Particulate matter 10, fijnstofdeeltjes met diameter <10 micrometer
RH	=	Relative Humidity of relatieve luchtvochtigheid

1. Inleiding

In de afgelopen jaren wordt er door bewoners, overheden en bedrijven steeds vaker gebruikt gemaakt van zogenoemde “smart sensors” voor het meten van luchtvervuiling. Deze sensors zijn over het algemeen kleiner, goedkoper in aanschaf en flexibeler in plaatsing dan de traditionele gecertificeerde monitors die in het landelijk Luchtmeetnet worden toegepast.

In deze rapportage wordt een tussentijdse analyse gedaan naar de kwaliteit van de smart sensors die worden toegepast in het project Hollandse Luchten. De kwaliteit is voornamelijk bepaald door enkele Sodaq Air fijnstofsensorkastjes (1^e en 2^e generatie) op het dak van twee meetstations, beheerd door de GGD Amsterdam, te plaatsen. De meetresultaten van de sensoren zijn vervolgens vergeleken met die van de officiële monitor(en) in de meetstations. De meetlocaties zijn gelegen in Zaandam (locatie Wagenschotpad – nr. 701) en in Beverwijk (locatie Creutzberglaan – nr. 570).

1.1 Projectomschrijving Hollandse Luchten

Hollandse Luchten is een burgerwetenschap project dat wordt georganiseerd vanuit de Provincie Noord-Holland. Hierbij voeren bewoners in meetgroepen op verschillende locaties in Noord-Holland fijnstofmetingen uit met low-cost sensoren, om lokale meetvragen te beantwoorden en in gesprek te raken met beleidsmakers. Het doel van het project is om “met burgerwetenschap een situatie te creëren waarin bewoners, overheden, experts en het bedrijfsleven samen kennis opbouwen, dialoog voeren en handelingsperspectieven verbeteren voor een gezonde leefomgeving” (<https://hollandse-luchten.org/>).

1.2 Meetstations

Afbeelding 1. Weergave van de Hollandse Luchten kaart met de locaties van het GGD luchtmeetstation en de meegenomen sensors (links: Beverwijk, rechts: Zaandam).



Binnen het luchtmeetnet worden meetstations gecategoriseerd op basis van de verwachte uitstoot en bronnen die in de directe omgeving aanwezig zijn. De gebruikte meetstations zijn beiden gedefinieerd als een “stadsachtergrond” station, aangezien hier veel mensen wonen, maar er zijn naast het station geen drukke wegen, havens of industriegebieden.

Afbeelding 2. GGD meetstation in Beverwijk (links) en Zaandam (rechts) met geïnstalleerde sensors.



2. Methoden

2.1 Meetapparatuur

Op de meetlocatie Wagenschotpad (Zaandam) wordt PM_{2.5} gemeten met de Palas Fidas. Op de meetlocatie Creutzberglaan (Beverwijk) wordt PM_{2.5} gemeten met de Met-One BAM 1020 en de Palas Fidas. Op beide locaties zijn ook filterwegingen uitgevoerd waarmee de referentie PM_{2.5} concentratie (daggemiddelde) is bepaald. Alle metingen op de meetstations zijn uitgevoerd conform de Europese richtlijnen voor certificatie.

Op beide locaties zijn in de eerste helft van 2023 low-cost PM_{2.5} sensors opgehangen. Op de meetlocatie Wagenschotpad zijn twee 2^e generatie Sdaq Air sensorkastjes en één 1^e generatie Sdaq snuffelfiets sensorkastje opgehangen. Op de meetlocatie Creutzberglaan zijn twee 1^e generatie Sdaq snuffelfiets en twee 2^e generatie Sdaq Air sensorkastjes opgehangen. Beide sensorkastjes zijn ontwikkeld door het bedrijf Sdaq en zijn op de afbeeldingen hieronder weergegeven. Zowel de 1^e als de 2^e versie gebruiken een Sensirion SPS30 sensor om de PM_{2.5} concentratie te bepalen. Hiernaast bevatten deze apparaten sensors voor relatieve luchtvochtigheid en temperatuur. De Sdaq Air 2^e generatie is volgens de fabrikant een verbeterde versie van de 1^e generatie Sdaq Air. Beide sensoren zijn vooral voor mobiele metingen (op de fiets) ontwikkeld. De 2^e generatie Sdaq Air sensorkastjes kunnen ook stationair gebruikt worden, zoals ze op dit moment ook worden toegepast in het project Hollandse Luchten.

Afbeelding 3. Foto's van de geteste sensoren, met rechts 1^e generatie Sdaq snuffelfiets sensorkastjes en links 2^e generatie Sdaq Air sensorkastje.



In deze rapportage zijn de Sodaq Air sensorkastjes weergegeven met het bijbehorende sensornummer (zie afbeelding 1). De 1^e generatie Sodaq snuffelfiets sensorkastjes worden aangegeven met "OZK" en de automatische metingen van het meetstation met "LML".

2.3 Meetstrategie

De 2^e generatie Sodaq Air sensorkastjes bleken niet goed bestand tegen regen en moesten een extra behuizing krijgen voordat ze konden worden opgehangen. Het is nog niet bekend of deze behuizing invloed heeft op de metingen. Alle Sodaq Air sensorkastjes op de meetstations hebben dezelfde plastic behuizing. Hetzelfde design is gebruikt in de vorige fase van het project voor de zogenaamde HoLu sensorkit. De 1^e generatie Sodaq snuffelfiets sensorkastjes hadden geen behuizing nodig.

Afbeelding 4. Foto van 1^e generatie (onder) en 2^e generatie (boven) Sodaq sensorkastjes met behuizing opgehangen op het meetstation in Beverwijk.



De eerste resultaten die binnenkwamen van de (2^e gen) Sodaq Air vielen tegen op basis van de eerdere ervaringen met andere SPS030 sensoren en de 1^e gen Sodaq snuffelfiets, die binnen de behuizing nagenoeg dezelfde onderdelen zou moeten bevatten. Om het verschil tussen deze sensoren te testen zijn de 1^e generatie Sodaq snuffelfiets sensorkastjes later toegevoegd aan de eerder genoemde meetstations. Zo kan worden onderzocht hoe groot het verschil tussen de sensors is, en waar deze verschillen aan zouden kunnen liggen.

2.2 Analyse meetresultaten

Om te testen of de sensoren hetzelfde meten als de officiële apparatuur is onderzocht of de sensoren en de officiële meetapparaten op het zelfde moment pieken en dalen laten zien. Dat heet de correlatie en kan je bepalen door de R^2 te berekenen. Dat is een maat voor of de apparaten hetzelfde soort gedrag vertonen. R^2 kan variëren tussen 0 en 1. Bij een R^2 van 0 zit er geen verband tussen de metingen, ze pieken dan totaal op verschillende momenten, en tenminste een van de apparaten is dan waarschijnlijk onzin aan het meten. Als de meetresultaten juist wel precies op het zelfde moment pieken is de correlatie dicht bij de 1. Een correlatie die dichtbij de 1 zit betekent alleen niet dat de gemeten waarden ook op hetzelfde niveau waren. Bijvoorbeeld, 1 sensor meet in twee meetperioden eerst 10 en dan 20, en een 2^e sensor meet in dezelfde periode eerst 20 en dan 40. De R^2 zal dan 1 zijn, omdat de metingen met dezelfde hoeveelheid stegen op hetzelfde moment. Alleen meet de 2^e sensor twee keer zo hoog, maar dat kan je dus niet aan de R^2 aflezen. Daarom is ook gekeken naar de gemiddelde waardes over de hele meetperiode, om te controleren of de concentraties die de apparaten meten ook vergelijkbaar zijn.

2.3 Validatie Meetresultaten

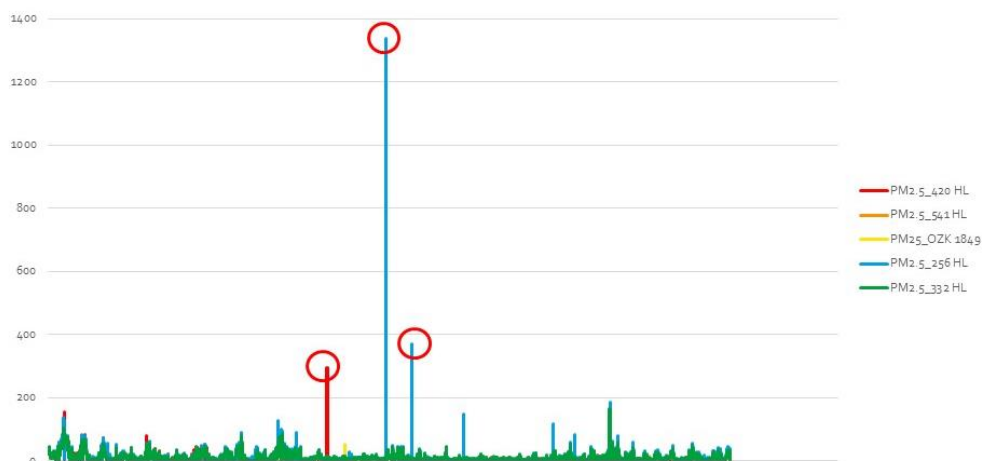
Uit de verzamelde uurwaarden zijn daggemiddelden berekend. Deze daggemiddelden zijn gebruikt om de R^2 te berekenen. Berekende uur- of daggemiddelden zijn afgekeurd wanneer die periode 30% of meer foute of missende metingen bevatte. Dus het daggemiddelde is weggelaten wanneer op die dag 7 uren van de 24 misten. Dit is iets minder streng dan de normale toegepaste minimale datacapture eis die de GGD Amsterdam hanteert. Hier is voor gekozen omdat het doel van dit rapport niet is om EU gecertificeerde jaarmetingen te publiceren en/of de gemeten concentraties met wettelijke normen te vergelijken.

De data bevatte soms negatieve waarden. Deze zijn weggehaald en genoteerd als een gemiste meting. Er is getest in hoeverre de negatieve waarden invloed hadden op de correlatie met de officiële metingen. De correlatieresultaten waren voor elke sensor beter wanneer de negatieve waarden werden weggehaald, dan wanneer deze onveranderd bleven, of werden veranderd in een nulwaarde.

De data vanaf het HL platform misten soms uren of hele periodes aan metingen (nadat de sensor al aan het meten was op het meetstation), die wel vastgelegd waren op het Samen Meten platform van het RIVM (<https://samenmeten.rivm.nl/dataportaal/>). In deze gevallen is de HL data aangevuld met Samen Meten data van dezelfde sensor. De HL data is toch gebruikt omdat deze decimalen bevat en dus iets preciezer is, waar de Samen Meten data op ronde getallen is afgerond.

Bij het exporteren van de sensordata bleken er op 3 dagen bij 2 verschillende sensoren in Zaandam sprake te zijn van enorm verhoogde concentraties die zeer sterk schommelden en niet op daadwerkelijke concentraties leken te zijn gebaseerd. Deze verhoogde concentraties waren namelijk niet zichtbaar in de officiële metingen, en ook niet in de metingen van de andere sensoren. Hier is dus geconcludeerd dat de individuele sensor op dat moment een fout heeft gemaakt, en om de rest van de analyse niet scheef te trekken is deze data verwijderd. Deze opvallende pieken zijn in de figuur hieronder weergegeven.

Figuur 1. Verloop van de uurgemiddelde PM_{2.5} metingen over de gehele meetperiode door de Sodaq sensors op locatie 701.



3. Resultaten

3.1 Data capture

Per sensor zijn de negatieve metingen en missende uurwaarden bij elkaar opgeteld om te controleren of de sensors constant hebben gemeten en niet vaak zijn uitgevallen. De resultaten hiervan zijn in de tabel hieronder weergegeven.

Tabel 1. Aantal gemiste metingen per sensor.

