

RIVM rapport 723101066/2002

**ACCEPTATIE RAPPORT VAN 17 SX200
ZWARTE ROOK MONITOREN**

B.M. Hijink

Dit onderzoek werd verricht in opdracht en ten laste van het Directoraat-Generaal Milieubeheer, in het kader van project 723101, Monitoring Lucht.

Abstract

Here, the results are presented of an acceptance investigation into 17 new ETL SX200 Black Smoke monitors. The new monitors were compared with the National Air Quality Monitoring Network (LM) method EEL43. The new monitor is automated and will replace the present manual LML monitors. It is more advanced and more stable than the LML method, which requires considerable maintenance.

The new monitors measure more or less the same concentrations as the LML monitors. The average difference in concentrations measured when compared to the LML monitor is $1.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. The SX200 monitor delivers lower concentrations than the LML method. The standard deviation seen between identical automated monitors is about $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, well below the LML requirement of $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

The main reason for the difference between the systems is the difference in flow. The flow in the LML method was usually 5% higher with respect to the SX200 flow. This had the effect of raising the concentration by 5%. The LML method did not always lead to a proper assignment of values so that they were sometimes assigned too high. This is partly due to the human factor. The precision of the SX200 monitors is ten times better and the human error is minimal.

As a result of this research, the SX200 monitors have been accepted and installed in the National Air Quality Monitoring Network (LML).

Inhoud

| | |
|--|-----------|
| Samenvatting | 4 |
| 1. Inleiding | 5 |
| 2. Meetmethoden | 7 |
| 2.1 <i>OECD/EU Referentie methode</i> | 7 |
| 2.2 <i>LML methode</i> | 7 |
| 2.3 <i>Geautomatiseerde SX200 methode</i> | 7 |
| 2.3.1 Kalibratie van de SX200 | 8 |
| 3. Uitvoering van de acceptatietest | 9 |
| 3.1 <i>Voortraject</i> | 9 |
| 3.2 <i>Laboratoriumtest</i> | 9 |
| 3.3 <i>Veldtest</i> | 10 |
| 3.3.1 De SX200 in vergelijking met de LML methode | 10 |
| 3.3.2 De SX200 meetkop in vergelijking met de LML meetkop | 10 |
| 4. Resultaten | 11 |
| 4.1 <i>Labtest</i> | 11 |
| 4.2 <i>Veldtest</i> | 11 |
| 4.2.1 SX200 vergeleken met de LML methode | 11 |
| 4.2.2 De SX200 monitoren vergeleken met elkaar | 12 |
| 4.2.3 De SX200 meetkop vergeleken met de LML meetkop | 14 |
| 4.3 <i>Percentiel waarden</i> | 14 |
| 5. Discussie | 15 |
| 5.1 <i>Belangrijkste oorzaken van afwijkingen</i> | 15 |
| 5.1.1 Flow afwijkingen | 15 |
| 5.1.2 Omzetting van reflectie percentage naar concentratie | 16 |
| 5.2 <i>Correlatie tussen de SX200 en de LML methode</i> | 17 |
| 5.3 <i>De SX200 meetkop vergeleken met de LML meetkop</i> | 19 |
| 5.4 <i>Andere afwijkingsbronnen</i> | 20 |
| 5.5 <i>Speciale gevallen</i> | 21 |
| 6. Conclusie | 23 |
| 7. Bijlagen | 25 |
| Bijlage 1: Verzendlijst | 25 |
| Bijlage 2: Resultaten van de veldmeting in 1999 voor monitoren A – F en G – H | 26 |
| Bijlage 3: Resultaten van de veldmetingen in 2000 | 27 |
| Bijlage 4: Resultaten van de veldtest voor monitor G t/m L | 28 |
| Bijlage 5: Resultaten van de veldtest voor monitor M t/m Q | 29 |
| Bijlage 6: Verschil in concentratie tussen de SX200 monitoren en de LML methode | 30 |
| Bijlage 7: Afwijkingen van de monitoren onderling | 31 |
| Bijlage 8: Grafieken van de genoteerde flow van de LML methode | 32 |
| Bijlage 9: Correlatie grafieken van alle monitoren | 33 |
| Bijlage 10: Correlatie grafieken zonder en met afronding van de meetkop vergelijking | 41 |
| Bijlage 11: Reflectiewaarden van de Swatches | 43 |

Samenvatting

Dit rapport presenteert de resultaten van een acceptatie onderzoek van 17 nieuwe ETL SX200 Black Smoke monitoren. De nieuwe monitoren zijn vergeleken met de LML methode EEL43. De nieuwe monitor is een geautomatiseerde en stabielere uitvoering van de LML methode. De LML methode had nog veel onderhoud nodig.

De nieuwe monitoren blijken de LML methode goed te volgen. Het gemiddelde verschil tussen de nieuwe methode en de LML methode is $1.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ waarbij de SX200 lagere concentraties geeft dan de LML methode.

De verklaring voor het verschil tussen beide methoden is voornamelijk te vinden in flow verschillen. De LML flow in het onderzoek is circa 5% hoger dan de SX200 flow. Hierdoor is de concentratie ook 5% hoger. De gemiddelde concentratie is $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Er is zeker $0.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ te verklaren door flowverschillen. Daarnaast is uit de directe vergelijking van de meetkoppen een verschil van $0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gevonden. Verder is de precisie van de SX200 tien keer beter dan die van de oude LML methode. Hierdoor is ook een verschil te verklaren van enkele tienden $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Daarnaast lijkt de vaststelling van de LML waarde niet altijd goed te gebeuren en in deze gevallen vaak te hoog te worden vastgesteld. Dit komt onder andere door de persoonsgebonden wijze van meten.

De monitoren blijken ten opzichte van elkaar een standaard deviatie te vertonen van $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Aangezien de LML methode een resolutie heeft van $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ voldoen de nieuwe monitoren in dat opzicht ruimschoots aan de eis.

De SX200 monitoren blijken stabiel te meten en menselijke fouten worden tot een minimum beperkt.

1. Inleiding

Het meten van zwarte rook gebeurde tot voor kort op een arbeidsintensieve handmatige manier. Om dit te verbeteren is getracht om een automatisering van het meetproces door te voeren. Dit heeft geresulteerd in de ontwikkeling van een nieuwe zwarte rook monitor. Na een uitvoerig vooronderzoek is een acceptatietest gedaan voor in het totaal 17 ETL SX200 monitoren.

De handmatige LML methode bestaat uit het laten bezuigen van losse filters waarna van de bezogen filters in het laboratorium de mate van zwarteheid door middel van reflectie wordt bepaald. De nieuwe monitor is een gemechaniseerde versie van deze methode en is in staat om na een periode van bezuigen het bezogen filter direct te meten en de meting in een geheugen te bewaren. De monitor is uitgerust met een rol filtermateriaal. Deze wordt dagelijks een stukje doorgeschoven zodat een nieuw stuk filtermateriaal bezogen kan worden. Hierdoor kan de SX200 meerdere maanden continu metingen doen zonder wekelijkse vervanging van filters zoals in de oude LML methode. Daarnaast wordt iedere meting voorzien van een datum, een plaatsnummer en een monitornummer. Hierdoor is exact te zien waar door welke monitor een bepaalde meting is gedaan. Verder is de meetdata direct digitaal beschikbaar.

De nieuwe monitoren moeten aan een aantal eisen voldoen die zijn opgesteld naar aanleiding van de Europese richtlijnen en een aantal gebruikerseisen. Deze zijn:

- Ten opzichte van elkaar mogen de monitoren gemiddeld niet meer dan $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ afwijken
- De monitoren moeten een correlatie (R^2) van minimaal 0.94 vertonen met de LML methode
- De 50^{ste} en 98^{ste} percentiel waarde moet binnen ± 1 reflectie unit vallen
- De betrouwbaarheid van de nieuwe monitoren moet beter zijn dan de LML methode
- Onderhoud moet minder zijn
- Data moet direct online beschikbaar kunnen komen

De nieuwe monitoren zijn in het lab getest op lekkage, werking en temperatuurgevoeligheid. Daarnaast zijn de 17 monitoren op twee locaties geplaatst. 11 in Vlaardingen, waar wat hogere concentraties zwarte stof voorkomen en 6 in Wageningen waar lagere concentraties gemeten worden. In 1999 en 2000 is meerdere maanden simultaan gemeten aan de LML methode. De resultaten van deze metingen staan in dit rapport.

.

2. Meetmethoden

In dit onderzoek komen drie meetmethoden aan de orde. Deze zijn:

- De oorspronkelijke OECD/EU Referentie methode zoals beschreven in LLO/OM/D0034
- De oude LML methode, wijkt af van de eerste methode op het gebied van de flow en afronding
- De nieuwe SX200 methode die getoetst wordt in dit rapport

Een korte beschrijving van de drie methoden volgt in de komende drie paragrafen.

2.1 OECD/EU Referentie methode

Zwarte rook is een verzamelnaam voor de fractie zwarte deeltjes ('zwarte rook') die in onze lucht aanwezig is. Om deze deeltjes te meten wordt een gecontroleerde hoeveelheid lucht aangezogen door een omgekeerde trechter. Zwaardere deeltjes kunnen hier niet makkelijk ingezogen worden zodat de grootte van de deeltjes wordt beperkt tot enkele μm . Van deze lucht wordt $2 \text{ m}^3/\text{dag}$ door een filter geleid waar de rookdeeltjes worden opgevangen. Na 24 uur bezogen te zijn wordt het filter een of twee dagen geconditioneerd om vervolgens met een EEL43 reflectiekop de zwarte rook van het filter te bepalen. Dit is een maat voor de concentratie zwarte rook. 100% reflectie staat gelijk aan een schoon filter en een concentratie van $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Bij een lagere reflectiewaarde hoort een hogere concentratie zwarte rook. De concentratie die bij een bepaalde reflectiewaarde hoort wordt bepaald aan de hand van een referentiekromme (zie paragraaf 5.1.2).

2.2 LML methode

Het LML gebruikt de volgende procedure: acht filterhouders worden aangesloten op een kleppenkast met timer. De kleppenkast is aangesloten op een aanzuigleiding. De kleppenkast zorgt dat er dagelijks een filter bezogen wordt. Iedere week dienen de filters vervangen te worden. Van de filters wordt met de hand de reflectie bepaald met behulp van een EEL43 reflectie meetkop. De reflectiegetallen worden in een programma ingevoerd dat met behulp van voornoemde referentiekromme een dagconcentratie berekent. De verschillen met de OECD/EU referentie methode zijn:

Bij het bepalen van de reflectiewaarde wordt in tegenstelling tot de referentie methode afgerond naar gehele getallen. Bij het omrekenen naar de concentraties wordt voor de tweede maal afgerond op gehele getallen.

Het omrekenen van reflectiewaarde naar concentratie wordt gebaseerd op twee kubieke meter doorgezogen lucht per dag. De werkelijke flow die door de filter gezogen is mag hier maximaal 10% van afwijken.

2.3 Geautomatiseerde SX200 methode

De SX200 is een automatisering van het LML proces. De filter worden automatisch doorgedraaid naar een schoon stuk filterband. De reflectie wordt automatisch bepaald en omgerekend naar de concentratie. De luchtflow wordt continu bewaakt door een regeling op 2% nauwkeurig. De vernieuwde reflectie meetkop is stabiel genoeg om tot 0.1% nauwkeurig de reflectie te bepalen. Deze reflectie is een maat voor de concentratie zwarte rook in de lucht. Figuur 2.1 is een afbeelding van de SX200 zoals deze geleverd is door Enviro techniques LTD uit Engeland.



Figuur 2.1: De SX200 Black smoke monitor

De monitor bestaat uit een basisunit met daarin een pomp om de lucht door het filter te zuigen, een compressor om een druk van 5 bar voor de pneumatiek te regelen en een flowcontroller die met behulp van een elektronisch naaldventiel de luchtflow op 1.39 l/min ($= 2 \text{ m}^3/\text{dag}$) houdt. Het voorpaneel bevat de elektronica en de userinterfase. Deze kan worden bediend door de 4 knoppen onder de display en via de RS232-poorten. Links op het paneel zitten 9 leds die informatie geven over de monitor tijdens het in bedrijf zijn en om fouten weer te geven.

Boven op de basisunit is de eigenlijke sensor gemonteerd in het mechanische deel met links een rol filtermateriaal en rechts de bezogen rol. Het filtermateriaal wordt door een zuigkop geleid die met een pneumatisch systeem bestuurd wordt en waarin zich de sensor bevindt om de reflectie te meten.

De elektronica vertaalt de sensor output in een zwarte rook concentratie en slaat de reflectie- en concentratiegegevens op in een geheugen. Een batterij voorziet de SX200 van noodstroom bij stroomuitval.

2.3.1 Kalibratie van de SX200

De SX200 kalibreert iedere 24 uur bij aanvang van een nieuwe meting de nulinstelling op de schone filter. Dit kalibratiesignaal wordt niet gelogd. Als de kalibratie niet lukt wordt er met de oude instelling verder gemeten en wordt een foutcode (flag) gezet in de dataregel bij de desbetreffende meting.

Met behulp van een softwaretool en een van de 5 geselecteerde Swatch sets (21-24 en 30) kan een monitor ook daadwerkelijk gekalibreerd worden. Een Swatch set bestaat uit 9 geijkte reflectieplaatjes van verschillende zwarte graden. In bijlage 11 staat een overzicht van de reflectiewaarden van deze sets.

3. Uitvoering van de acceptatietest

In 1999 is gestart met een voortraject waarin de eerste monitoren getest zijn in de klimaatkamer en in het veld. Gedurende dit jaar zijn verschillende verbeteringen bedacht en deze zijn door de fabrikant geïmplementeerd. Begin 2000 zijn de verbeterde monitoren teruggekomen en zijn er tevens 5 nieuwe geleverd. Er is een labtest uitgevoerd en vervolgens zijn de monitoren in het veld geplaatst om ze te vergelijken met de LML methode.

3.1 Voortraject

Tijdschema

| | |
|------------|---|
| 29-04-1999 | Na uitvoerig vooronderzoek, aflevering van 12 monitoren. |
| 07-05-1999 | Klimaatkamertests eerste 12 monitoren |
| 08-06-1999 | Installatie van 6 monitoren te WAGENINGEN voor eerste veldtest; (o.a. voor vergelijking met de LML methode) inclusief flow kalibratie en optische kalibratie. De volgende monitoren zijn geplaatst: M028, M030, M021, M024, M029 en M027, respectievelijk A t/m F. |
| 15-06-1999 | Installatie van 6 monitoren te VLAARDINGEN voor veldtest, inclusief flow kalibratie en optische kalibratie: M026, M022 M031, M020, M023 en M025, respectievelijk G t/m L. |
| 16-09-1999 | Eind kalibratie uitgevoerd en monitoren meegenomen uit Vlaardingen. |
| 20-09-1999 | Idem uit Wageningen. |
| 10-12-1999 | 12 stuks Mechanism-onderdeel (= optisch gedeelte + meetkamer) en 12 Front Panels (= elektronica) opgestuurd naar fabriek in Engeland om de lektheid, zowel voor aanzuigflow als wel lichtgevoeligheid te verbeteren. Tevens aanpassing van de software; betere data-uitleesmogelijkheden o.a. stationsnummer LML en het mechanisme nr. kan meegegeven worden. |

Voor de resultaten van deze eerste veldtest, zie bijlage 2.

3.2 Laboratoriumtest

Tijdschema

| | |
|------------|---|
| 12-01-2000 | Aflevering laatste 5 monitoren |
| 12-01-2000 | Selectie van 5 Swatch sets voor kalibratie controle; dit is gedaan om met een beperkt aantal Swatch sets, de optische kalibratie aan alle 17 monitoren te kunnen verrichten. Voorheen behoorde bij elke monitor een eigen specifieke Swatch set, wat tot verwarring 'in het veld' zou kunnen leiden |
| Maart 2000 | klimaatkamertests van de 5 laatste monitoren. |

Doel van de test:

- Primaire controle van
 - flow
 - respons op de Swatch sets
 - gevoeligheid voor netspanningvariaties
- De temperatuurafhankelijkheid van de monitoren.
- Een batterijtest bij spanningsuitval.
- De lektheid door voor en na de meetkamer de flow te meten. Het verschil tussen deze flows mag maximaal 2% van de totale flow zijn.

Uitvoering:

- De kalibratie wordt gecontroleerd met een van de Swatch sets.
- De netspanning wordt verlaagd naar 210V en verhoogd naar 250V.
- De monitoren worden tijdens de klimaatkamertest blootgesteld aan 10°C, 20°C en aan 35°C. De flow en de reflectiewaarde mogen bij 10 en 35°C niet meer dan 5% afwijken ten opzichte van 20°C.
- Bij stroomuitval wordt gecontroleerd of de monitoren nog uitleesbaar zijn via een computer.

3.3 Veldtest

Tijschema

| | |
|------------|--|
| 28-01-2000 | MONITOR M022, M031, M020 en M025 in Vlaardingen geïnstalleerd. (G-J) |
| 02-02-2000 | MONITOR M026 en M023 bijgeplaatst in Vlaardingen (K en L) |
| 10-02-2000 | MONITOR M028, M030, M021, M024, M029 en M027 in Wageningen geïnstalleerd (A-F) |
| 15-03-2000 | Aanhoudende problemen met monitor M020(J); uit Vlaardingen retour naar Bilthoven. Deze monitor is niet meer in het onderzoek betrokken maar wel bedrijfsklaar gemaakt. |
| 28-03-2000 | Vlaardingen eindkalibraties uitgevoerd, data uitgelezen en monitoren retour naar Bilthoven |
| 28-03-2000 | MONITOR M043, M039, M041 en M042 in Vlaardingen geïnstalleerd (M-P) |
| 12-04-2000 | MONITOR M040 bijgeplaatst in Vlaardingen (Q) |
| 06-11-2000 | Monitoren uit Wageningen teruggehaald |
| 09-11-2000 | Monitoren uit Vlaardingen teruggehaald |

3.3.1 De SX200 in vergelijking met de LML methode

In het totaal worden in 2000 17 monitoren in een veldtest vergeleken met de LML methode. In Vlaardingen werden enkele maanden twee groepen monitoren na elkaar getest. In Wageningen werd een groep monitoren gedurende de totale testduur getest. Alle data is verzameld en met elkaar vergeleken in spreadsheets. Hieruit is het gedrag van de SX200 monitoren ten opzichte van de LML methode vast gesteld.

3.3.2 De SX200 meetkop in vergelijking met de LML meetkop

In 2001 is een filterrol uit SX200 monitor M026 (L) die op locatie 640 (Utrecht, Universiteitsbibliotheek) stond opnieuw gemeten met de Referentie methode. Hieruit wordt duidelijk hoe klein de verschillen tussen nieuwe en oude meetkoppen zijn.

4. Resultaten

4.1 Labtest

In de labtest werden de volgende resultaten gemeten:

- De lektheid van alle monitoren is kleiner dan 2% van de totale flow.
- De flow is voor iedere monitor gekalibreerd met behulp van dipswitches in het frontpanel.
- Iedere monitor wordt met een universele Swatch set gecontroleerd. De gevonden waarden vallen binnen de toegestane marge van 0.5% reflectie.
- De gevolgen van spanningsvariaties zijn acceptabel. De respons verandert niet.
- De batterij kan bij spanningsuitval de communicatie in stand houden gedurende ten minste een half uur.

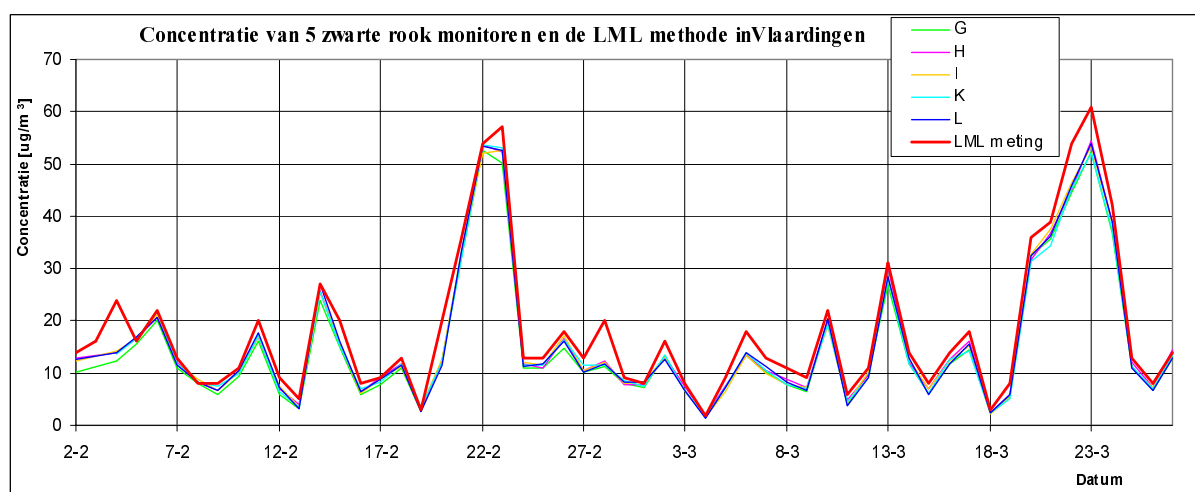
Na aanleiding van het goed doorlopen van deze tests worden de monitoren in de klimaatkamer getest op temperatuurgevoeligheid. De flow en de reflectiewaarden blijven binnen 3% van de ingestelde waarde en voldoen hiermee aan de eis van 5%.

4.2 Veldtest

In deze paragraaf worden in drie sub-paragrafen de gegevens verder geanalyseerd. In paragraaf 4.2.1 worden de monitoren vergeleken met de LML methode. In paragraaf 4.2.2 wordt de reproduceerbaarheid van de metingen aangetoond en in paragraaf 4.2.3 wordt tot slot gekeken naar een meetreeks waarvan met de SX200 en met de LML meetkop de concentratie is bepaald. Hiermee kan het verschil tussen de LML meetkop en de SX200 meetkop worden aangetoond.

4.2.1 SX200 vergeleken met de LML methode

Van iedere monitor zijn dagwaarden opgeslagen in een bestand. Uit de database van het LML zijn meetgegevens van de LML methode gehaald en deze data is per sessie uitgezet in de tijd. Deze grafieken laten zien dat beide methoden elkaar goed volgen en dat de 5 monitoren nagenoeg dezelfde concentraties aangeven (Zie Figuur 4.1)



Figuur 4.1: Concentratie van 5 monitoren uitgezet tegen de LML methode

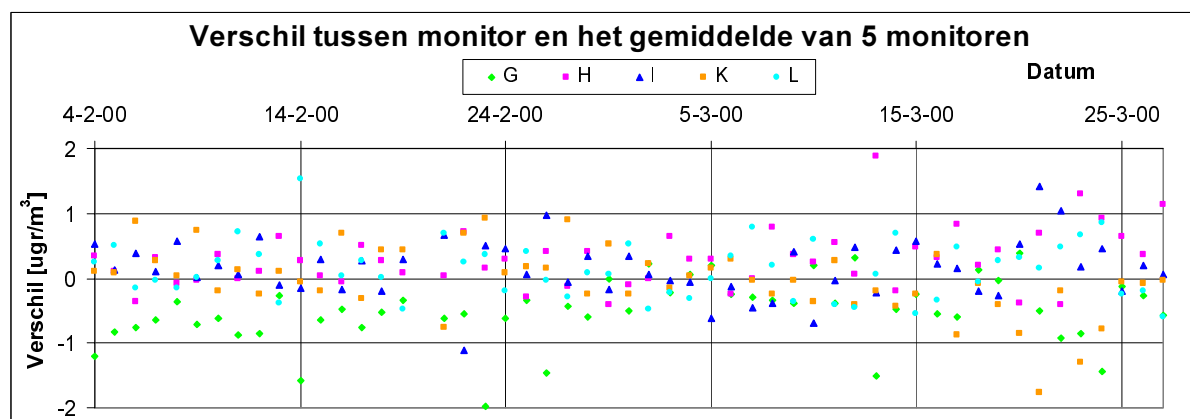
Tabel 4.1: Gemiddelde afwijking en standaard deviatie van de SX200 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ten opzichte van de LML methode

| Monitor | Gemiddeld verschil [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] | St. deviatie van het verschil |
|-------------|---|-------------------------------|
| A | -1.18 | 1.73 |
| B | -1.07 | 1.63 |
| C | -1.03 | 1.70 |
| D | -1.15 | 1.66 |
| E | -0.65 | 1.70 |
| F | -1.20 | 1.76 |
| G | -2.89 | 2.40 |
| H | -2.09 | 2.22 |
| I | -2.22 | 2.13 |
| K | -2.41 | 2.39 |
| L | -2.24 | 2.11 |
| M | -0.97 | 2.25 |
| N | -1.81 | 2.20 |
| O | -1.29 | 2.24 |
| P | -0.29 | 2.59 |
| Q | -0.39 | 3.01 |
| Gem. | -1.43 | 2.11 |

In bijlage 3 t/m 5 zijn de metingen uitgezet tegen de LML meting. In bijlage 6 staan de verschillen van de SX200 met de LML concentraties uitgezet in de tijd. De SX200 geeft meestal lagere concentraties met een gemiddelde afwijking van rond de $1.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. In Tabel 4.1 is de gemiddelde afwijking ten opzichte van de LML methode gegeven voor iedere monitor. Deze cijfers zijn voor data die voor uitbijters gecorrigeerd is.

4.2.2 De SX200 monitoren vergeleken met elkaar

Om de reproduceerbaarheid van de metingen en de stabiliteit van de monitoren te laten zien, is in Figuur 4.2 het verschil weergegeven van iedere monitor ten opzichte van het gemiddelde van de serie monitoren. In bijlage 7 staat deze figuur voor alle monitoren.



Figuur 4.2: Afwijking ten opzichte van het gemiddelde van de monitoren

In Tabel 4.2 is de gemiddelde afwijking ten opzichte van het gemiddelde van een serie SX200 monitoren gegeven volgens formule 4.1.

$$\text{Offset} = 1 \text{ monitor} - \text{gemiddelde}(5 \text{ of } 6 \text{ monitoren}) \quad (4.1)$$

Dit getal staat in de eerste rij en kan gezien worden als de offset van de monitor ten opzichte van het gemiddelde van de monitoren uit een testserie. Als deze waarde laag is (<1) wil dit zeggen dat de monitoren elkaar goed benaderen. In de tweede rij is de gemiddelde absolute afwijking van iedere monitor ten opzichte van het gemiddelde van alle monitoren uitgezet. Het tweede getal zegt iets over de absolute afwijking van monitor ten opzichte van het gemiddelde en bedraagt voor alle monitoren gemiddeld $0.49 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabel 4.2: Offset en gemiddelde absolute afwijking in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ten opzichte van het gemiddelde van de monitoren.

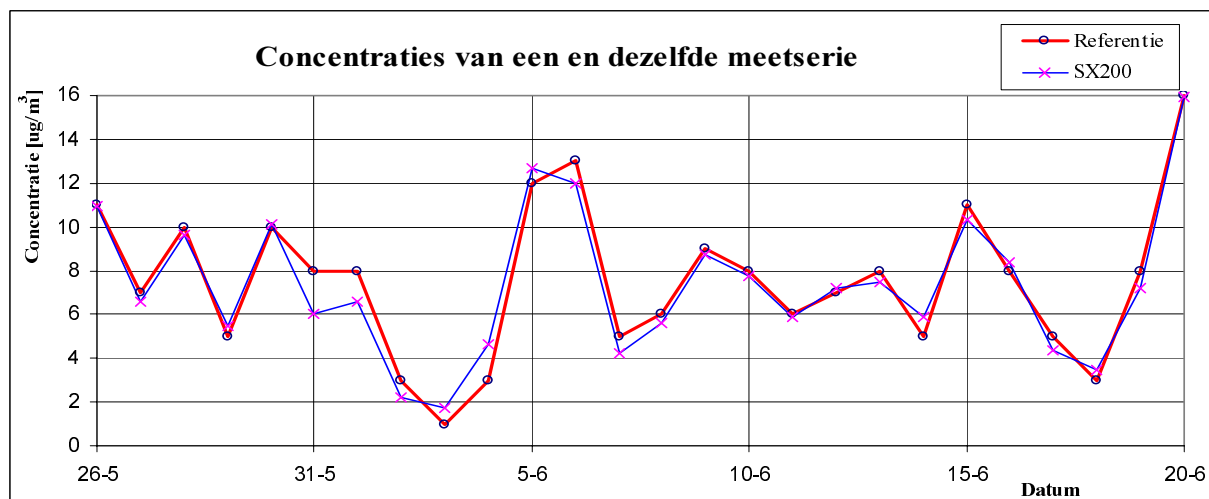
| Lokatie | Monitor | Offset | Gem. Abs. afwijking |
|---------------------------------------|-------------|-------------|---------------------|
| Wageningen | A | 0.06 | 0.24 |
| | B | 0.02 | 0.31 |
| | C | -0.02 | 0.33 |
| | D | 0.10 | 0.32 |
| | E | -0.36 | 0.38 |
| | F | 0.02 | 0.36 |
| Vlaardingen 1 ^{ste} serie | G | 0.50 | 0.58 |
| | H | -0.28 | 0.38 |
| | I | -0.15 | 0.35 |
| | K | 0.04 | 0.37 |
| | L | -0.12 | 0.37 |
| Vlaardingen 2 ^{de} serie | M | 0.04 | 0.65 |
| | N | 0.83 | 0.93 |
| | O | 0.35 | 0.54 |
| | P | -0.66 | 0.73 |
| | Q | -0.52 | 1.03 |
| Alles | Gem. | 0.01 | 0.49 |

De stabiliteit van de monitoren blijkt uit de constante verhoudingen van de meetgegevens. Over meerdere maanden blijft de gemiddelde afwijking tussen de monitoren nagenoeg gelijk. Zouden de monitoren niet stabiel zijn dan zou dit duidelijk een verslechtering te zien moeten geven.