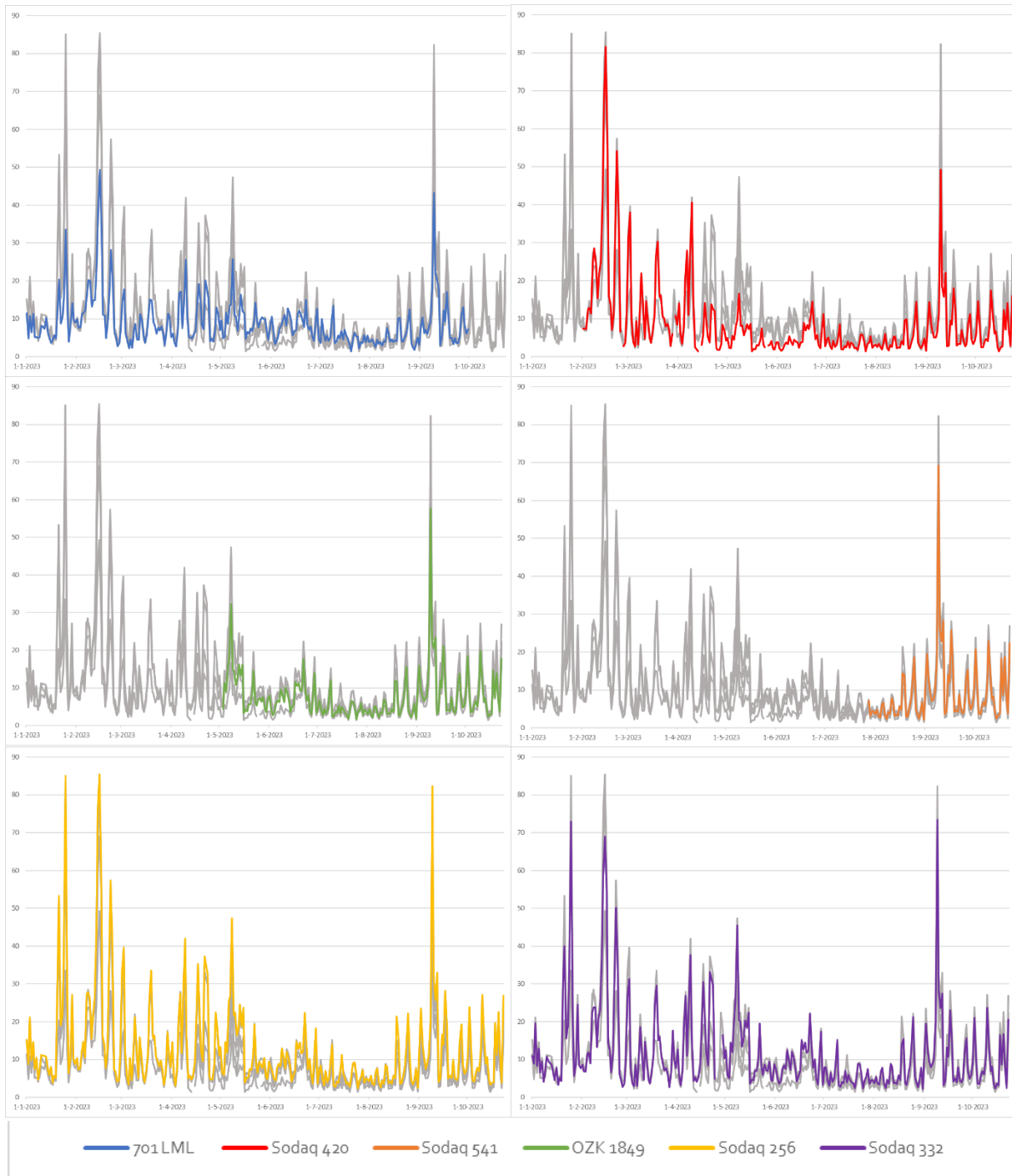
Locatie	Sensor	Metingen (n)	Gemiste metingen (n)	Missende data (%)
Zaandam	LML 701	5610	5	0,1%
	420	6096	99	1,6%
	541	2116	2	0,1%
	ozk1849	4197	29	0,7%
	256	6114	115	1,9%
	332	6176	179	2,9%
	Beverwijk	LML 570	5486	327
545		5847	24	0,4%
549		5847	34	0,6%
ozk1845		4201	71	1,7%
ozk1850		4199	416	9,9%
543		5705	80	1,4%
438		5705	76	1,3%

Het aantal missende metingen valt bij alle Sodaq sensorkastjes erg mee. Wanneer alle metingen van de sensoren worden samengenomen, is er sprake van 2% missing data. Dus gemiddeld kan je zeggen dat de datacapture van de sensors 98% was. Maar hierbij geldt wel dat er verschillen zijn tussen de sensors. Sensorkastje 541 heeft bijvoorbeeld maar 0,1% missing data, terwijl één van de 1^e generatie sensorkastjes (ozk1850) bijna 10% heeft gemist.

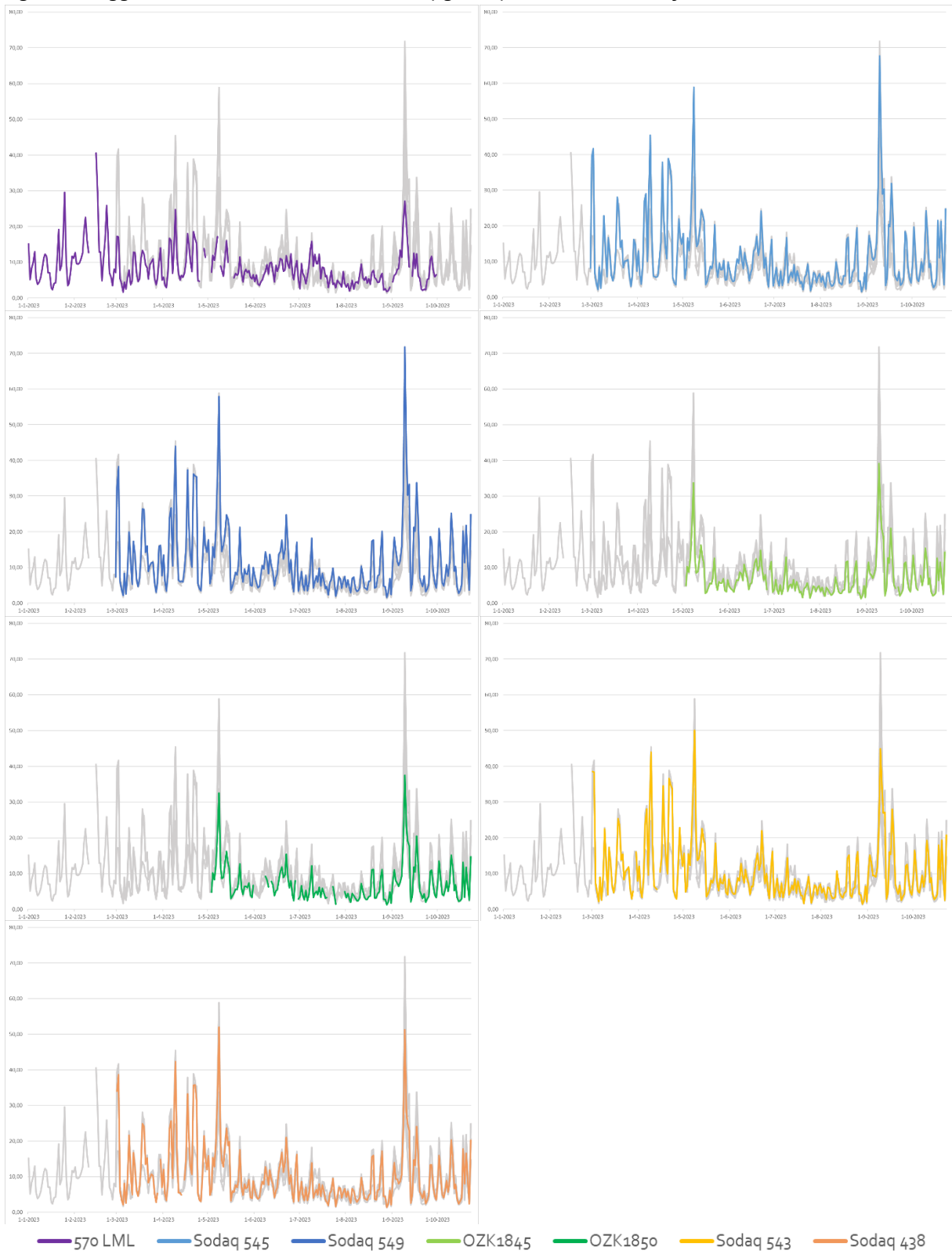
Ook opvallend is dat de officiële data nog aardig wat uren miste, voornamelijk op de locatie Beverwijk. Dit heeft onder andere te maken gehad met onderhoud aan de meetapparatuur. Daarbij missen er vaak data in de officiële metingen, omdat die uren nog niet gevalideerd waren toen deze analyse is uitgevoerd.

3.2 Verloop daggemiddelde PM2.5 concentratie

Figuur 2. Daggemiddelde concentraties PM2.5 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ op de locatie Zaandam.



Figuur 3. Daggemiddelde concentraties PM_{2.5} in µg/m³ op de locatie Beverwijk.



3.3 Correlatie PM2.5 metingen LML met Sodaq sensors

De correlatie tussen de verschillende metingen zijn bepaald door het berekenen van de determinatie coëfficiënt (R^2) op basis van daggemiddelde PM2.5 concentraties. De scatterplots waarmee de R^2 zijn bepaald zijn als figuren weergegeven in Bijlage 5.1. Hieronder zijn de berekende R^2 waarden, gemiddelde PM2.5 concentratie (in de gemeten periode) en het gemiddelde verschil tussen de sensormetingen en de officiële (LML) metingen weergegeven in tabellen, opgesplitst per meetlocatie. Niet alle sensorkastjes hadden dezelfde meetperiode, vandaar dat voor die sensors het LML gemiddelde verschilt van het totaal.

Om te testen of de werking van de sensorkastjes verschilt afhankelijk van de hoogte van de PM2.5 concentratie, is de dataset opgesplitst op basis van of de officiële metingen lage of hoge PM2.5 concentraties hadden gemeten (onder of boven de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Deze waarde is de WHO advieswaarde uit 2005. Deze is in 2021 herzien, maar er is toch voor dit afkappunt gekozen omdat er te weinig datapunten waren die onder de 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ zaten. Daarbij zullen de relatieve verschillen tussen metingen nog veel groter zijn bij zulke lage waarden. De scatterplots van deze opgesplitste groepen zijn ook weergegeven in bijlage 5.1.

Tabel 2. Vergelijking PM2.5 metingen Sodaq sensorkastjes en officiële monitors op het meetstation 701 in Zaandam.

	Periode	Gem. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Gem. LML ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Vershil gem. met LML (%)	R^2
701 LML	1/1 - 30/9	9,0			
Sodaq 420	1/2 - 30/9	8,9	9,0	-0,3%	0,77
Sodaq 541	28/7 - 30/9	9,1	7,4	23%	0,94
OZK 1849	3/5 - 30/9	7,6	7,7	-2,2%	0,92
Sodaq 256	1/1 - 30/9	13,4	9,0	49%	0,90
Sodaq 332	1/1 - 30/9	12,0	9,0	33,5%	0,90

Tabel 3. Vergelijking PM2.5 metingen Sodaq sensorkastjes en officiële monitors op het meetstation 570 in Beverwijk.

	Periode	Gem. ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Gem. LML ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Vershil gem. met LML (%)	R^2
570 LML	28/2 - 30/9	7,9	7,9	-	1,00
Sodaq 545	28/2 - 30/9	11,7	7,9	49%	0,73
Sodaq 549	28/2 - 30/9	11,9	7,9	51%	0,73
OZK 1845	3/5 - 30/9	7,1	7,3	-3%	0,71
OZK 1850	3/5 - 30/9	7,2	7,3	-3%	0,69
Sodaq 543	1/3 - 30/9	10,8	7,9	37%	0,72
Sodaq 438	1/3 - 30/9	10,5	7,9	33%	0,74

In Zaandam was de R^2 tussen de sensormetingen en de automatische metingen van het LML vrij goed (0,77 - 0,94). Het gemiddelde week wel erg af, behalve voor sensor 420 die daarentegen wel de laagste R^2 had. Op de locatie Beverwijk valt op dat de correlatie een stuk slechter was (0,69 - 0,74) en dat de gemiddelde overschatting van de concentratie ook groter was dan op de locatie Zaandam. De 1^e generatie Sodaq snuffelfiets sensorkastjes (OZK) hebben een vergelijkbare R^2 als de 2^e generatie Sodaq Air sensorkastjes, maar hebben geen last van dezelfde gemiddelde overschatting van de PM2.5 concentratie.