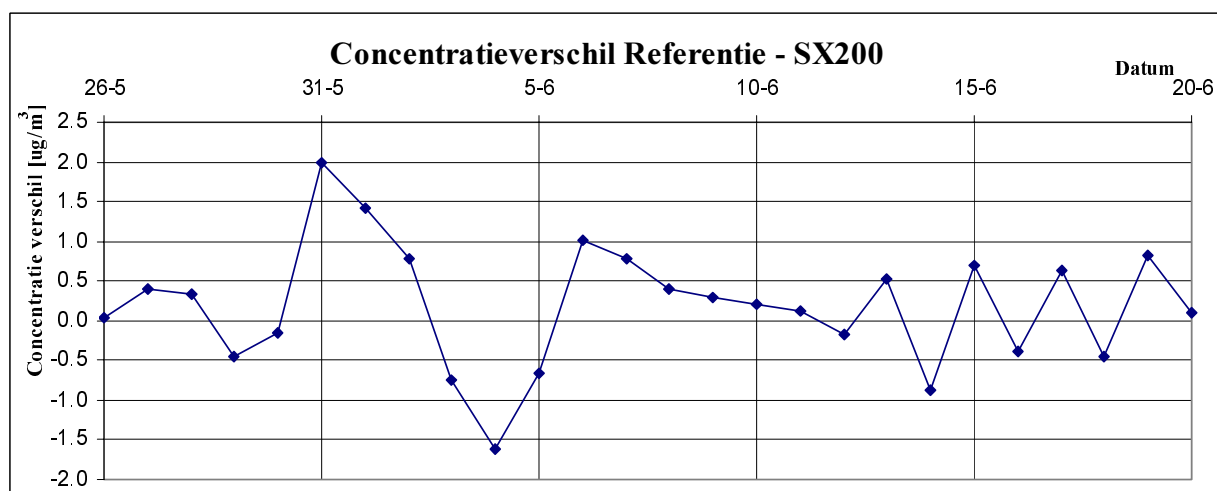
Bij de laatste groep hebben monitoren P en Q overigens het grootste gedeelte van de veldtest een grote negatieve offset. De laatste maand trekt dit echter bij en is het beeld hetzelfde als bij de andere twee groepen. Deze afwijking is niet direct verklaard maar omdat de monitoren over het algemeen zeer stabiel gedrag vertonen lijkt het aannemelijk dat het hier om een tijdelijk probleem ging. De laatste meetmaand blijven de monitoren van de derde groep binnen $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ van elkaar. In de getallen uit tabel 4.2 is dit echter niet direct af te lezen.

4.2.3 De SX200 meetkop vergeleken met de LML meetkop

Om de invloed van de meetkop op de afwijking van de veldtest data te bepalen is van een recent bezogen filterband uit een SX200 nogmaals de reflectie bepaald met de LML meetkop. Deze metingen zijn in Figuur 4.3 uitgezet. De omrekening van de LML methode is als normaal toegepast om een vergelijkbaar resultaat te laten zien. Dus met twee keer afronden. Het verschil tussen de twee metingen is in Figuur 4.4 uitgezet.



Figuur 4.3: Twee metingen van dezelfde filterrol van station 640 in 2001



Figuur 4.4: Verschil tussen bovenstaande twee metingen

4.3 Percentiel waarden

De 50- en 98-percentiel waarden voor het verschil tussen de SX200 en de LML methode zijn respectievelijk 1.3 en 7.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Deze waarden vallen binnen de eisen gesteld in EUR 14550/II. De 50-percentiel is goed te vergelijken met het gemiddelde verschil van 1.43. De 98-percentiel kan gezien worden als een maximale afwijking.

5. Discussie

Bij het vergelijken van twee verschillende typen monitoren wordt altijd een afwijking gevonden. De grootte van deze afwijking wordt beïnvloed door verschillende factoren. Bij het bepalen van de concentratie zwarte rook zijn de volgende parameters van belang:

- Volume lucht dat door het filter is gezogen
- De omzetting van reflectie percentage naar concentratie

Deze parameters worden in paragraaf 5.1 besproken.

De reflectiewaarde wordt vastgesteld door de meetkop. Deze is vergeleken door een aantal filters met vervuiling te meten met de SX200 en de LML methode. Hierdoor wordt het verschil tussen beide methoden zichtbaar. Na het vaststellen van de reflectie waarde wordt de concentratie berekend.

In paragraaf 5.2 wordt de correlatie tussen de monitoren en de LML methode besproken. Tevens wordt vastgesteld of de regressielijn binnen toelaatbare grenzen valt die bepaald worden door de onzekerheden in de LML methode.

5.1 Belangrijkste oorzaken van afwijkingen

5.1.1 Flow afwijkingen

Het volume dat per meting van 24 uur door het filter moet worden gezogen is vastgesteld op 2 m^3 bij normaal condities (20°C en een luchtdruk van 1013 mbar). De concentratie wordt bepaald door:

$$C = AS / V \quad (5.1)$$

waarin geldt:

- C = concentratie in $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- A = filter oppervlak (5 cm^2)
- V = gemeten volume in m^3
- S = een getal dat berekend wordt uit de reflectiewaarde

De LML methode rekent standaard met $V = 2 \text{ m}^3$. De werkelijk gemeten flow is wel opgeslagen en beschikbaar voor bijvoorbeeld validatie. Als V bijvoorbeeld 5% te hoog is moet de concentratie eigenlijk gecorrigeerd worden door:

$$C_{\text{Gecorrigeerd}} = C * \frac{2(\text{m}^3)}{2(\text{m}^3) * 105\%} \quad (5.2)$$

Dit wordt in de LML methode achterwege gelaten als de afwijking in het volume kleiner is dan 10% van 2 m^3 . Dit is in de gehele periode het geval (Zie Bijlage 8). De afwijking in de werkelijke concentratie is dus evenredig met de afwijking in de flow. Is de afwijking groter dan 10% dan wordt de betreffende meting afgekeurd.

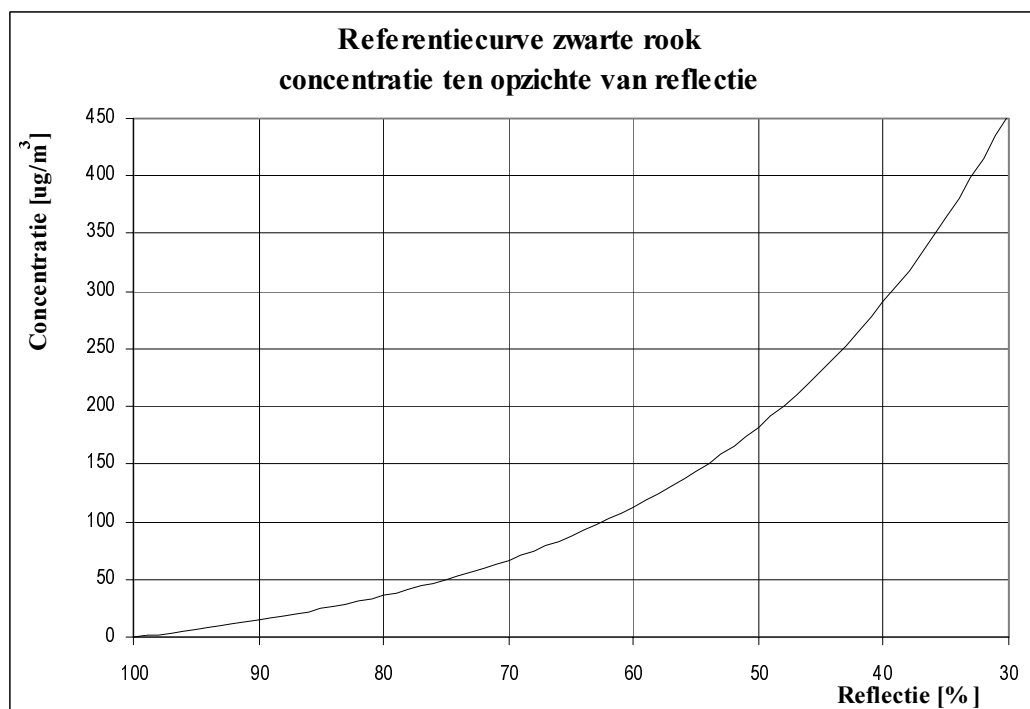
De SX200 monitoren hebben een actieve regeling die de flow constant houdt zodat een fout van maximaal 2% ontstaat. Hierdoor wordt een verschil in concentratie met de LML methode verkregen dat op kan lopen tot maximaal $10 + 2 = 12\%$. In de praktijk blijkt deze afwijking echter vaak mee te vallen (5% volgens bijlage 8).

De hoeveelheid aangezogen lucht van de LML methode wordt niet continu bewaakt. Er wordt gewerkt met een kritisch capillair. Deze geeft niet exact de juiste flow maar valt wel binnen een marge van 2.8 procent. In bijlage 8 is de flow van beide locaties uitgezet. Locatie Vlaardingen laat een structureel te hoge flow zien. Locatie Wageningen volgt de voorgeschreven waarde beter. In Vlaardingen wordt hierdoor een grotere afwijking verwacht. In de veldtest wordt dit echter niet direct zichtbaar door een gemiddeld hogere afwijking.

5.1.2 Omzetting van reflectie percentage naar concentratie

De omzetting van reflectie percentage naar S (Formule 5.1) gebeurt aan de hand van een referentie curve (Figuur 5.1). Deze curve wordt benaderd door de volgende vergelijking:

$$S = 6.024 \cdot 10^2 - 2.189 \cdot 10^1 R + 3.260 \cdot 10^{-1} R^2 - 2.321 \cdot 10^{-3} R^3 + 6.481 \cdot 10^{-6} R^4 \quad (5.3)$$

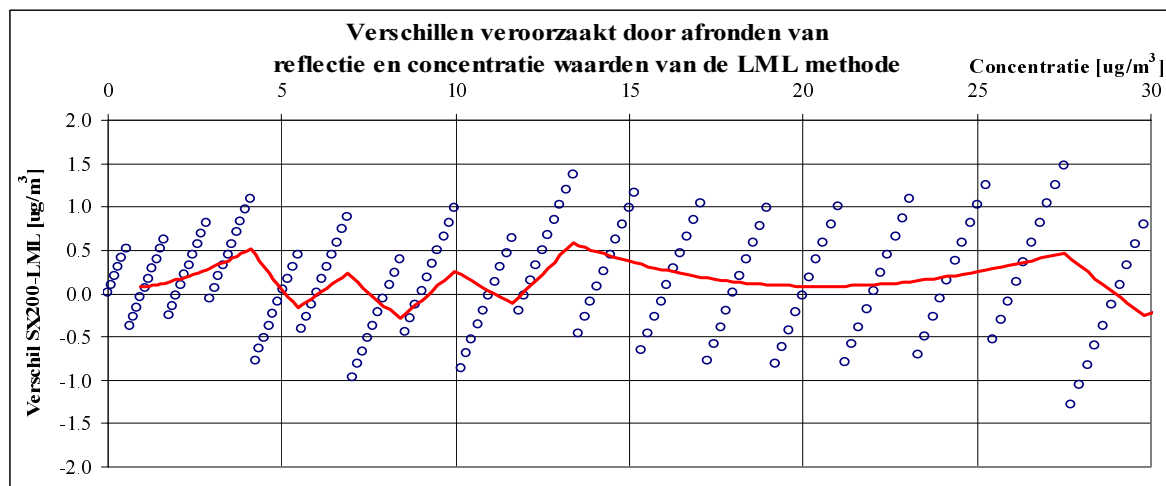


Figuur 5.1 : Referentie curve

Waarna volgens formule 5.1 de concentratie berekend wordt.

De LML methode gebruikt alleen gehele reflectie getallen. De SX200 is stabiel en gebruikt de reflectie tot op 0.1%. Bij een reflectie van bijvoorbeeld 95.4% wordt de concentratie volgens de LML methode voor 95% dan $6.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Vervolgens wordt de LML concentratie ook nog afgerond naar een geheel getal. Om met het voorbeeld te spreken: bij een reflectie van 95.4 zal de LML methode een concentratie van $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ produceren tegen $5.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ voor de SX200 een verschil van $0.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hierdoor kan het verschil tussen beide methoden oplopen tot $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (bij $27.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$). In de praktijk zal het gemiddelde verschil kleiner zijn. In Figuur 5.2 staan de concentratie verschillen uitgezet tegen de gemeten concentratie van de SX200 volgens de volgende formule:

$$\text{Concentratie verschil} = C_{SX200} - C_{LML} \quad (5.4)$$



Figuur 5.2: Concentratie verschillen door het afronden van de LML waarden

De gemiddelde concentratieverschillen over 10 waarden laten zien dat afronden tot gevolg heeft dat bij een homogene concentratie verdeling over een meetperiode het verschil door afronding ongeveer $0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bedraagt waarbij de SX200 structureel hoger zou moeten meten dan de LML methode. In de praktijk is het omgekeerde echter zichtbaar. De afronding is dus geen oorzaak van het gemeten verschil. Sterker nog, het verschil is misschien zelfs $0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ groter dan $1.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

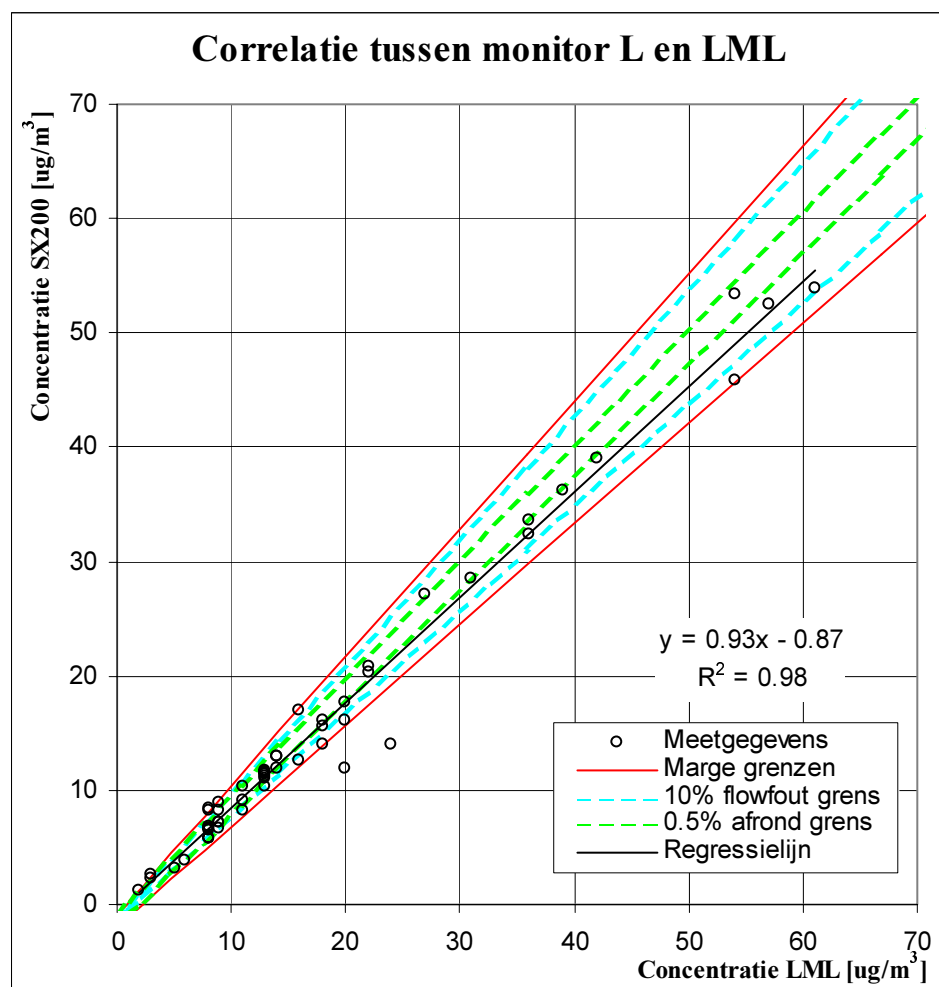
5.2 Correlatie tussen de SX200 en de LML methode

Correlatie grafieken geven een goed beeld van de overeenkomst tussen de SX200 en de LML methode. Er zijn echter een paar zaken die in gedachten gehouden moeten worden bij het interpreteren van deze grafieken; omdat de nauwkeurigheid van beide methoden niet overeenkomt is de correlatie niet optimaal. De grafiek bestaat uit groepjes SX200 data per LML waarde. Daarnaast geeft een correlatie coëfficiënt alleen informatie over de mate van lineariteit.

De data is voor iedere monitor in een correlatie grafiek uitgezet zodat een correlatie coëfficiënt kan worden bepaald. Deze moet volgens voorschrift [EUR 14550/II EN] minimaal 0.94 zijn. In Figuur 5.3 is deze correlatiegrafiek voor monitor L weergegeven. Deze grafiek is verkregen na het verwijderen van uitbijters. In de serie M-Q komt bijvoorbeeld een LML waarde van $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ voor terwijl alle 5 SX200 monitoren die parallel meten een veel lagere concentratie van $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ geven. Op andere dagen meten de monitoren echter $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ waar de LML methode ook rond de $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ meet. Het verwijderen van een of twee van deze uitbijters levert een forse verbetering op van de Correlatie coëfficiënt. In bijlage 9 staan de correlatie grafieken van alle monitoren.

De regressielijn die de correlatiefactor bepaald moet binnen een nauw bepaalde foutenmarge liggen om geaccepteerd te worden. Deze foutenmarge wordt bepaald door de afrondfout bij het aflezen van de LML methode van 0.5% (5.1.2) en de flowfout van de LML methode die binnen 10% ligt. De afrondfout heeft bij lage concentraties een grote invloed en de flowfout bij hoge concentraties. Bij alle monitoren valt de regressielijn binnen deze grenzen. Verder valt op dat de LML concentraties afgerond zijn naar gehele getallen.

In Tabel 5.1 zijn de coëfficiënten van de SX200 methode vergeleken met de LML methode.



Figuur 5.3 : Correlatie van monitor L met de LML methode

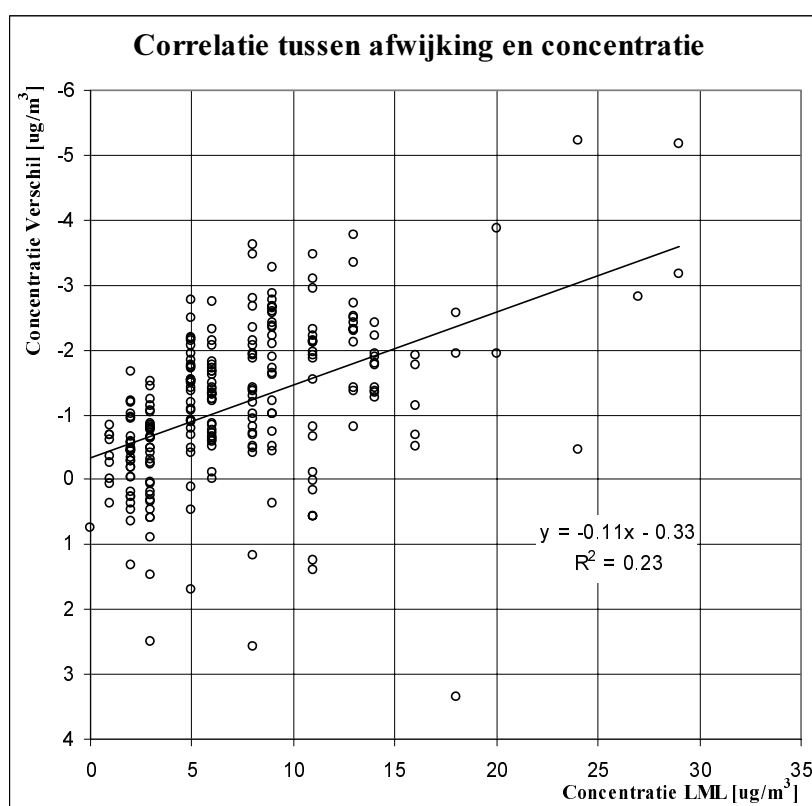
Tabel 5.1: Correlatiegetallen van alle monitoren

| Monitor | R.C. | Constante (Y-as) | Correlatie coëfficiënt R^2 |
|-------------|-------------|------------------|------------------------------|
| A | 0.88 | -0.47 | 0.94 |
| B | 0.89 | -0.34 | 0.95 |
| C | 0.87 | -0.21 | 0.94 |
| D | 0.90 | -0.54 | 0.94 |
| E | 0.92 | -0.12 | 0.95 |
| F | 0.86 | -0.25 | 0.93 |
| G | 0.89 | -0.96 | 0.98 |
| H | 0.92 | -0.57 | 0.98 |
| I | 0.92 | -0.71 | 0.98 |
| K | 0.90 | -0.60 | 0.98 |
| L | 0.93 | -0.87 | 0.98 |
| M | 0.93 | 0.12 | 0.93 |
| N | 0.91 | -0.31 | 0.93 |
| O | 0.89 | 0.47 | 0.93 |
| P | 0.95 | 0.59 | 0.91 |
| Q | 0.94 | 0.63 | 0.88 |
| Gem. | 0.91 | 0.01 | 0.95 |
| Gem. A-F | 0.89 | -0.32 | 0.94 |
| Gem. G-L | 0.91 | -0.74 | 0.98 |
| Gem. M-Q | 0.92 | 0.30 | 0.92 |

De laatste groep M tot Q lijkt met een R^2 van gemiddeld 0.92 niet aan de norm van minimaal 0.94 te voldoen. Echter, bij het vergelijken van de data wordt over het hoofd gezien dat de SX200 tot $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nauwkeurige waarden geeft terwijl de LML methode alleen gehele getalwaarden beschikbaar stelt. Hierdoor worden alle waarden die $\pm 0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ rond een gehele LML-waarde zitten bij elkaar geveegd. Dit heeft een negatief effect op R^2 .

Omdat alle monitoren regelmatig gezamenlijk afwijken ten opzichte van de handmethode en omdat op andere dagen dezelfde concentraties worden gemeten zonder grote afwijkingen lijkt het logischer om een fout te zoeken bij de LML methode.

Wordt de correlatie tussen het concentratieverschil van beide methodes en de LML concentraties weergegeven zoals in Figuur 5.4 dan is een zwakke correlatie zichtbaar tussen de afwijking en de concentratie. Hoe hoger de concentratie, hoe groter de afwijking. Deze fout is relatief ongeveer 10% van de concentratie.



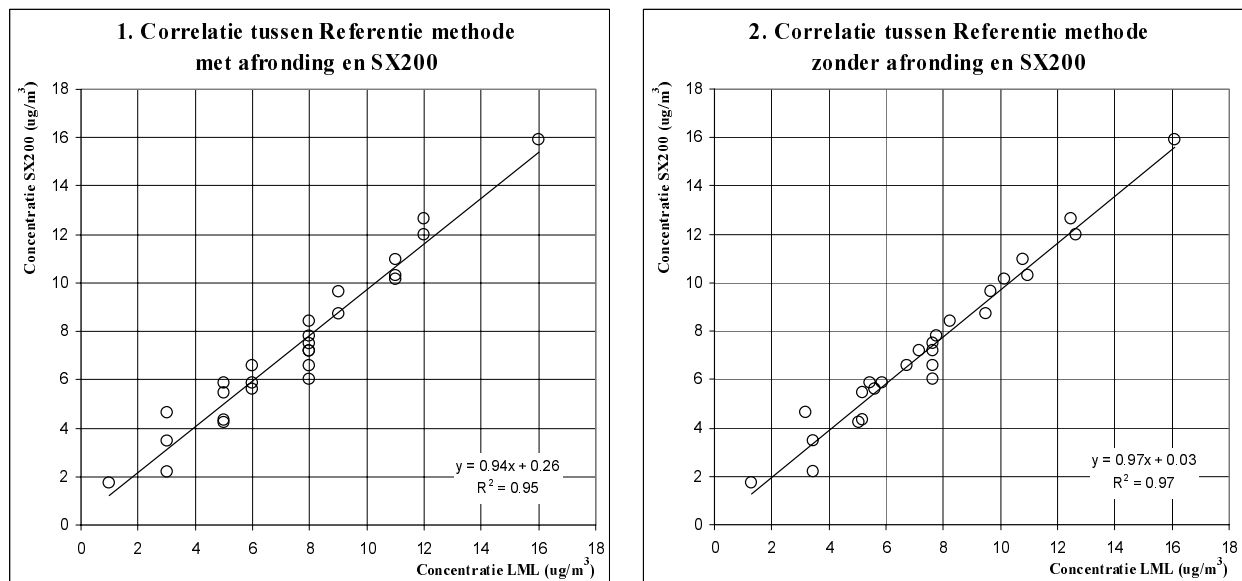
Figuur 5.4 Afwijking in relatie tot concentratie

5.3 De SX200 meetkop vergeleken met de LML meetkop

Bij de vergelijkende test van een bezogen filterrol tussen de SX200 en de LML methode wordt een goede overeenkomst waargenomen met de veldtests wat betreft R^2 . Het gemiddelde verschil tussen beide meetmethoden is $0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Als de afwijking absoluut wordt genomen is deze gemiddeld $0.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Deze spreiding heeft zijn invloed op de correlatie coëfficiënt. R^2 heeft dezelfde omvang als de R^2 die in de veldtests naar voren komt, namelijk bijna 0.95.

De invloed van afronden wordt duidelijk in Figuur 5.5. Hier zijn de correlatiegrafieken voor twee situaties geplaatst. Is in situatie 1 de R^2 nog 0.95 met afronden, in Situatie 2 is de R^2 zonder afronden 0.97. Afronden heeft dus een negatieve invloed op R^2 . Door het afronden

wordt de correlatiecoëfficiënt ongeveer 0.02 lager. Het gemiddelde van 0.95 is dus eigenlijk nog wat beter en voldoet aan de eis van 0.94



Figuur 5.5: Correlatie tussen beide methoden met en zonder afronden

Omdat de gemiddelde concentratie afwijking bij deze vergelijking maar $0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ is, wordt het gemiddelde veldtest verschil niet verklaard door de verschillen in de koppen. Het verschil tussen deze test en de veldtest moet een andere oorzaak hebben. Het grote verschil tussen deze testen is het feit dat de flow eenmalig door de SX200 is bepaald op $2 \text{ m}^3/\text{dag}$. Het flowverschil dat in de veldtest aanwezig kan zijn is in deze test zeker niet aanwezig. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de flow in de veldtest een deel van de verschillen verklaard.

5.4 Andere afwijkingsbronnen

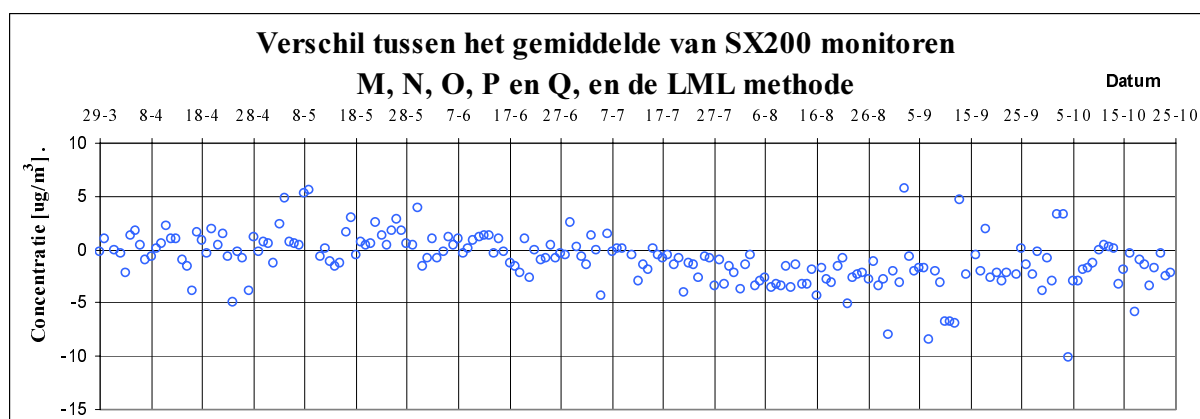
Fouten in de LML methode zijn moeilijk vast te stellen. Alleen door te vergelijken met omliggende meetpunten kan een indicatie verkregen worden van zeer afwijkende metingen. Kleine fouten worden hierdoor zeker niet opgespoord.

In het kalibratie rapport dat is verstrekt door de fabrikant is van monitoren M020 tot M031 een kalibratie grafiek gegeven waaruit blijkt dat de monitoren bij een reflectie van rond de 95% een waarde geven die ongeveer 1% lager ligt dan de referentie die door RIVM geleverd was. Hierdoor kan een kleine afwijking in de metingen verklaard worden. De gemiddelde gemeten concentraties zwarte rook waren in Wageningen $6.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hierbij hoort een reflectie van 94.75 %. Rond deze waarde is het verschil dus 1% wat een structurele fout van ongeveer $1.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ kan geven. Dit verklaart niet alle gevallen omdat er bij andere concentraties een veel kleinere afwijking is.

Lekkende kleppen in het LML systeem veroorzaakten soms een valse luchtstroom langs een al bezogen filter waardoor de gemeten concentratie van een bepaalde dag hoger kan worden dan deze eigenlijk is. Dit kan een oorzaak zijn voor sommige afwijkingen. Maar lijkt tijdens deze veldtest niet van invloed te zijn geweest. In de SX200 kan dit probleem zich echter helemaal niet meer voordoen.