Tabel 4. Vergelijking PM_{2.5} metingen Sodaq sensorkastjes en officiële monitors op het meetstation 701 in Zaandam bij een PM_{2.5} concentratie onder 10 µg/m³.

	Gem. (µg/m ³)	Gem. LML	verschil gem. met LML (%)	R ²
701 LML	5,9	5,9		1,00
Sodaq 420	4,8	5,8	-18,1%	0,25
Sodaq 541	5,6	5,0	11,2%	0,70
OZK 1849	5,1	5,7	-11,0%	0,69
Sodaq 256	7,5	5,9	27,5%	0,53
Sodaq 332	6,8	5,9	15,8%	0,56

Tabel 5. Vergelijking PM_{2.5} metingen Sodaq sensorkastjes en officiële monitors op het meetstation 701 in Zaandam bij een PM_{2.5} concentratie boven 10 µg/m³.

	Gem. (µg/m ³)	Gem. LML	verschil gem. met LML (%)	R ²
701 LML	15,8	15,8		1,00
Sodaq 420	18,2	16,0	13,9%	0,75
Sodaq 541	22,8	16,8	36,3%	0,91
OZK 1849	15,5	14,2	9,1%	0,91
Sodaq 256	26,4	15,8	67,1%	0,86
Sodaq 332	23,3	15,8	47,6%	0,86

Tabel 6. Vergelijking PM_{2.5} metingen Sodaq sensorkastjes en officiële monitors op het meetstation 570 in Beverwijk bij een PM_{2.5} concentratie onder 10 µg/m³.

	Gem. (µg/m ³)	Gem. LML	Verschil gem. met LML (%)	R ²
570 LML	5,8	5,8		1,00
Sodaq 545	7,8	5,8	33%	0,27
Sodaq 549	8,0	5,8	38%	0,28
OZK 1845	5,4	5,9	-8%	0,34
OZK 1850	5,4	5,9	-8%	0,32
Sodaq 543	7,3	5,8	24%	0,28
Sodaq 438	7,0	5,8	20%	0,31

Tabel 7. Vergelijking PM_{2.5} metingen Sodaq sensorkastjes en officiële monitors op het meetstation 570 in Beverwijk bij een PM_{2.5} concentratie boven 10 µg/m³.

	Gem. (µg/m ³)	Gem. LML	Verschil gem. met LML (%)	R ²
570 LML	13,9	13,9		1,00
Sodaq 545	22,9	13,9	65%	0,71
Sodaq 549	22,9	13,9	65%	0,70
OZK 1845	14,1	13,7	3%	0,70
OZK 1850	13,6	13,7	-1%	0,66
Sodaq 543	20,9	13,9	51%	0,62
Sodaq 438	20,4	13,9	47%	0,65

Er valt op dat de correlatie (R²) een stuk hoger was wanneer de PM_{2.5} concentratie boven de 10 µg/m³ kwam (Zaandam: 0,75 - 0,91; Beverwijk: 0,62 - 0,71). Echter was de gemiddelde overschatting van de concentratie ook groter. Wanneer de PM_{2.5} concentratie onder de 10 µg/m³ kwam, was de gemiddelde overschatting kleiner, maar de correlatie ook een stuk lager (Zaandam: 0,25 - 0,70; Beverwijk 0,27 - 0,31). Zulke lage R² waarden, zeker in het geval van Beverwijk, geven aan dat er nauwelijks tot geen correlatie aanwezig is tussen de sensormetingen en de officiële metingen.

De Sodaq sensorkastjes kunnen dus de PM_{2.5} concentratie niet accuraat weergeven wanneer deze laag is, maar kunnen wel duidelijk aangeven wanneer de PM_{2.5} concentratie hoger is dan normaal. Helaas overschatten de meeste Sodaq sensorkastjes de gemiddelde concentratie flink, ook bij lagere waarden. Deze overschatting wordt groter als de daadwerkelijke PM_{2.5} concentraties ook hoger zijn. Ook de 1^e generatie snuffelfiets sensorkastjes hebben een slechtere correlatie bij lage PM_{2.5} concentraties, maar tonen in die gevallen juist een gemiddelde onderschatting van de concentratie. Bij hoge waarden meten de 1^e generatie Sodaq snuffelfiets sensorkastjes gemiddelde waarden die vrij goed overeen komen met de officiële metingen.

3.4 Correlatie PM_{2.5} metingen referentie met Sodaq sensorkastjes

In deze paragraaf worden de resultaten weergegeven van eenzelfde analyse als in paragraaf 3.3, maar waarbij de sensormetingen zijn vergeleken met de PM_{2.5} referentiemetingen (filter wegingen). De filterwegingen zijn de meest betrouwbare methode om fijnstof te meten. De scatterplots waarmee de R² zijn bepaald zijn als figuren weergegeven in Bijlage 5.2.

Tabel 8. Vergelijking PM_{2.5} metingen Sodaq sensorkastjes met referentiemetingen op het meetstation 701 in Zaandam.

	Gem. (µg/m ³)	Gem. vanaf juli	Vershil met Ref. (%)	R ²
701 REF	11,9	5,9		
701 LML	12,4	-	4,4%	0,96
Sodaq 420	15,7	-	32,1%	0,92
Sodaq 541	-	-		
OZK 1849*	-	4,3	-26,2%	0,71
Sodaq 256	18,5	-	56,0%	0,92
Sodaq 332	16,2	-	36,8%	0,91

*Later opgehangen dus erg weinig datapunten met referentiemetingen, daarom niet representatief.

Tabel 9. Vergelijking PM_{2.5} metingen Sodaq sensorkastjes met referentiemetingen op het meetstation 570 in Beverwijk.

	Gem. (µg/m ³)	Gem. vanaf 15/6	Vershil met Ref. (%)	R ²
570 REF	9,7	9,3		1,00
570 LML	9,8		1%	0,86
Sodaq 545	14,6		50%	0,74
Sodaq 549	14,7		51%	0,72
OZK 1845*		8,8	-5%	0,30
OZK 1850*		8,0	-14%	0,48
Sodaq 543	13,9		43%	0,72
Sodaq 438	13,9		43%	0,74

*Later opgehangen dus erg weinig datapunten met referentiemetingen, daarom niet representatief.

De vergelijking met de referentiemetingen toont een vergelijkbaar beeld als bij de vergelijking met de automatische metingen, namelijk een vrij goede R² maar ook een grote gemiddelde overschatting bij de meeste Sodaq sensorkastjes. De 1^e generatie Sodaq snuffelfiets sensorkastjes doen het in vergelijking met de referentie minder goed dan bij de automatische metingen, maar dat heeft waarschijnlijk te maken met een heel laag aantal matchende datapunten. Dit komt vanwege later ophangen van de sensors, waardoor er minder referentiemetingen beschikbaar waren om te vergelijken. Referentiemetingen worden namelijk niet elke dag uitgevoerd en de resultaten zijn pas later beschikbaar.

3.5 Correlatie Sodaq sensorkastjes onderling

De scatterplots waarmee de R^2 zijn bepaald zijn als figuren weergegeven in Bijlage 5.3.

Tabel 10. R^2 matrix tussen de Sodaq sensorkastjes onderling op de locatie Zaandam.

	Sodaq 420	Sodaq 541	OZK 1849	Sodaq 256	Sodaq 332
Sodaq 420	1,00	1,00	0,91	0,85	0,82
Sodaq 541	1,00	1,00	1,00	0,99	0,99
OZK 1849	0,91	1,00	1,00	0,98	0,99
Sodaq 256	0,85	0,99	0,98	1,00	0,99
Sodaq 332	0,82	0,99	0,99	0,99	1,00

Onderling toonden de sensorkastjes op de locatie Zaandam een R^2 tussen 0,82 - 1,00. Het valt op dat sensor 420 een slechtere correlatie toonde met enkele sensors. Bij de vergelijking met LML data viel deze sensor ook al op vanwege afwijkende resultaten vergeleken met de rest.

Tabel 11. R^2 matrix tussen de Sodaq sensorkastjes onderling op de locatie Beverwijk.

	Sodaq 545	Sodaq 549	OZK 1845	OZK 1850	Sodaq 543	Sodaq 438
Sodaq 545	1,00	0,99	0,98	0,98	0,97	0,98
Sodaq 549	0,99	1,00	0,98	0,98	0,95	0,96
OZK 1845	0,98	0,98	1,00	0,99	0,96	0,96
OZK 1850	0,98	0,98	0,99	1,00	0,97	0,97
Sodaq 543	0,97	0,95	0,96	0,97	1,00	0,98
Sodaq 438	0,98	0,96	0,96		0,98	1,00

De sensors op locatie Beverwijk toonden een $R^2 = 0,95 - 0,99$. De Sodaq Airs volgen dus in ieder geval wel een vergelijkbaar verloop met elkaar, maar de gemiddelde concentraties wijken wel af (zoals in vorige paragrafen te zien).

3.6 Invloed van luchtvochtigheid en temperatuur

Er is ook een analyse gedaan naar de invloed van relatieve luchtvochtigheid (RH) en temperatuur op de fijnstofmetingen. Voor beide parameters is de relatieve fout van de sensormetingen (t.o.v. de officiële metingen) vergeleken met RH en temperatuur data van het dichtstbijzijnde KNMI station. In bijlage 5.4 zijn de figuren van deze analyses weergegeven. Er is ook vergeleken met de gemiddelde RH en temperatuur zoals gemeten door de sensors zelf. Echter bleken de RH sensors van de Sodaqs in de meeste gevallen niet boven de 80-90% te kunnen meten, en weken de RH metingen van de sensorkastjes ook sterk van elkaar af. Vandaar dat de data van het dichtstbijzijnde KNMI station gebruikt zijn.

Uit de figuren is op te maken dat beide generaties Sodaq sensorkastjes vaker en grotere fouten maken wanneer de relatieve luchtvochtigheid hoger is. Dit zie je vooral duidelijk wanneer de RH boven de 80% komt. De 2^e generatie Sodaq Air sensorkastjes maakten vaker en grotere fouten bij een hoge RH. De relatie tussen RH en relatieve fout kwam in Beverwijk minder duidelijk terug. Er is te zien dat de sensoren op die locatie veel vaker fouten maakten, ook bij een lage RH. De reden dat er meer fouten in de sensordata zaten in Beverwijk lag dus waarschijnlijk niet aan een ander luchtvochtigheidsgehalte.

Bij de vergelijking met de temperatuur kwamen er geen duidelijke resultaten uit. De meeste en grootste relatieve fouten werden gemaakt tussen de 10 en 20 graden. Dit kan komen omdat de meeste metingen in de lente en zomer zijn gedaan, waar deze temperaturen voornamelijk

voorkwamen. In de lente en zomer komt een temperatuur van 10 graden vaak alleen in de nacht voor, dus het is mogelijk dat dit ook met de luchtvochtigheid te maken heeft.

In Zaandam is een hele lichte relatie tussen de temperatuur en de relatieve fouten zichtbaar wanneer de temperatuur onder de 10 graden komt. Het zou daarom kunnen dat de sensorkastjes vaker te hoge concentraties meten wanneer de temperatuur lager is. Maar de kans is groot dat dit weer te maken heeft met een hogere luchtvochtigheid. In Beverwijk is geen relatie te zien, omdat er ook veel fouten voorkwamen bij hogere temperaturen.

4. Conclusies

Kwaliteit van de PM_{2.5} metingen

Over het algemeen valt de kwaliteit van de PM_{2.5} metingen door de 2^e generatie Sodaq Air sensorkastjes tegen. De grote gemiddelde overschattingen en wisselende R² bij hogere en lagere PM_{2.5} concentraties toont dat de gemeten concentraties door de sensors vrij onbetrouwbaar zijn. De hoogste pieken die de sensors meten zijn, zoals te zien in de grafieken in paragraaf 3.2, vaak grofweg twee keer zo hoog als de concentratie zoals gemeten door het luchtmeetstation. De meetresultaten tonen daarom aan dat de sensors niet geschikt zijn om accurate PM_{2.5} concentraties of gemiddelden daarvan te meten. De Sodaq sensorkastjes zijn daardoor niet geschikt om vergelijkingen te maken met Europese of WHO normen (wat ook niet de verwachting is bij low-cost sensors).