5.5 Speciale gevallen

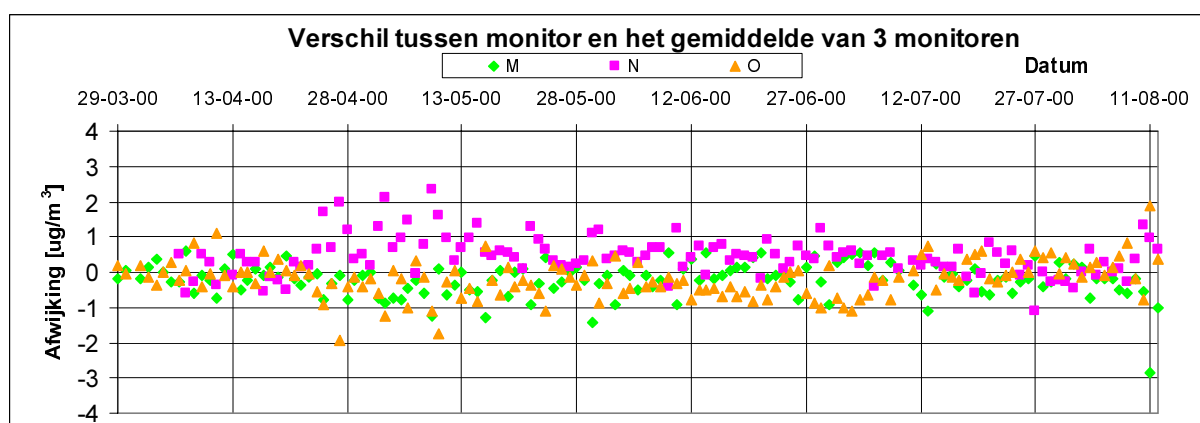
De gemiddelde waarde van 5 monitoren afgetrokken van de LML waarde is uitgezet in Figuur 5.6 voor monitoren M t/m Q. De afwijking is gemiddeld ongeveer $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ al zijn er ook uitschieters. Een duidelijke verklaring voor deze uitschieters is er niet. De LML methode geeft meestal een hogere concentratie dan de monitoren. Tot 20 juli is het gemiddelde verschil $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Daarna worden de SX200 monitoren gemiddeld $2.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lager dan de LML methode. De oorzaak van de grotere gemiddelde afwijking na 20 juli 2000 is niet gevonden.



Figuur 5.6 : afwijking van de SX200 in 2000 t.o.v. de LML methode

De grootste verschillen worden bereikt bij grote sprongen in de concentratie. De LML monitor en de SX200 monitoren stijgen of dalen niet tegelijk naar het juiste niveau. De metingen voor en na deze uitschieters verschillen niet veel van elkaar.

De monitoren M tot Q zijn ten opzichte van elkaar juist eensgezinder in de laatste maanden. Terwijl de afwijking dus opeens gemiddeld $2.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wordt. In Figuur 5.7 blijken de monitoren M, N en O over het algemeen maximaal $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ afwijking ten opzichte van elkaar te hebben.



Figuur 5.7: Vergelijken van monitoren uit groep 3 zonder P en Q

6. Conclusie

Alle 17 monitoren zijn gedurende meerdere maanden getest. Tijdens deze tests zijn er nog een aantal modificaties gepleegd door de fabrikant naar aanleiding van kleine gebreken die optraden tijdens de labtests. Hierna zijn alle monitoren goed bevonden voor de veldtest.

De monitoren vertonen een acceptabele spreiding van gemiddeld $0.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ten opzichte van elkaar. Ten opzichte van de LML methode zijn de SX200 meetwaarden gemiddeld $1.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lager dan de LML waarde. Dit heeft verschillende oorzaken. De belangrijkste oorzaak is het verschil in flow.

De stabiliteit van de monitoren blijkt uit de constante verhoudingen van de meetgegevens. Over meerdere maanden blijft de gemiddelde afwijking tussen de monitoren nagenoeg gelijk. Zouden de monitoren niet stabiel zijn dan zou een duidelijke verslechtering te zien moeten zijn.

De nieuwe versie van de meetkop is stabiel maar geeft blijkbaar een iets lagere waarde dan de LML methode. De correlatie coëfficiënt R^2 is gemiddeld 0.95. Voor een aantal monitoren ligt deze waarde echter lager op 0.92. Dit voldoet in eerste instantie niet aan de eis van 0.94 maar hierbij wordt geen rekening gehouden met de nauwkeurigheid van de SX200. Deze is namelijk nauwkeurig tot $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ terwijl de LML methode een resolutie van $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ heeft. Hierdoor is de correlatiecoëfficiënt ongeveer 0.02 lager dan bij gelijke nauwkeurigheid. Ook de lage waarden voldoen hierdoor aan de eis.

Bij het vergelijken van de meetkoppen op een en dezelfde serie bezogen filters, wordt een zelfde beeld waargenomen als bij de veldtest zichtbaar was; de referentie methode produceert gemiddeld een iets hogere meetwaarde dan de SX200 en de correlatie tussen beide metingen komt uit op een R^2 van 0.95.

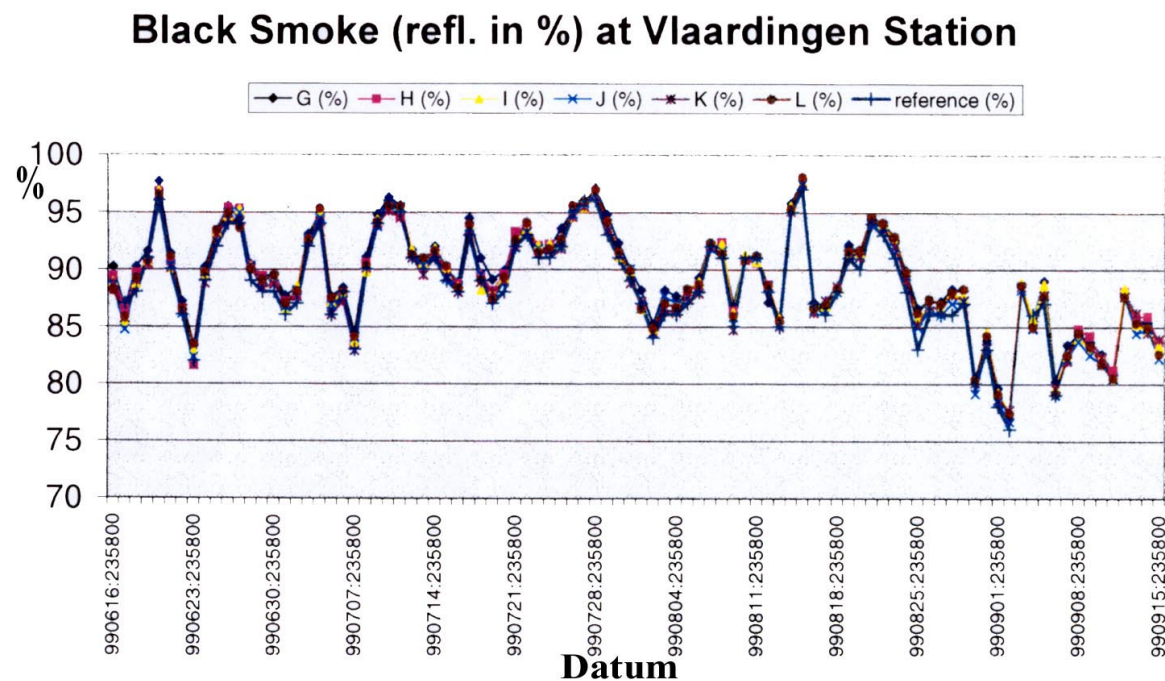
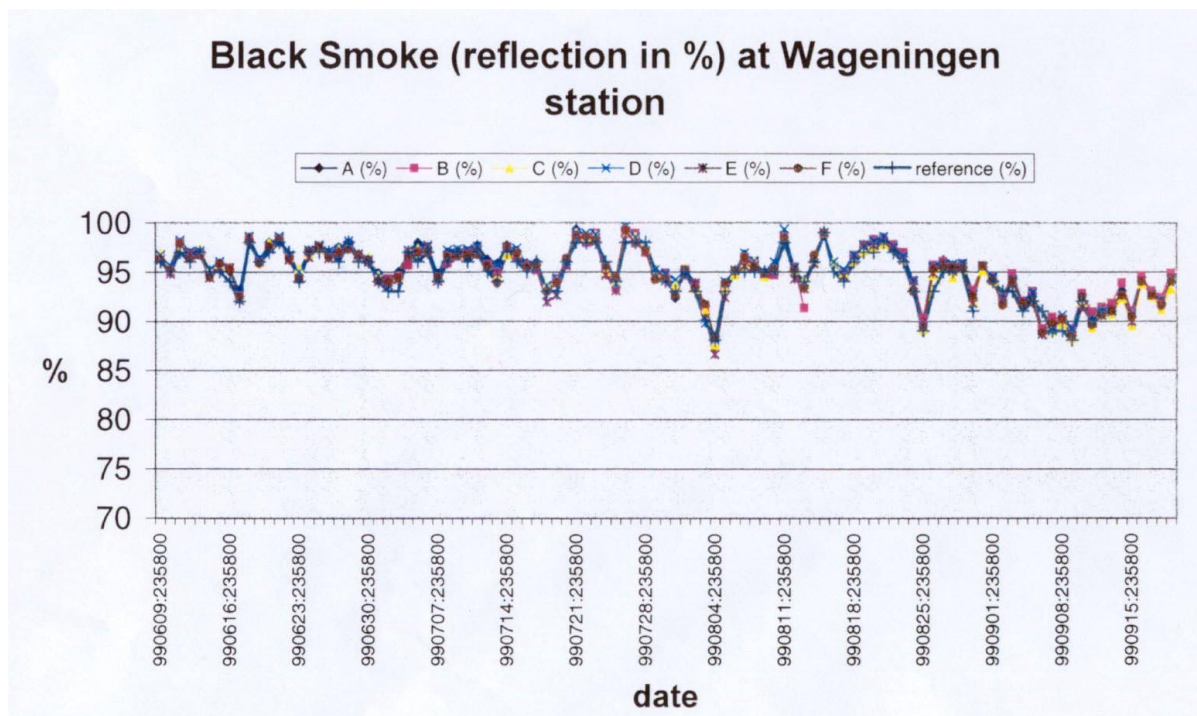
De SX200 monitoren geven in minder dan 2% van de metingen een te grote afwijking ten opzichte van de LML methode. Eventuele menselijke fouten zijn minder waarschijnlijk.

7. Bijlagen

Bijlage 1: Verzendlijst

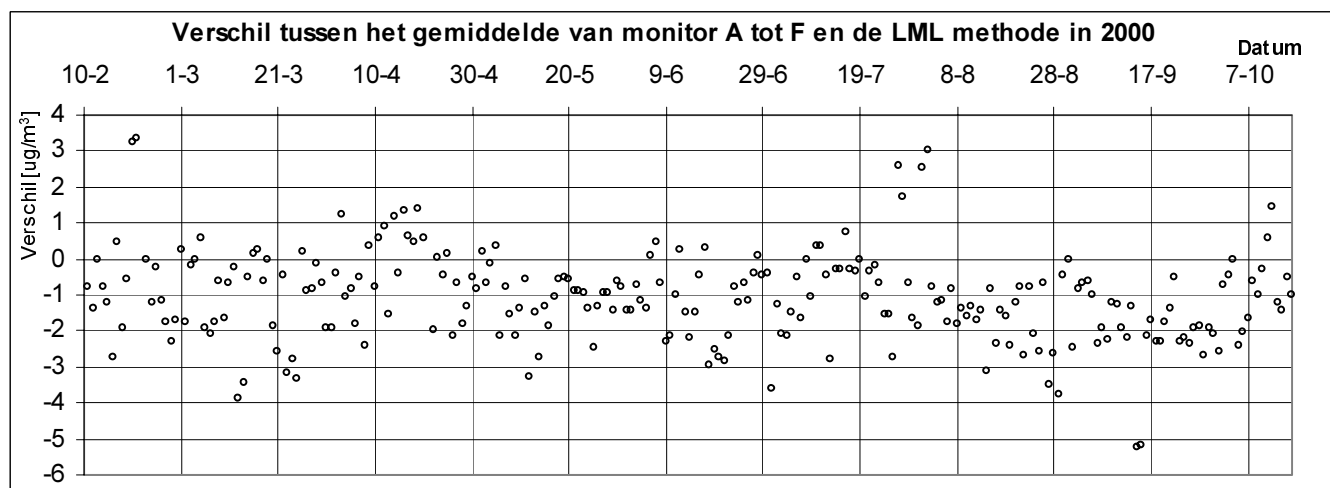
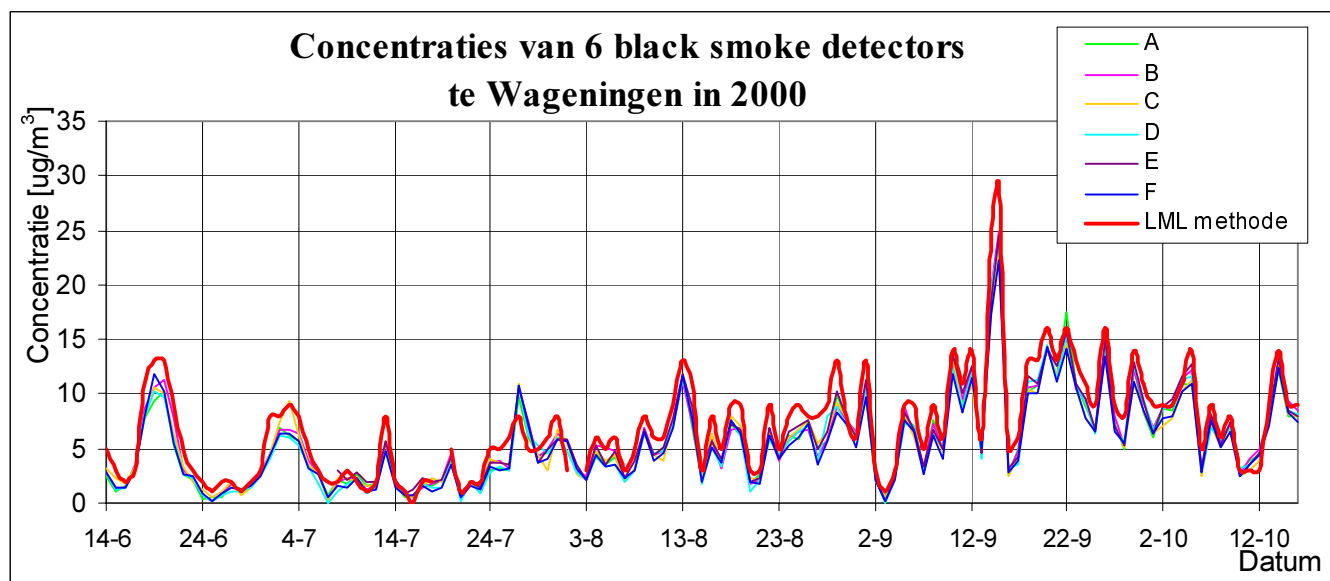
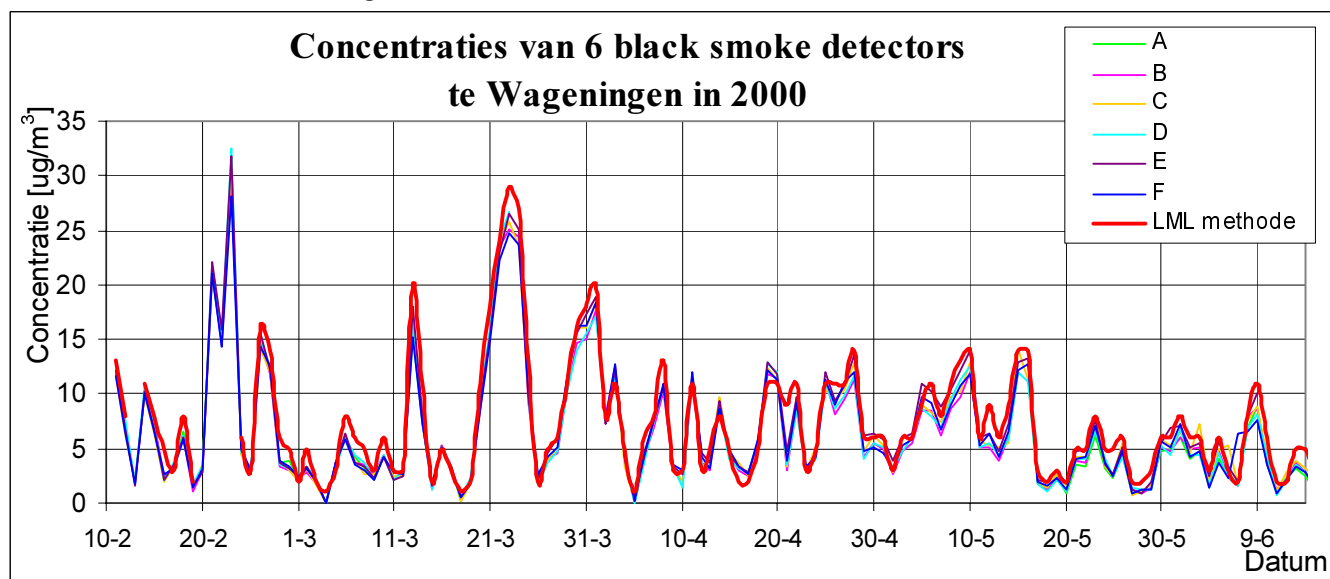
1. Depot van Nederlandse publikaties en Nederlandse bibliografie
2. Directie Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu
3. Auteur
4. SBD/Voorlichting & Public Relations
5. Bureau Rapportenregistratie
6. Bibliotheek RIVM
7. Bibliotheek MEV (LLO)
8. Ir. R.A.W. Albers
9. Dr. A. van der Meulen
10. D. van Straalen
11. J.P.J. Berkhout
12. H.P. Bos
13. L. Liebrecht
14. T.A. Regts
15. J.T. Schippers
16. Ir. A.P. Stolk
17. Ing. J. Venema
18. P.W. de Vos
- 19-29 Bureau Rapportenbeheer
- 30-34 MEV (LLO) archief
- 35-40 Reserve exemplaren

Bijlage 2: Resultaten van de veldmeting in 1999 voor monitoren A – F en G – H



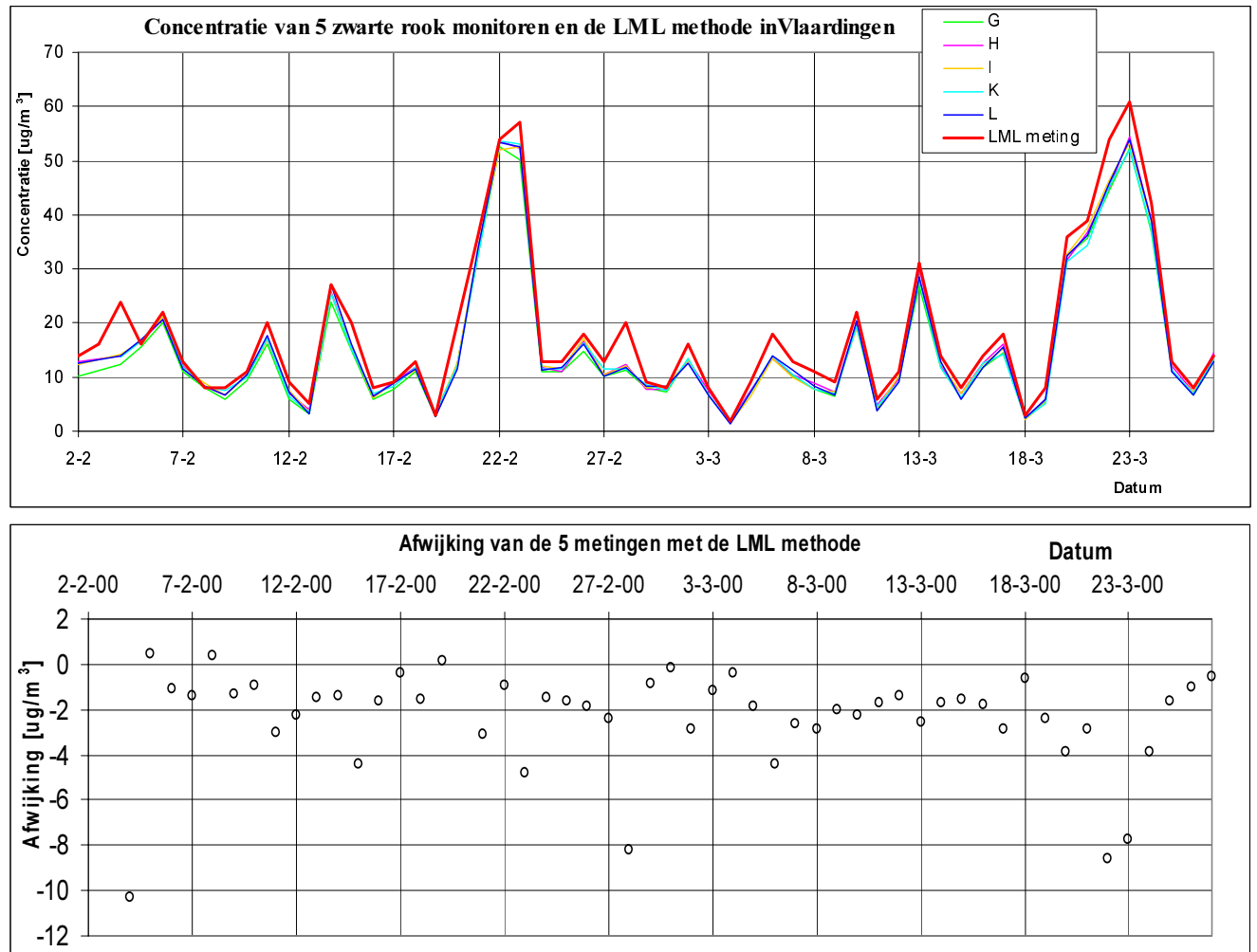
Bijlage 3: Resultaten van de veldmetingen in 2000

Monitoren A t/m F. In twee grafieken van 10-2-00 tot 14-6-00; voor het overzicht.



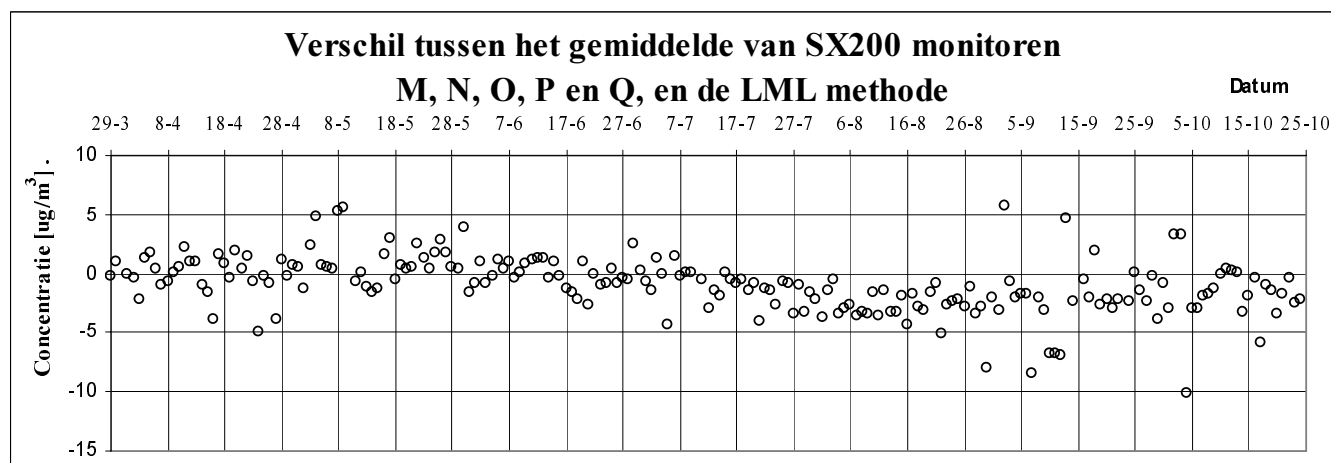
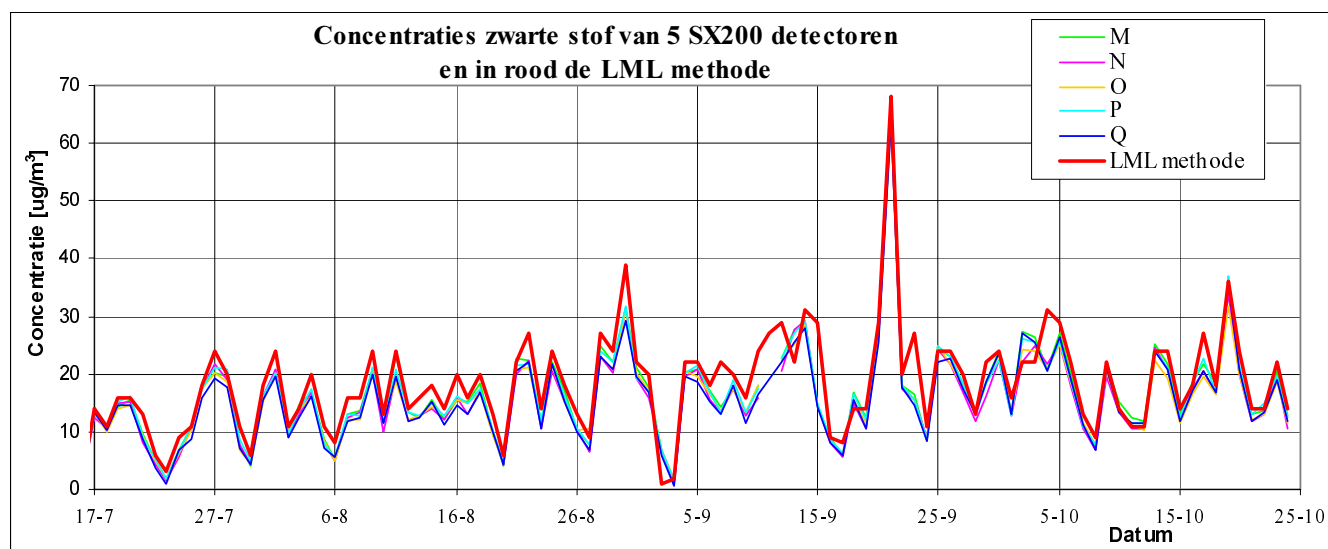
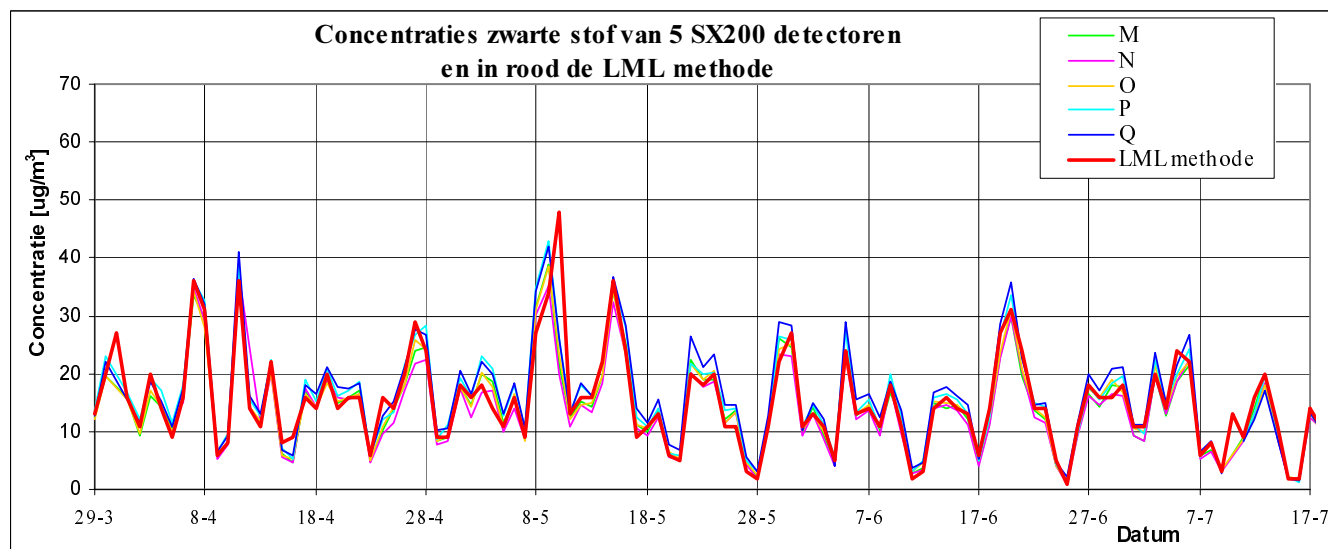
Bijlage 4: Resultaten van de veldtest voor monitor G t/m L

Monitoren G t/m L van 29-3-00 tot 24-10-00.