Aan de andere kant is de kwaliteit van de metingen wel flink verbeterd ten opzichte van de SDS011 fijnstofsensor die in fase 1 van het project Hollandse Luchten werd toegepast. De Sodaq sensorkastjes kunnen pieken in de PM_{2.5} concentratie erg goed oppikken en zijn daarom goed bruikbaar als een soortement waarschuwingssysteem voor incidenten waarbij er een verhoogde hoeveelheid luchtvervuiling wordt uitgestoten (zoals branden, industriële incidenten en vuurwerk). Oftewel, als de officiële luchtmeetstations hogere waardes meten doen de sensorkastjes dit ook. Waarschijnlijk zullen de sensors deze pieken zelfs eerder aantonen dan de officiële metingen vanwege de hogere tijdsresolutie. Daar is in deze analyse niet naar gekeken. De precieze concentraties van pieken wijken echter wel flink af van de officiële metingen. Bij lagere PM_{2.5} concentraties (onder de 10 µg/m³) is te zien dat de correlatie sterk afneemt, dit kunnen de Sodaq sensorkastjes dus niet goed meten.

Omdat er nog niet genoeg meetgegevens waren was het nog niet mogelijk om een degelijke "equivalentie test" te doen, en om gemiddelde overschattingen van de Sodaq sensorkastjes te bepalen. Ook was er geen tijd meer om het effect van de nieuwe kalibratie te testen. Later in 2024 zal deze analyse uitgebreid worden met meer meetresultaten.

Verschillen tussen de sensoren

De sensoren hebben een goede correlatie onderling. De meest opvallende afwijkende sensor was Sodaq Air 420 op Zaandam, hier moet nog verder naar gekeken worden. Het zou kunnen dat deze defect is, of verschilt van de rest vanwege een andere software versie.

Opvallend genoeg hebben de 1^e generatie Sodaq snuffelfiets sensorkastjes een stuk minder last van een overschatting van de concentratie dan de 2^e generatie Sodaq Air sensorkastjes. Het verschil in behuizing tussen de 1^e en 2^e generatie zou een deel hiervan kunnen veroorzaken, maar het verschil is zo groot dat er waarschijnlijk ook iets in de apparatuur zit wat deze verschillen veroorzaakt. Volgens de fabrikant bevatten beide sensorkastjes dezelfde sensors voor het meten van RH, temperatuur en fijnstof. Een

mogelijkheid die verder onderzocht kan worden is of de luchtstroom wellicht de veroorzaker is van deze verschillen (e.g. hoe luchtdeeltjes in de sensor worden gezogen, met wat voor snelheid en of de lucht of vochtdeeltjes misschien in de sensor blijven hangen). De luchtstroom kan ook weer beïnvloed worden door de software die op de sensors staat.

Verskil tussen de meetlocaties

Uit de resultaten blijkt dat de Sodaq Airs consequent een betere vergelijking hebben met de officiële metingen op Zaandam dan op de locatie Beverwijk. Op Beverwijk is de R^2 een stuk lager en neemt met ongeveer 0,2 af (van ongeveer 0,9 naar 0,7). Ook het verschil tussen de gemiddelde concentraties is op Beverwijk wat groter.

Dit verschil moet nog verder worden onderzocht. Er zijn meerdere oorzaken die aannemelijk kunnen hebben gezorgd voor dit verschil in resultaten. Op volgorde van waarschijnlijkheid worden deze oorzaken overwogen:

- *Meer grove fracties en een andere samenstelling van het fijnstof op Beverwijk vanwege het dichtbij gelegen industriegebied.*
Uit ervaring bij de GGD weten we dat het fijnstof rondom het industriegebied in de IJmond een andere samenstelling heeft en vaak lastiger te meten is voor goedkope sensoren.
- *De sensorkastjes kunnen bepaalde fracties van het fijnstof minder goed meten, wellicht door de luchtstroom in het apparaat.*
- *Meer uitval in de officiële meetapparatuur op locatie Beverwijk*
Hierdoor waren er minder datapunten, wat de analyse resultaten kan hebben beïnvloed.

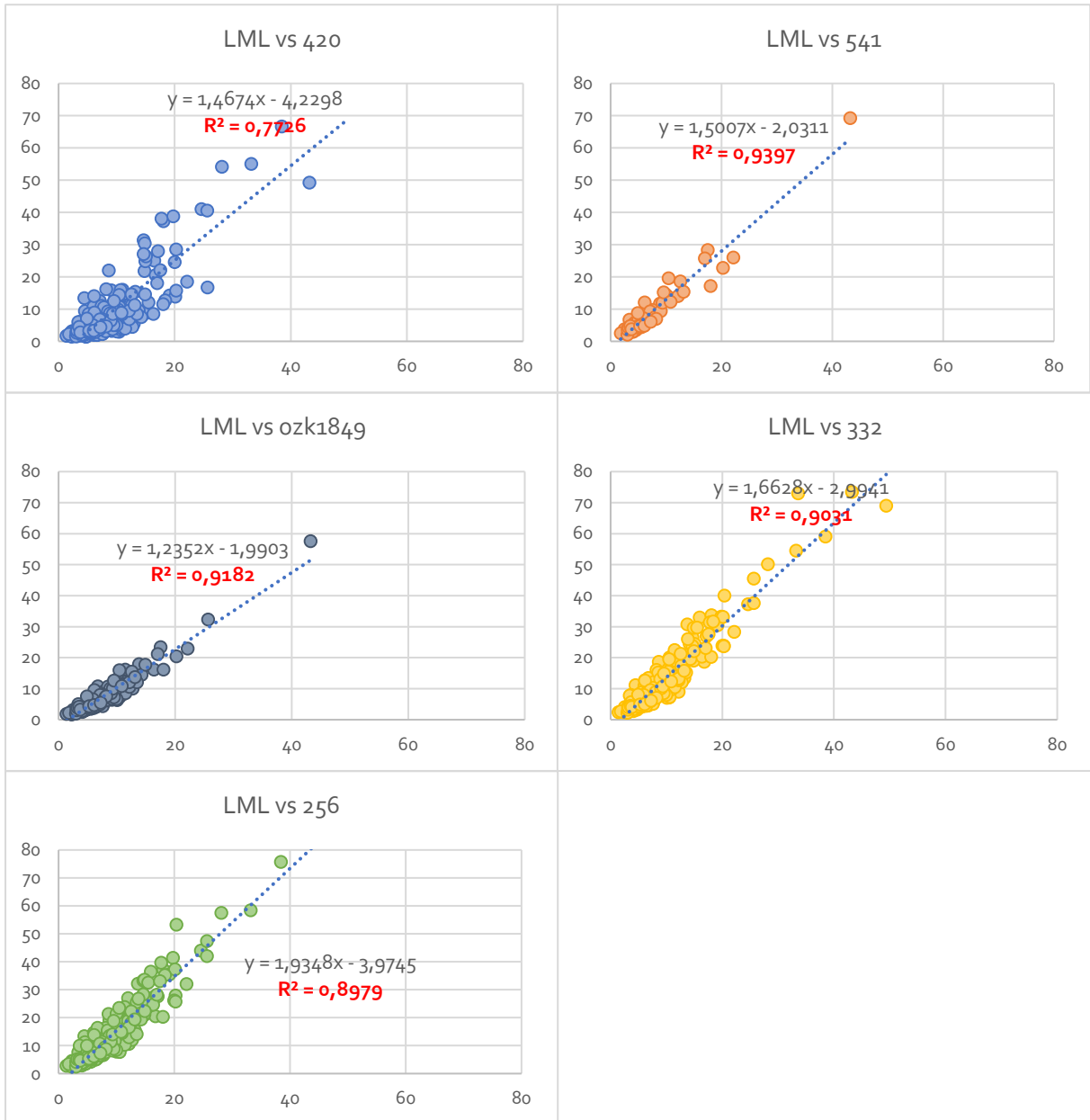
Invloed van luchtvochtigheid en temperatuur

Uit deze analyse bleek dat de sensors vaker en grotere fouten maken wanneer de luchtvochtigheid hoger is. Er zijn echter nauwelijks duidelijke "vochtpieken" zoals bij de SDS011 sensors, waar de metingen ineens pieken vertoonden (bijvoorbeeld als er veel mist hing) die niet herleidbaar waren naar enige verhoging in de PM concentratie. Dus de Sodaqs maken fouten door vocht, maar meestal lijkt een piek wel enigszins samen te gaan met een verhoging in de PM_{2.5} concentraties in de lucht. Waarschijnlijk is de overschatting van de Sodaqs groter bij een hogere RH. Er lijkt ook een onderschatting van de PM_{2.5} concentratie plaats te vinden bij een lage RH. De resultaten over een mogelijke relatie tussen de temperatuur en de sensormetingen zijn onduidelijk. Later in 2024 kijken we hier opnieuw naar als we meer metingen hebben in andere seizoenen.

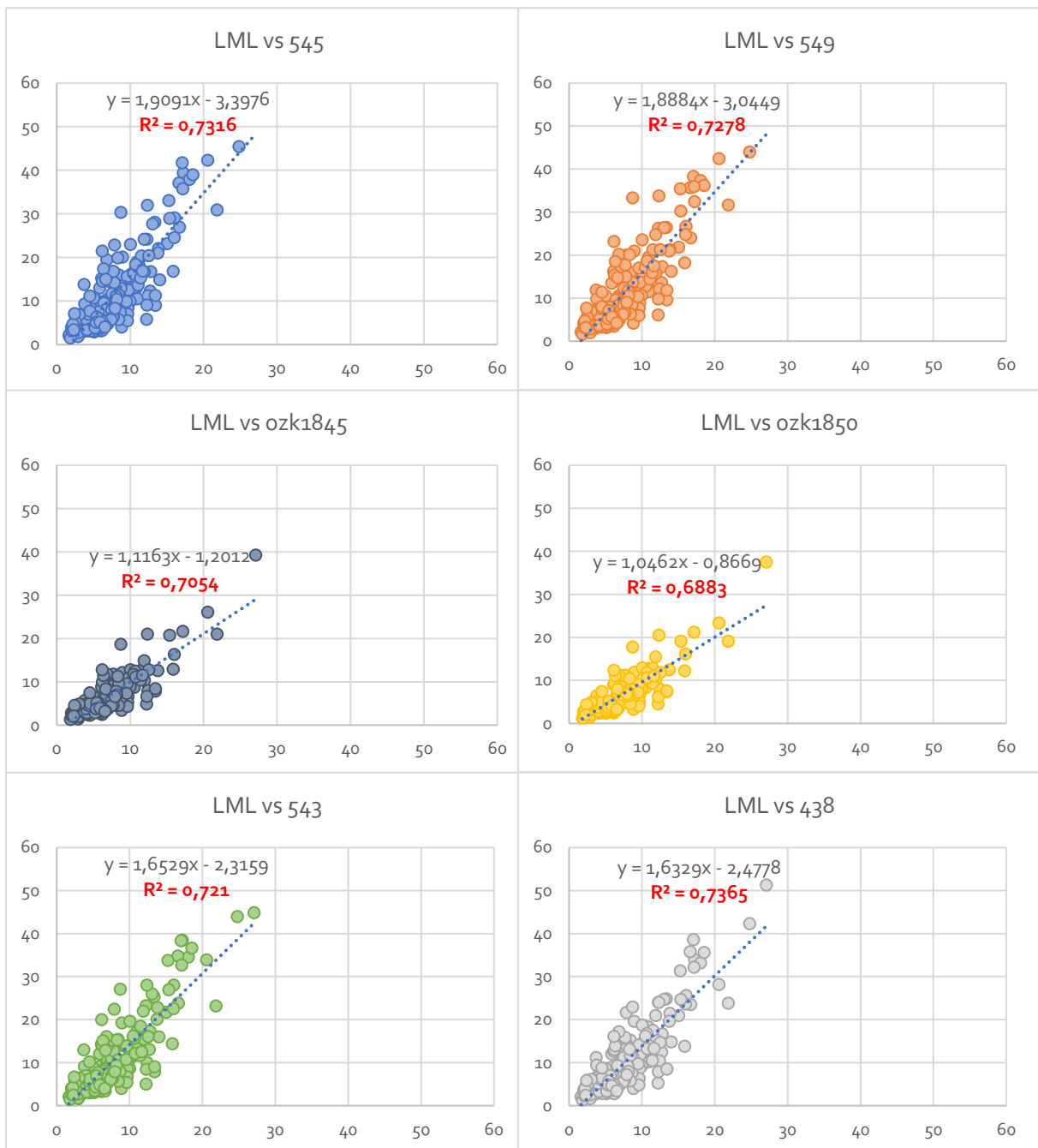
5. Bijlage

5.1 Figuren analyse PM2.5 metingen sensorkastjes en LML

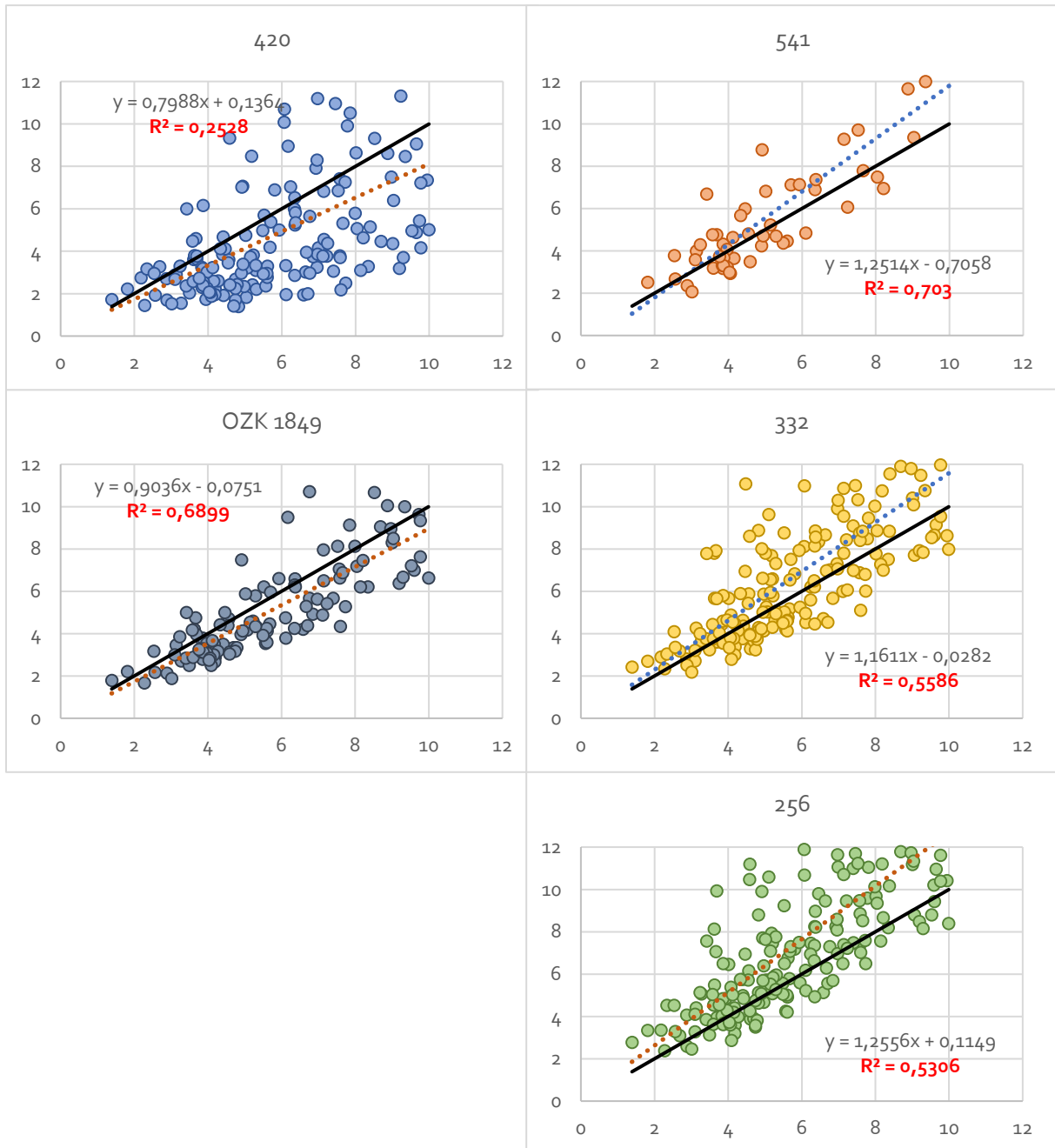
Figuur 4. Scatterplots daggemiddelde PM2.5 concentratie Sodaq sensorkastjes (y-as) en officiële metingen (x-as) op locatie Zaandam.



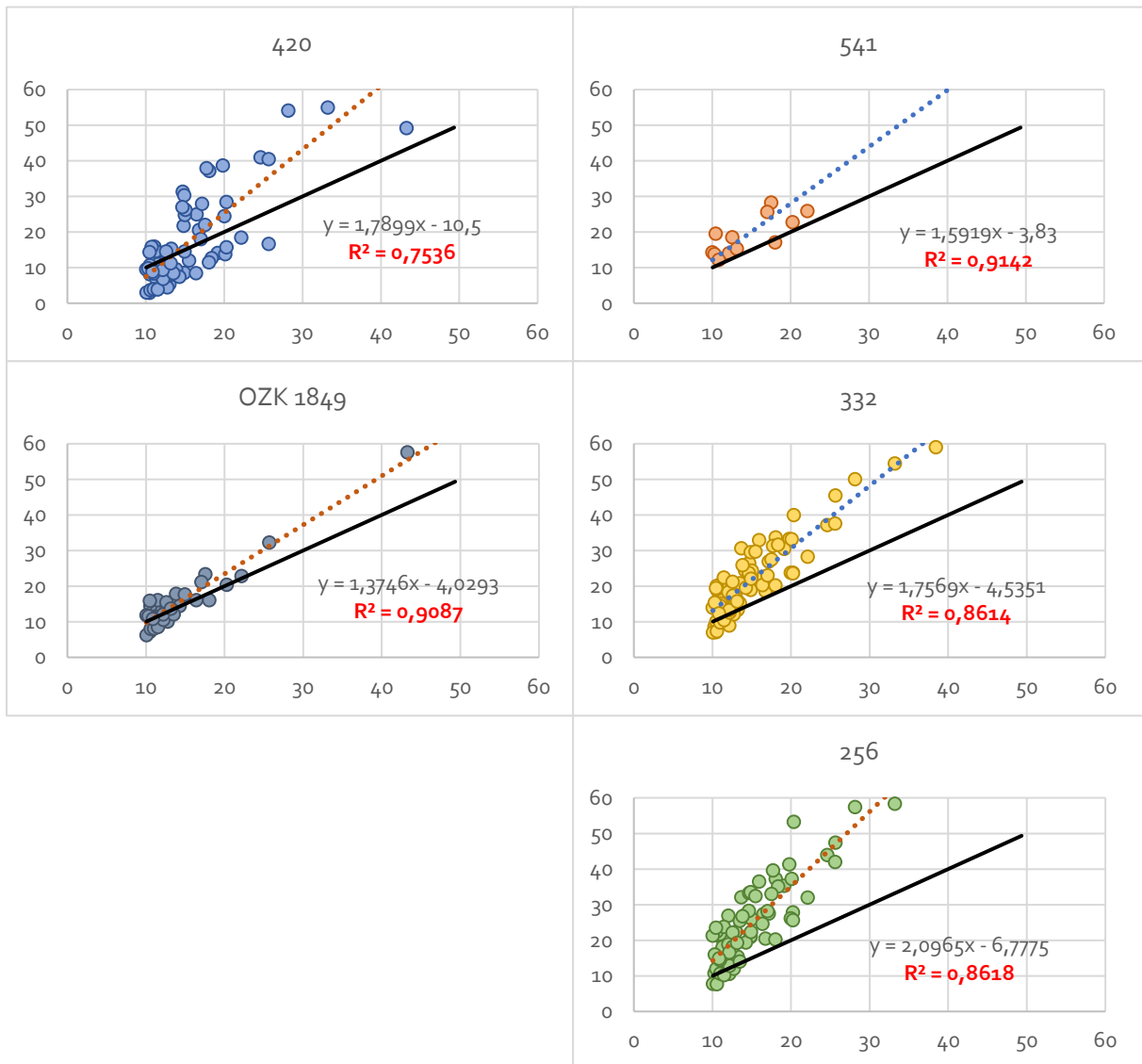
Figuur 5. Scatterplots daggemiddelde PM_{2.5} concentratie Sodaq sensorkastjes (y-as) en officiële metingen (x-as) op locatie Beverwijk.



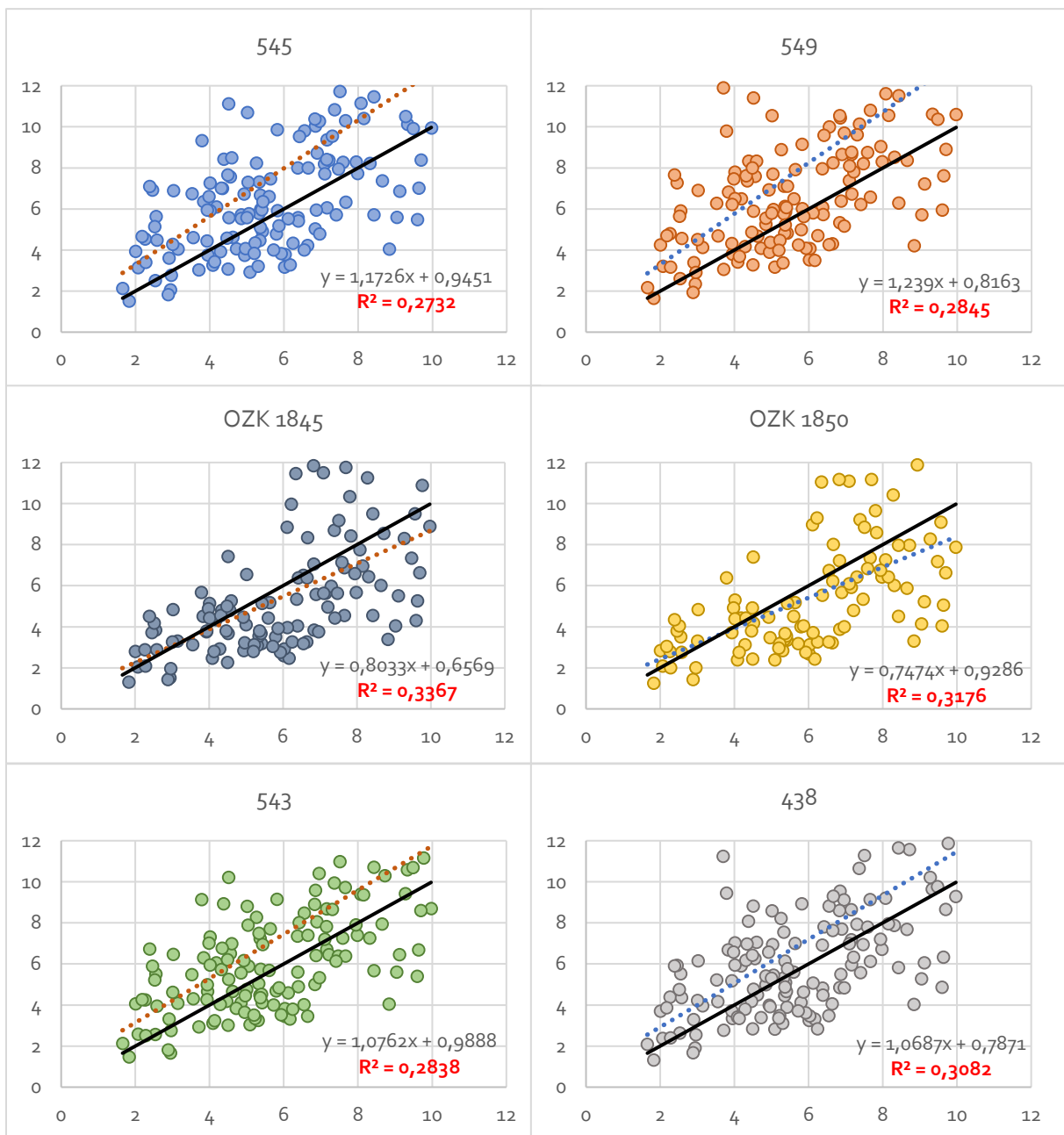
Figuur 6. Scatterplots daggemiddelde PM_{2.5} concentratie Sodaq sensorkastjes (y-as) en officiële metingen (x-as) op locatie Zaandam bij PM_{2.5} < 10 µg/m³.