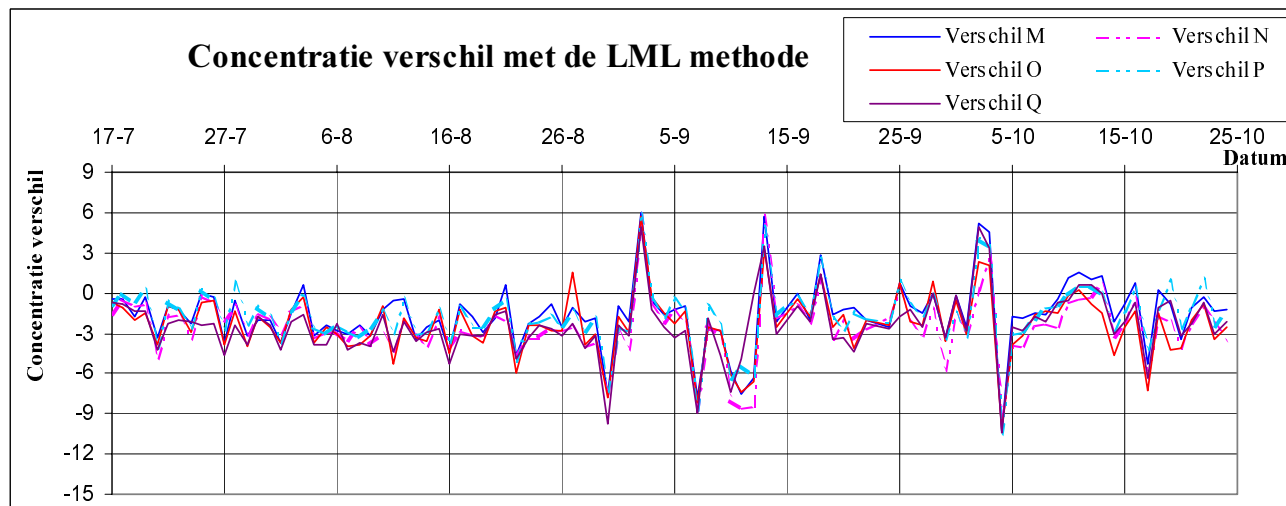
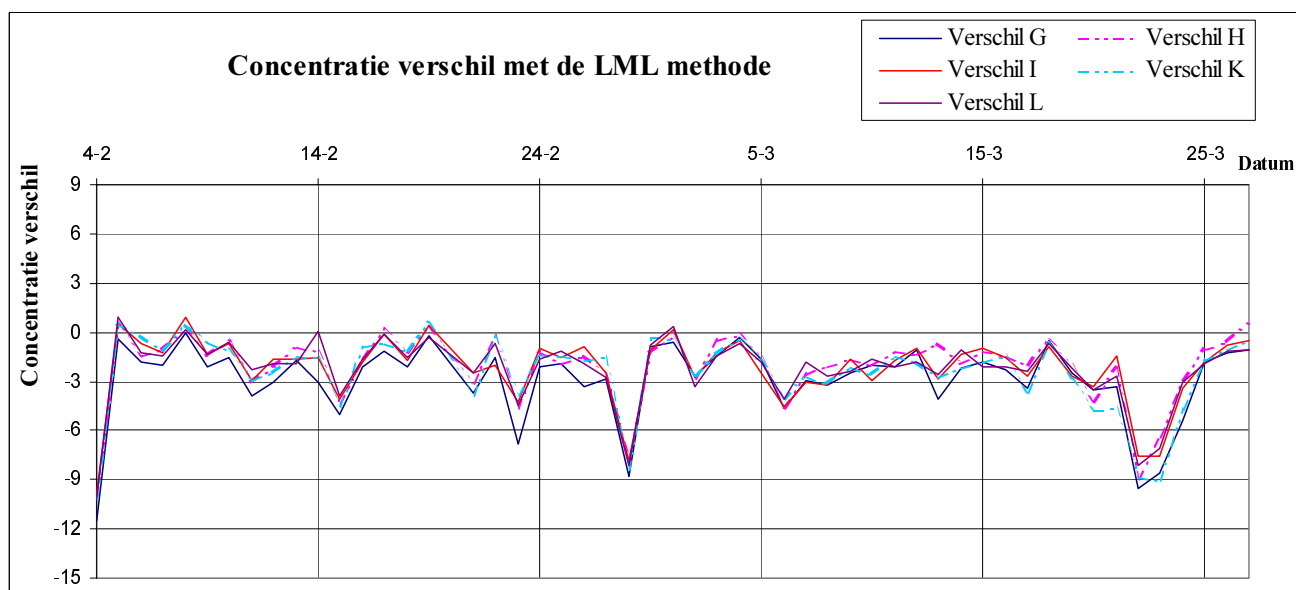
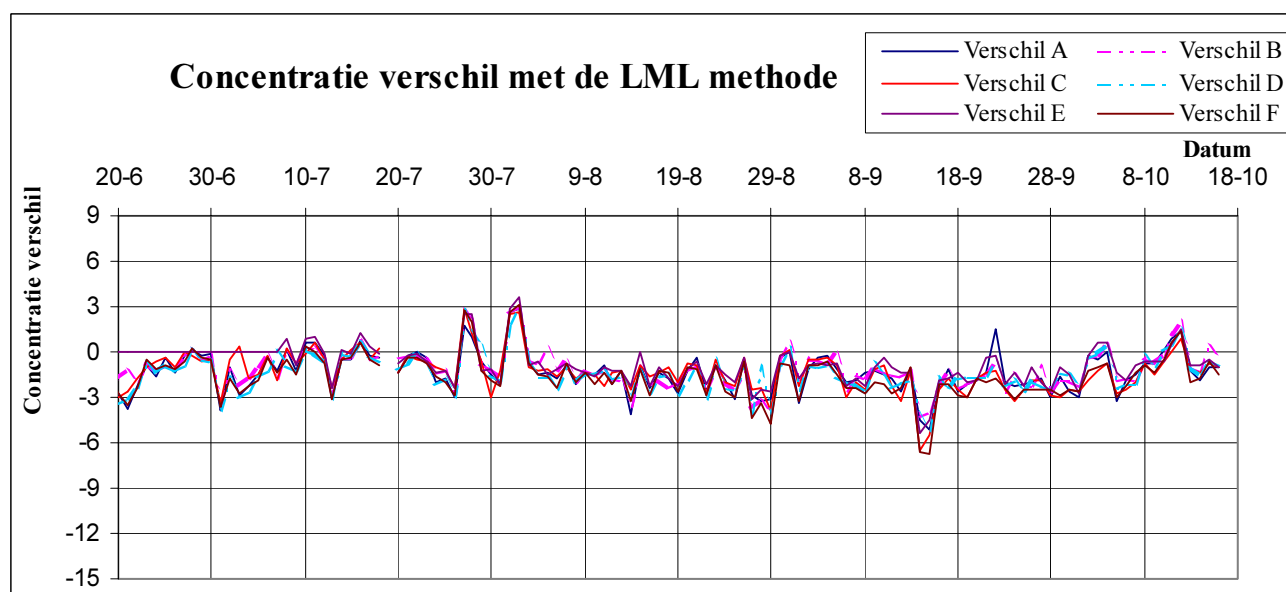


Bijlage 5: Resultaten van de veldtest voor monitor M t/m Q

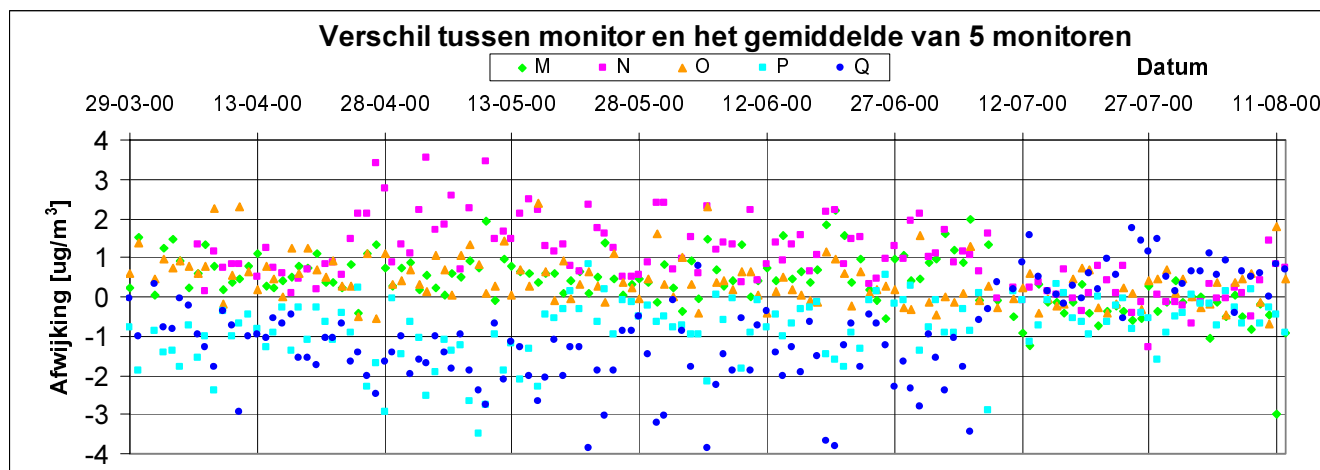
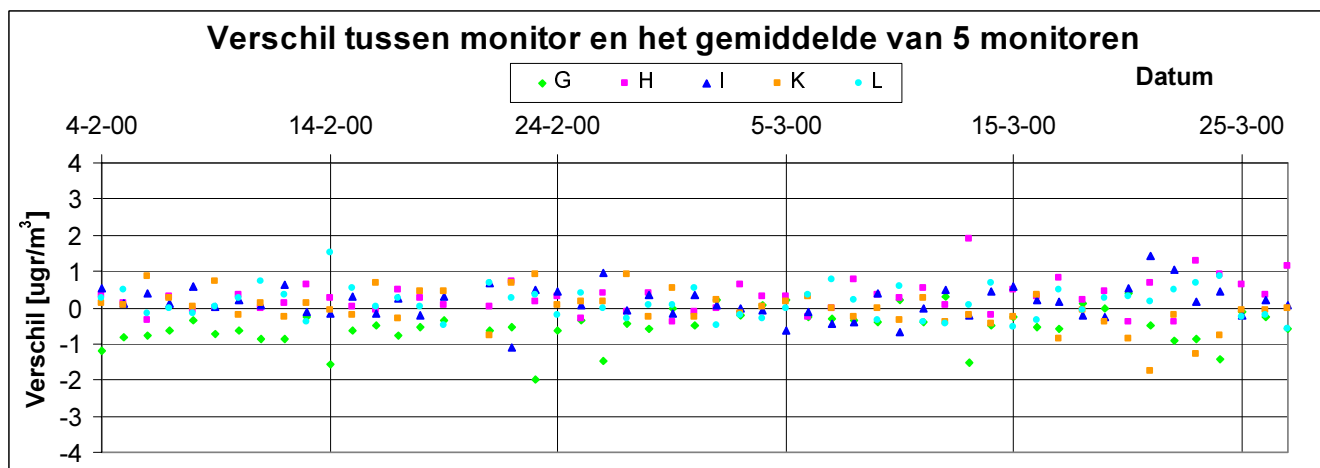
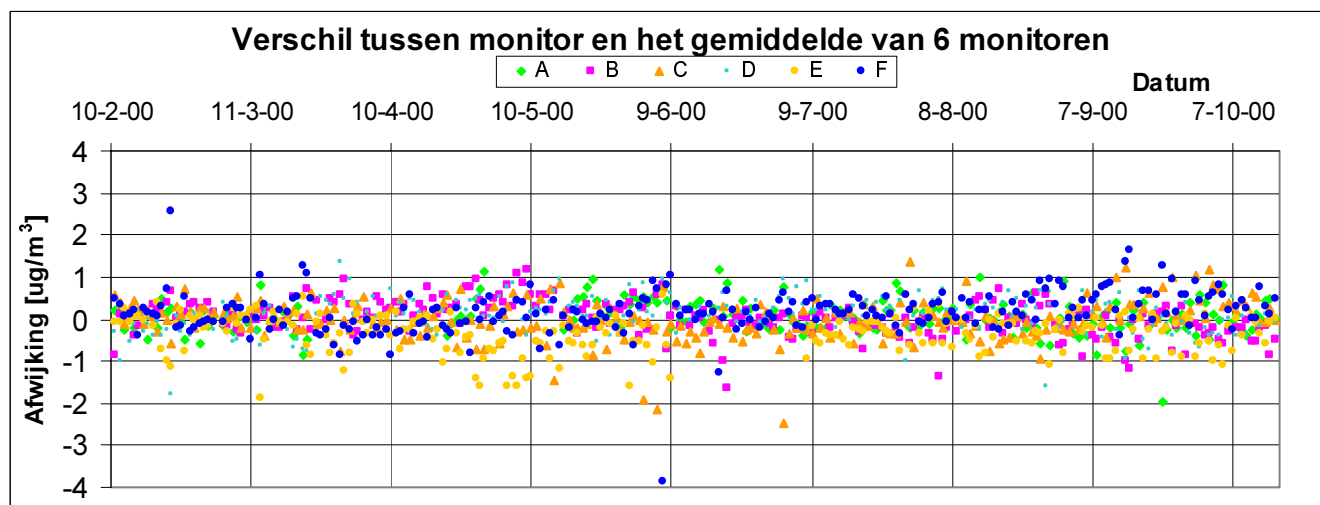
Monitoren M t/m Q in twee grafieken van 29-3-00 tot 24-10-00; voor het overzicht.