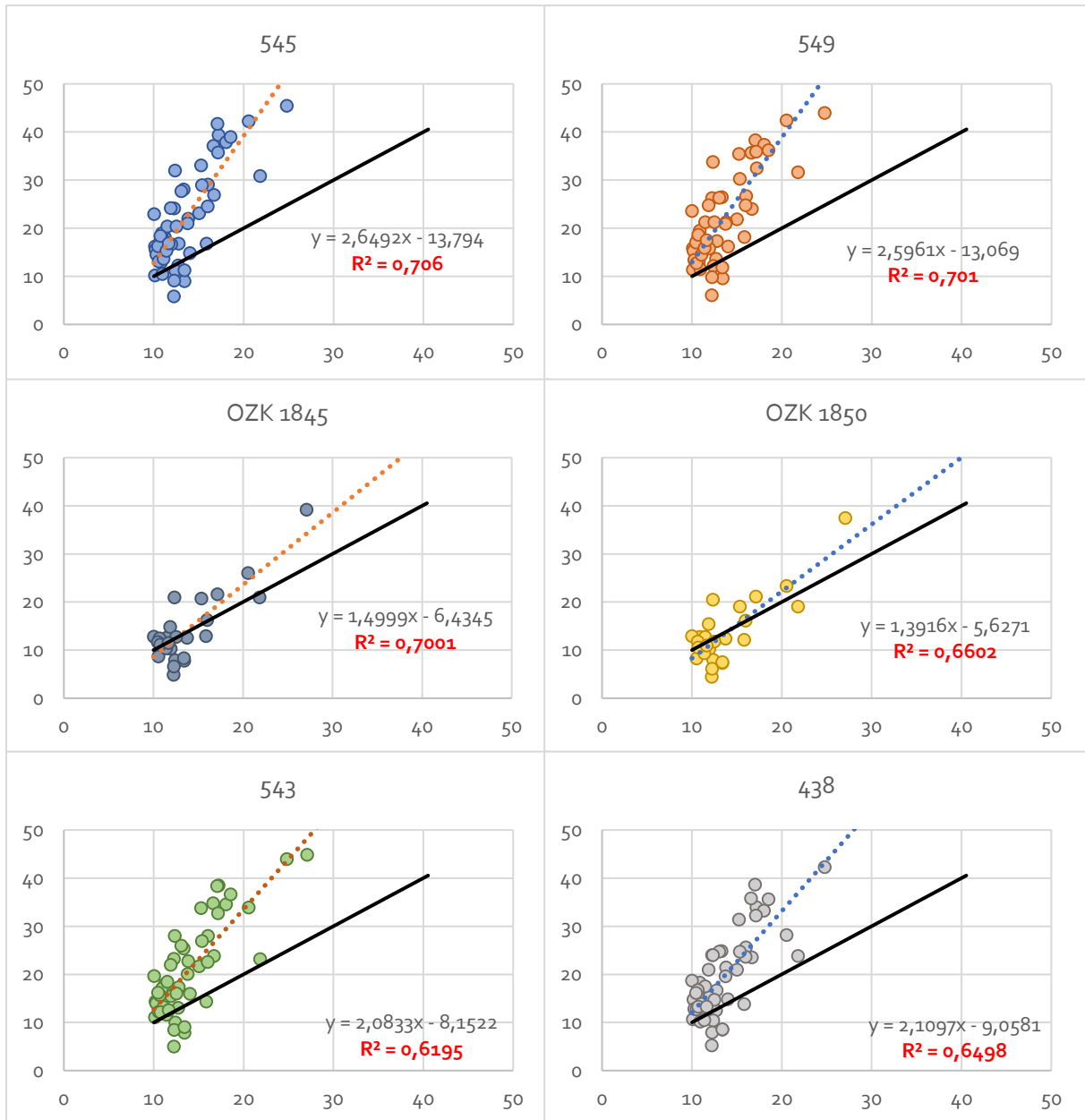
Figuur 7. Scatterplots dagemiddelde PM_{2.5} concentratie Sodaq sensorkastjes (y-as) en officiële metingen (x-as) op locatie Zaandam bij PM_{2.5} > 10 µg/m³.



Figuur 8. Scatterplots daggemiddelde PM_{2.5} concentratie Sodaq sensorkastjes (y-as) en officiële metingen (x-as) op locatie Beverwijk bij PM_{2.5} < 10 µg/m³.

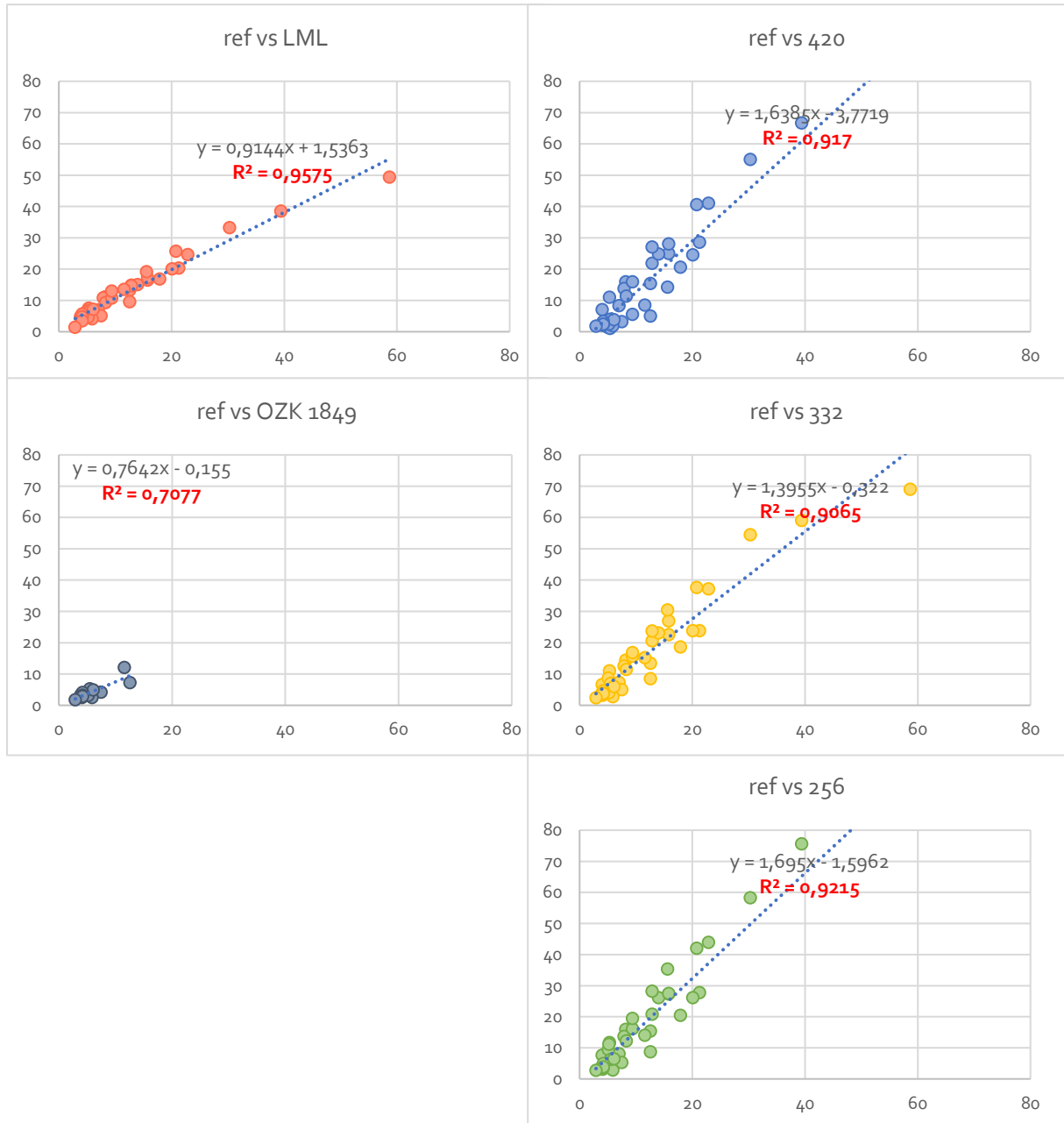


Figuur 9. Scatterplots daggemiddelde PM_{2.5} concentratie Sodaq sensorkastjes (y-as) en officiële metingen (x-as) op locatie Beverwijk bij PM_{2.5} > 10 µg/m³.

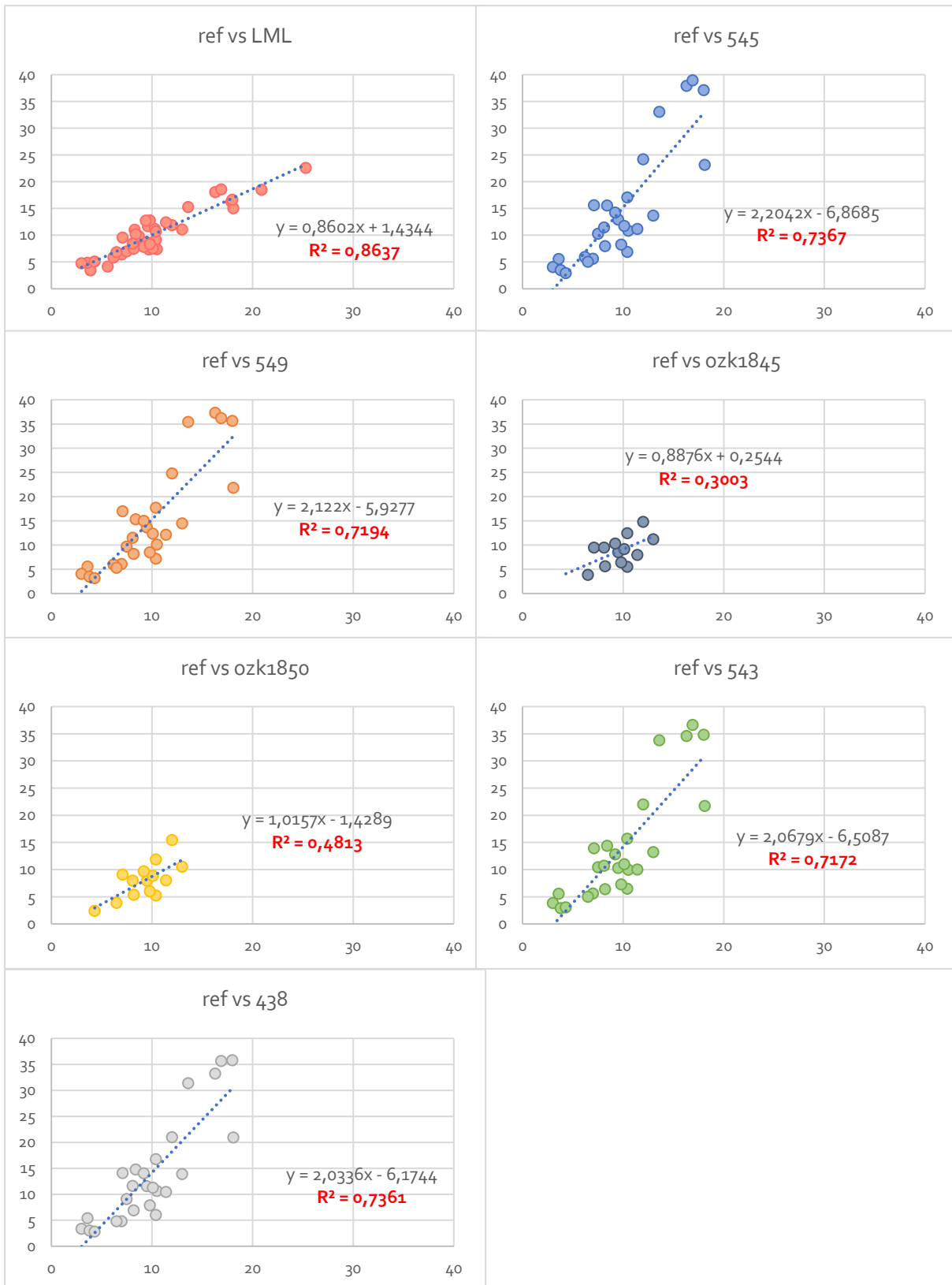


5.2 Figuren analyse PM_{2.5} metingen sensorkastjes en referentie

Figuur 10. Scatterplots daggemiddelde PM_{2.5} concentratie Sodaq sensorkastjes (y-as) en referentie metingen (x-as) op locatie Zaandam.

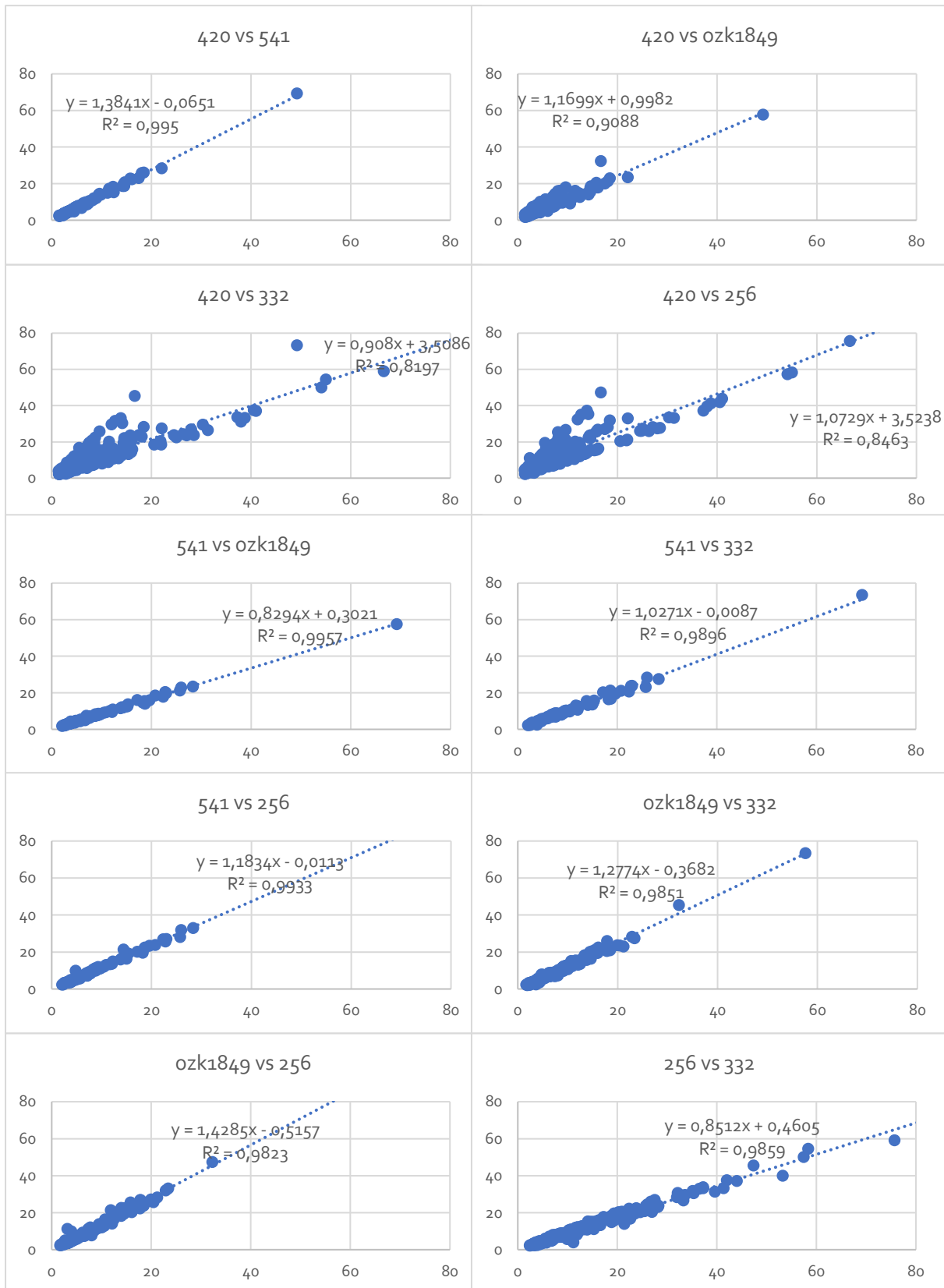


Figuur 11. Scatterplots daggemiddelde PM_{2.5} concentratie Sodaq sensorkastjes (y-as) en referentie metingen (x-as) op locatie Beverwijk.

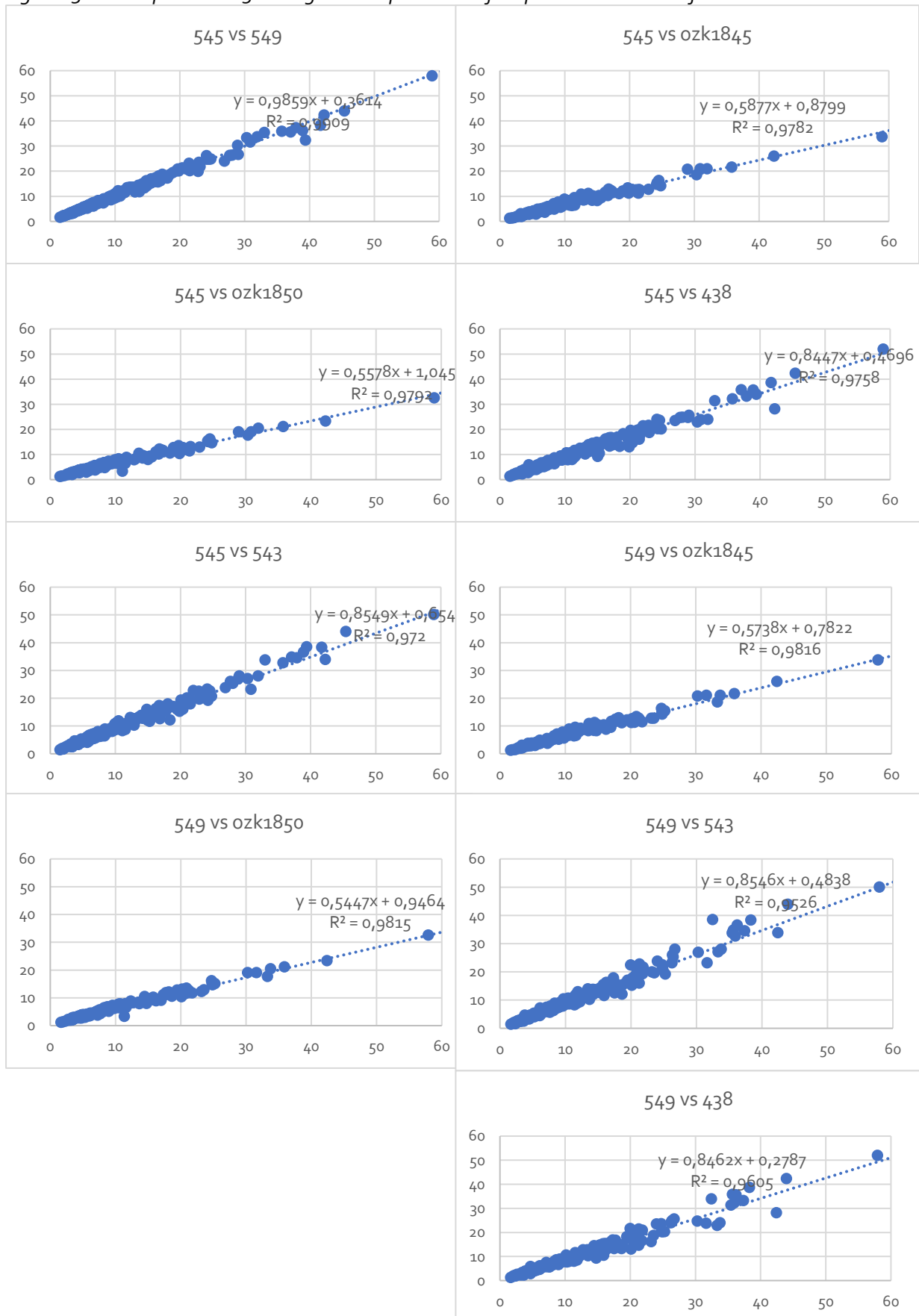


5.3 Figuren analyse PM2.5 metingen Sodaq sensorkastjes onderling

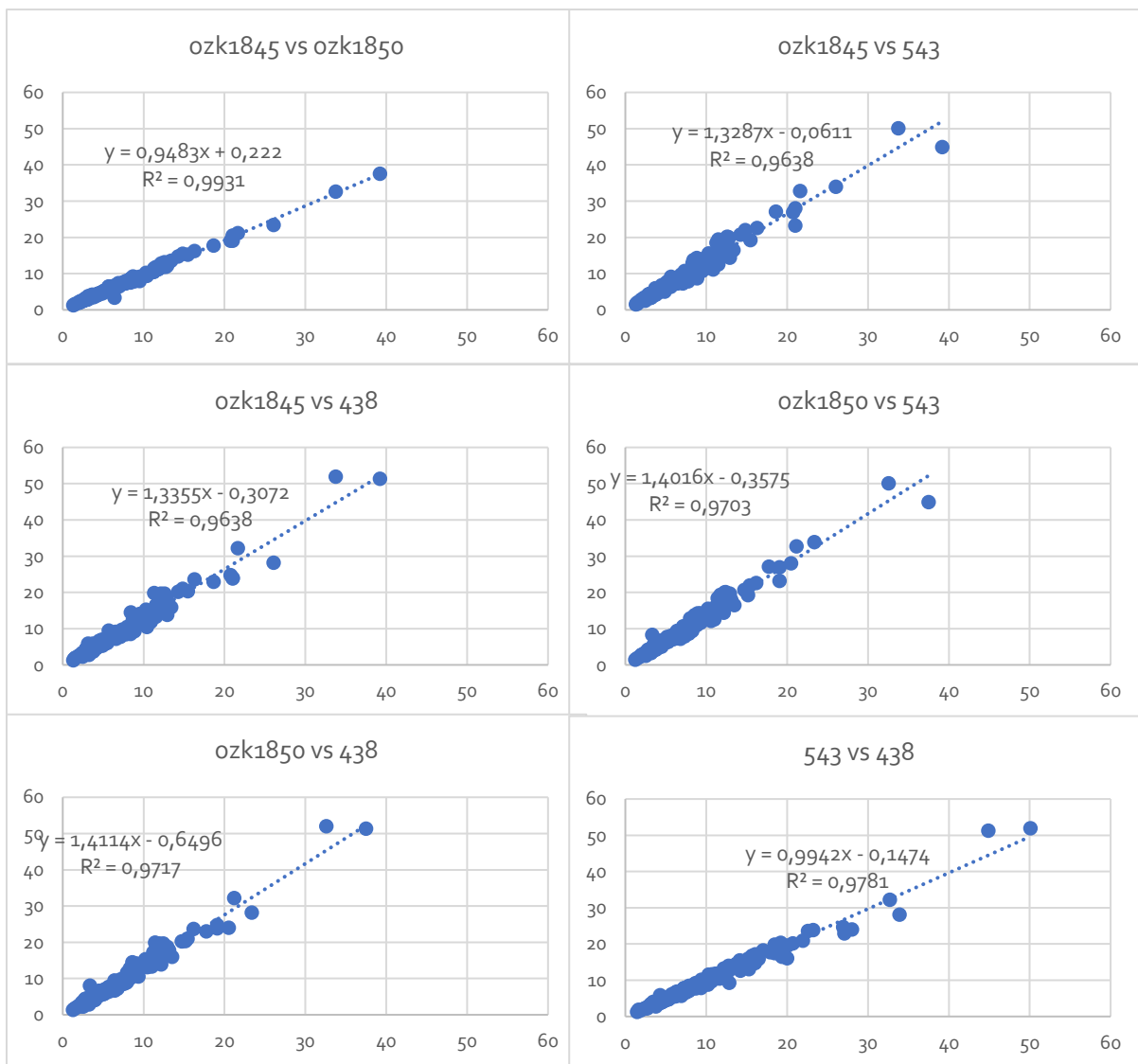
Figuur 12. Scatterplots PM2.5 metingen Sodaq sensorkastjes op de locatie Zaandam.



Figuur 13. Scatterplots PM2.5 metingen Sodaq sensorkastjes op de locatie Beverwijk.

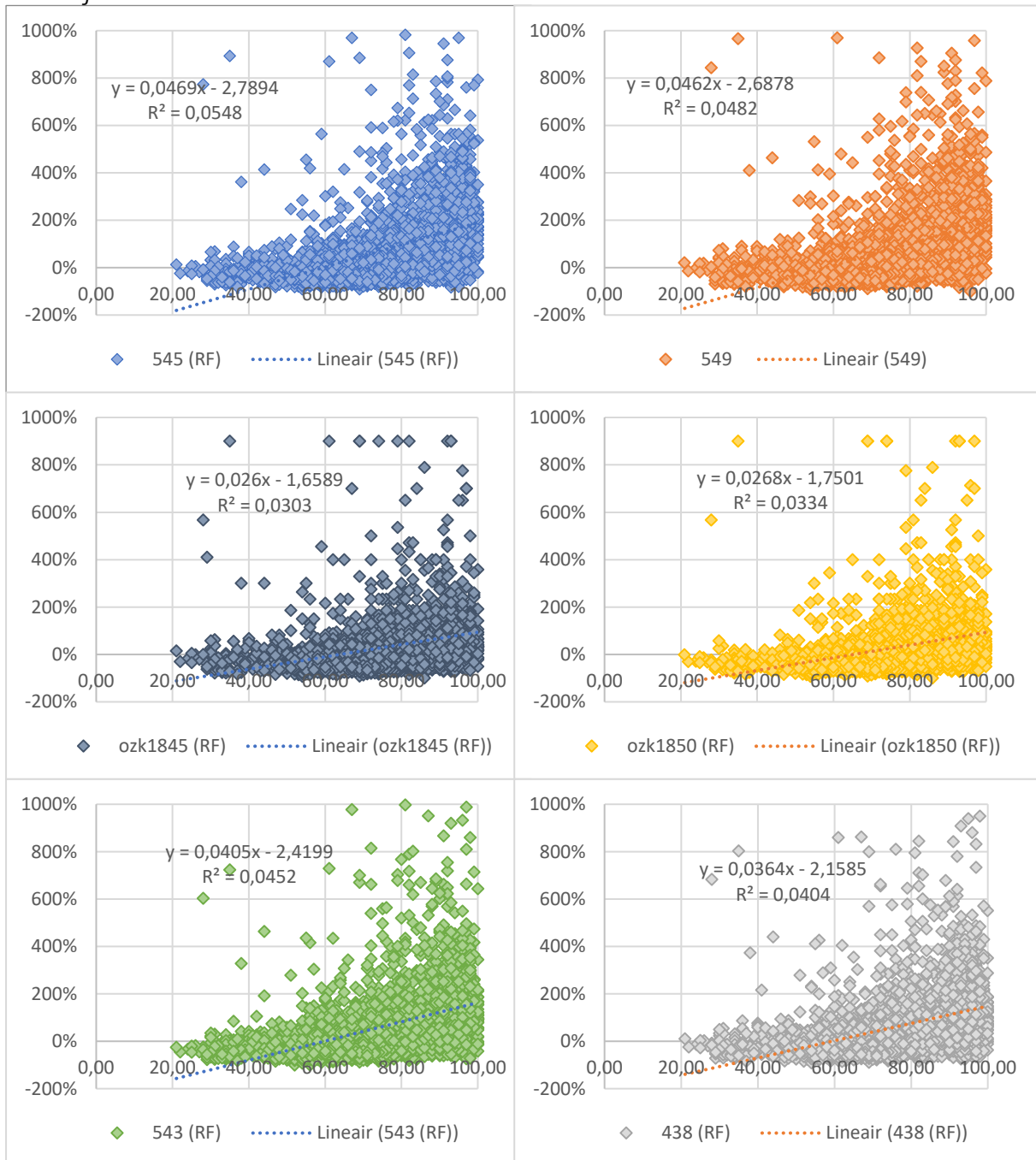


Figuur 14. Scatterplots PM2.5 metingen Sodaq sensorkastjes op de locatie Beverwijk.

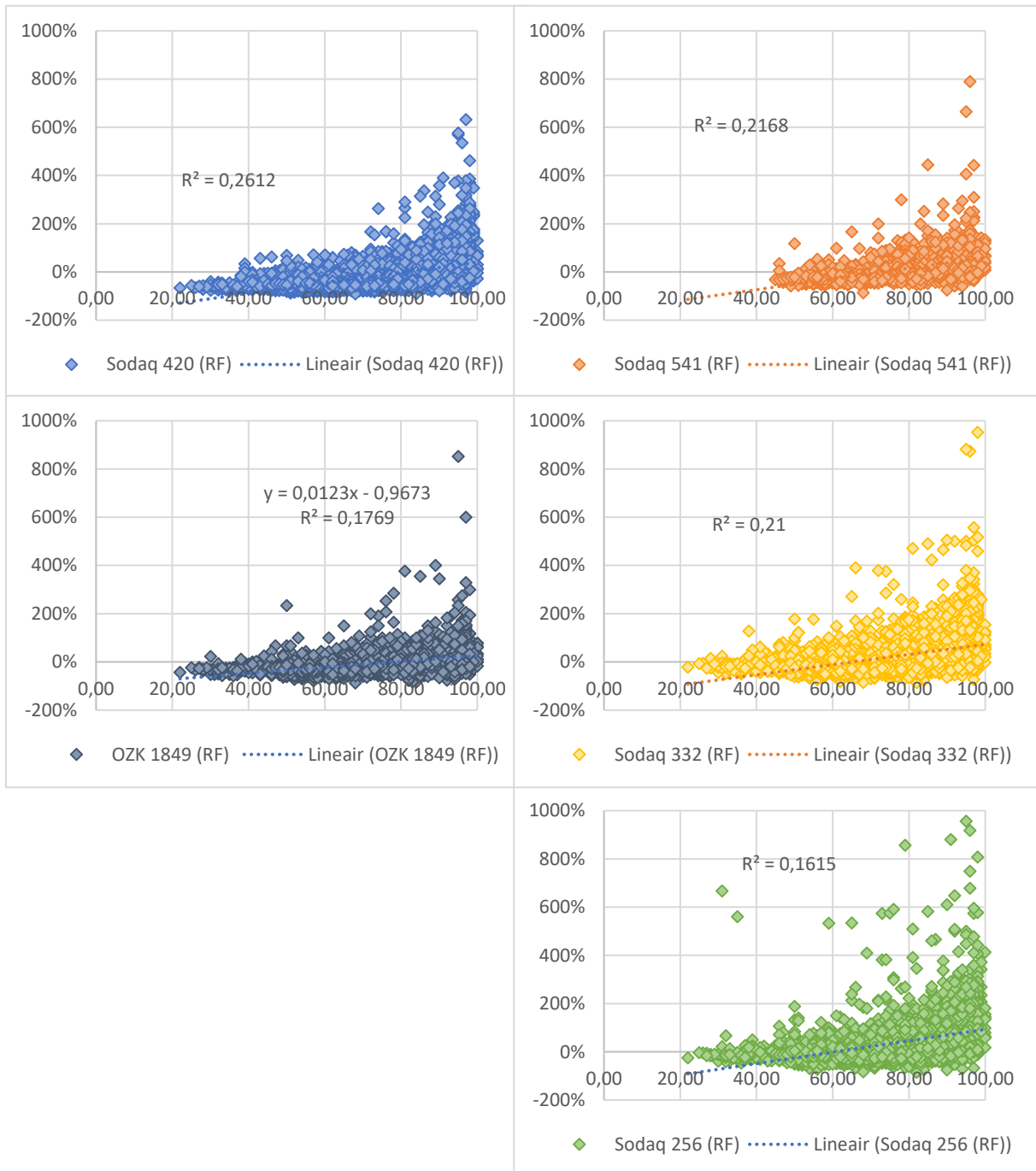


5.4 Figuren analyse invloed luchtvochtigheid en temperatuur

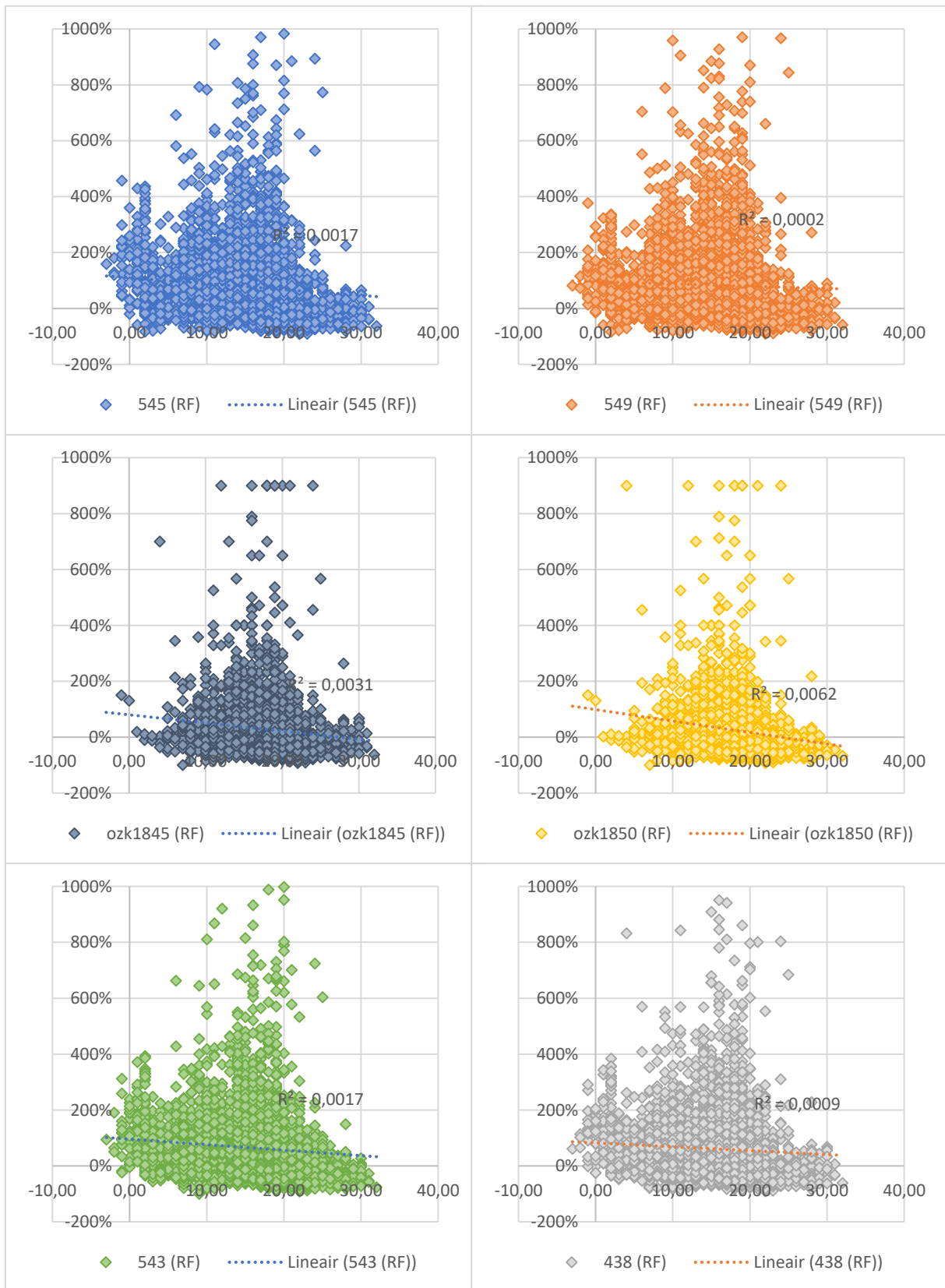
Figuur 15. Scatterplots luchtvochtigheid (RH) (KNMI, %) tegenover Relatieve fout (%) sensormetingen in Beverwijk.



Figuur 16. Scatterplots luchtvochtigheid (RH) (KNMI, %) tegenover Relatieve fout (%) sensormetingen in Zaandam.



Figuur 17. Scatterplots temperatuur (KNMI, celsius) tegenover Relatieve fout (%) sensormetingen in Beverwijk.



Figuur 18. Scatterplots temperatuur (KNMI, celsius) tegenover Relatieve fout (%) sensormetingen in Zaandam.