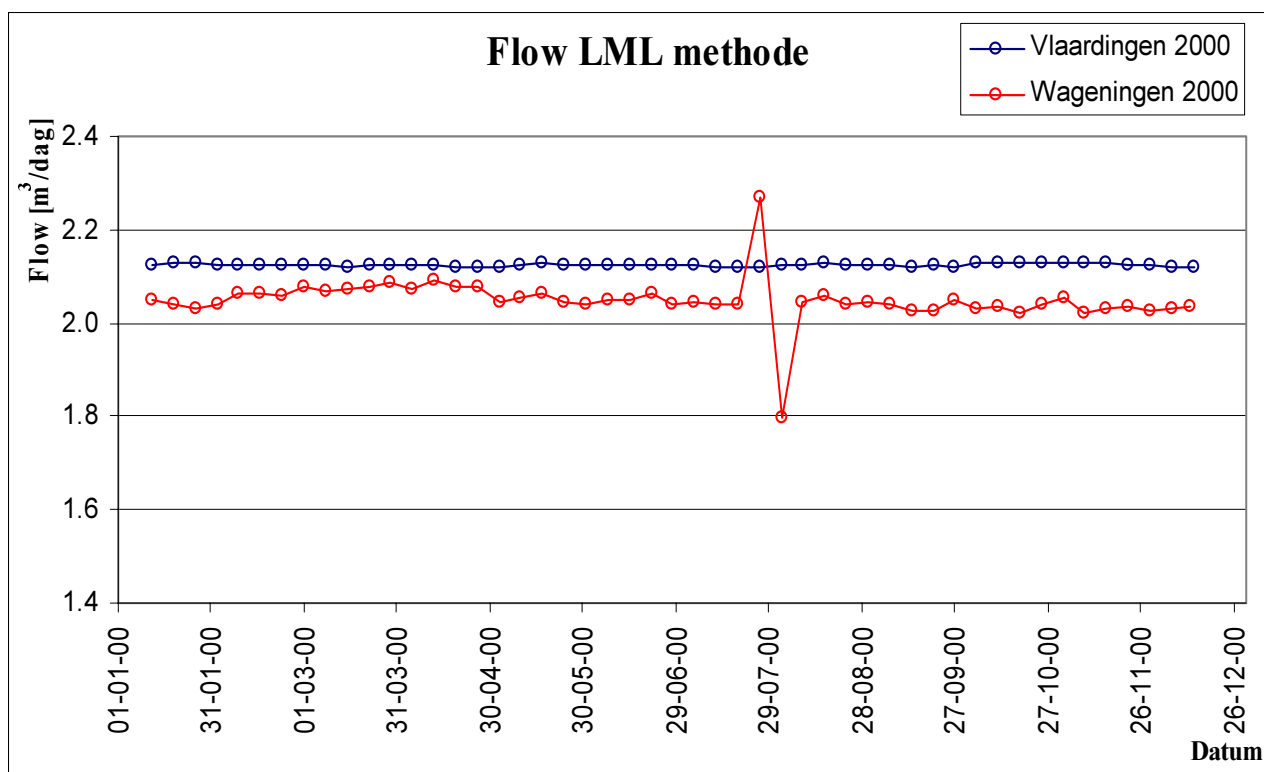
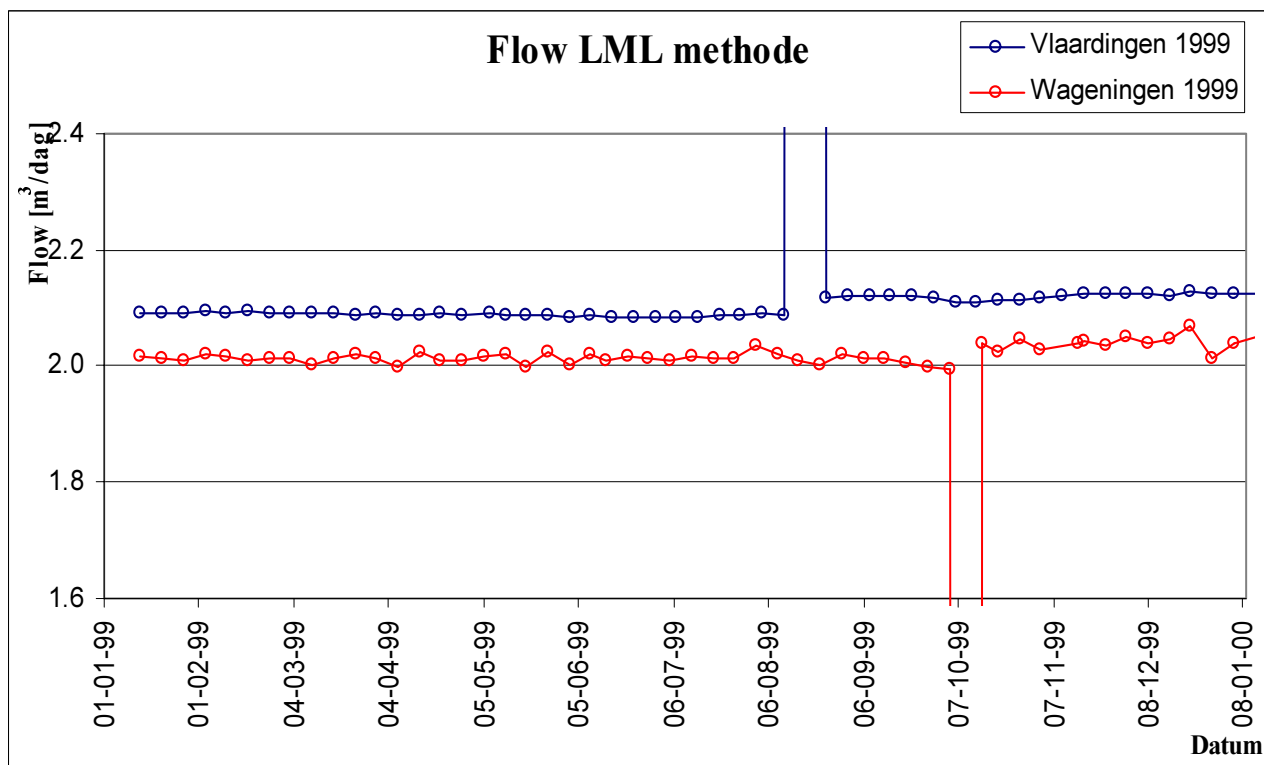
Bijlage 6: Verschil in concentratie tussen de SX200 monitoren en de LML methode



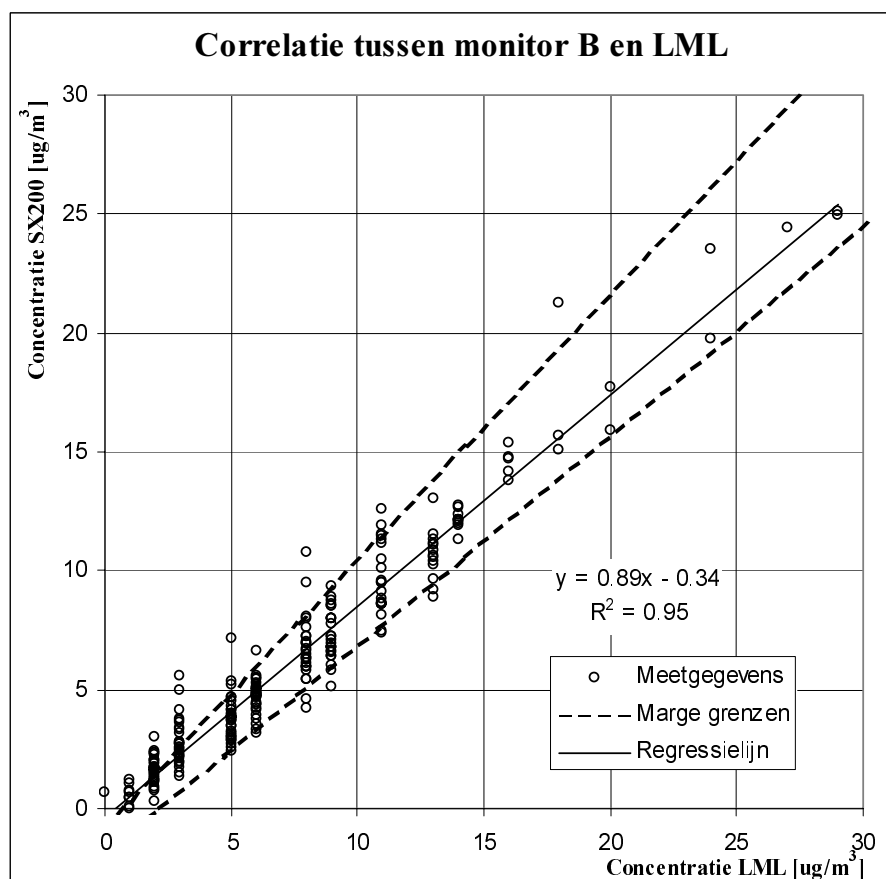
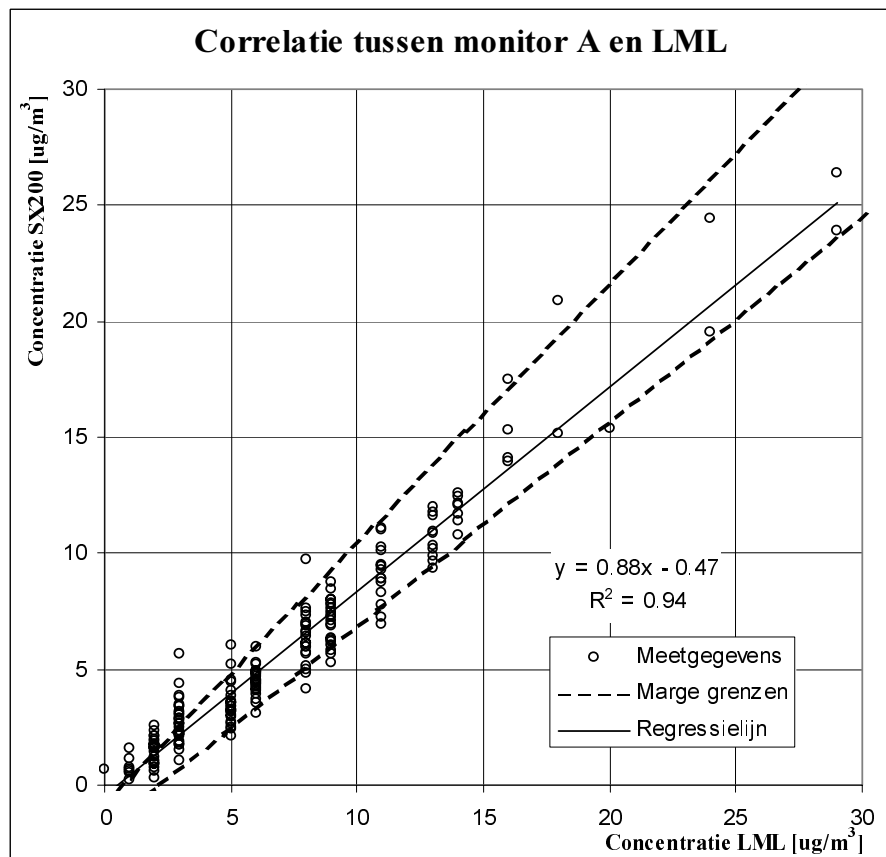
Bijlage 7: Afwijkingen van de monitoren onderling

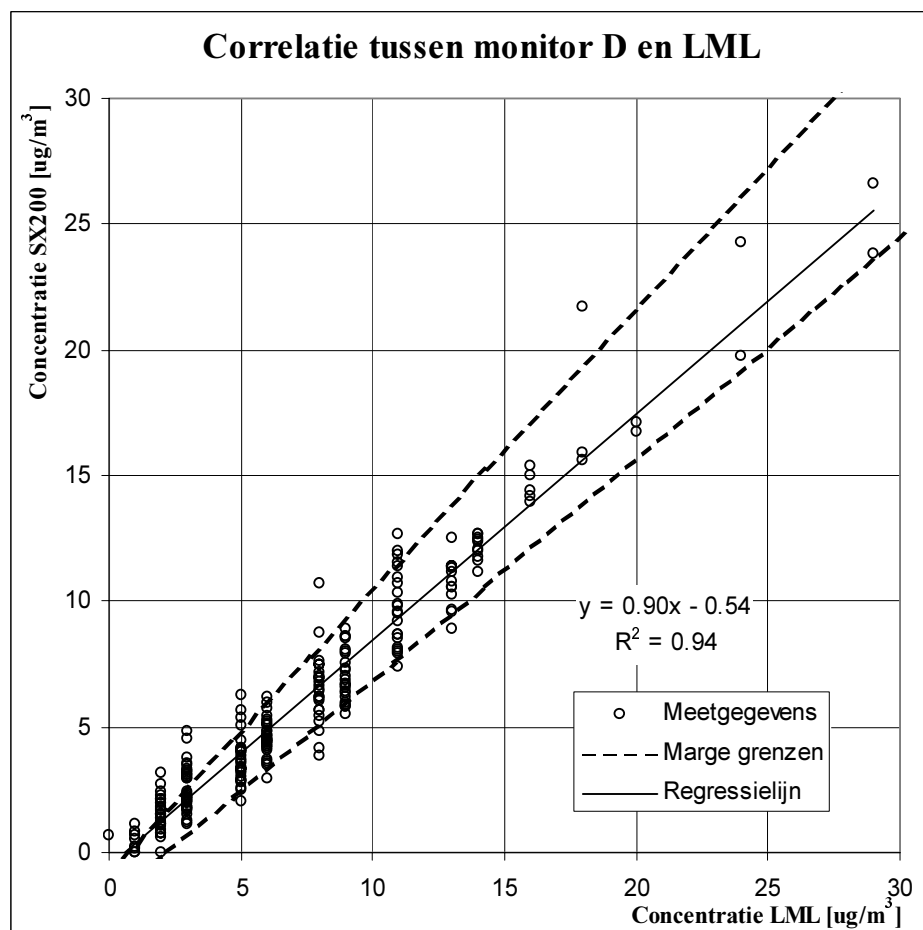
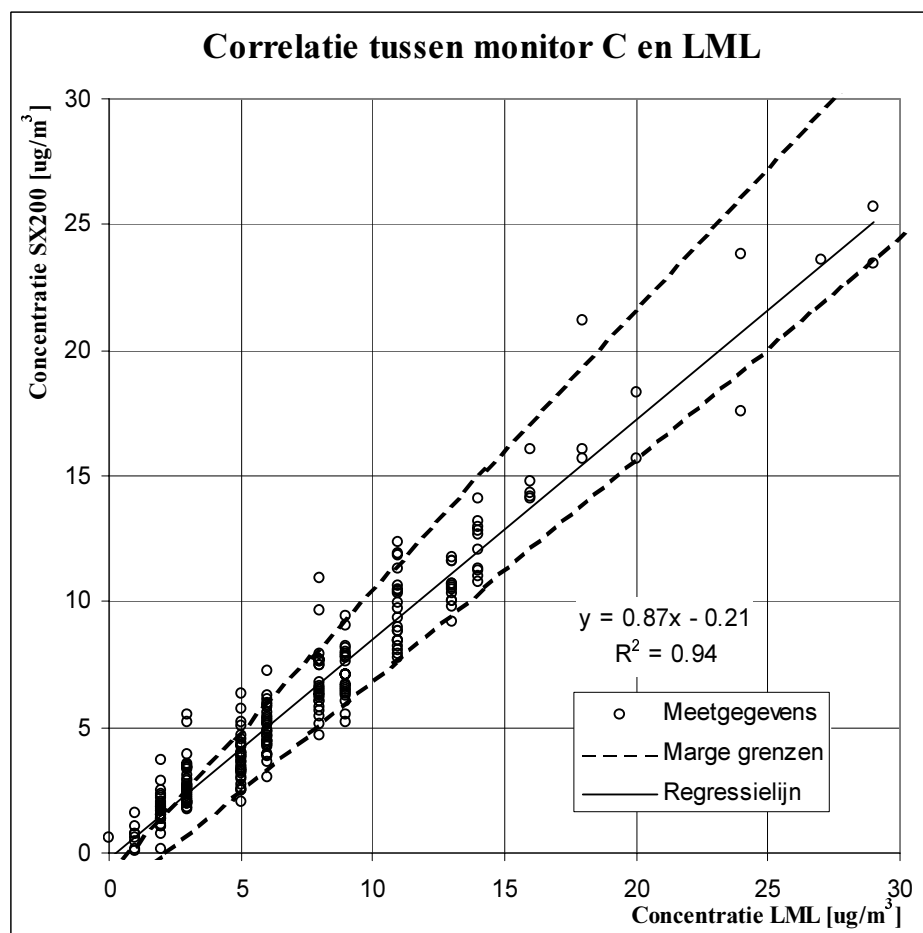


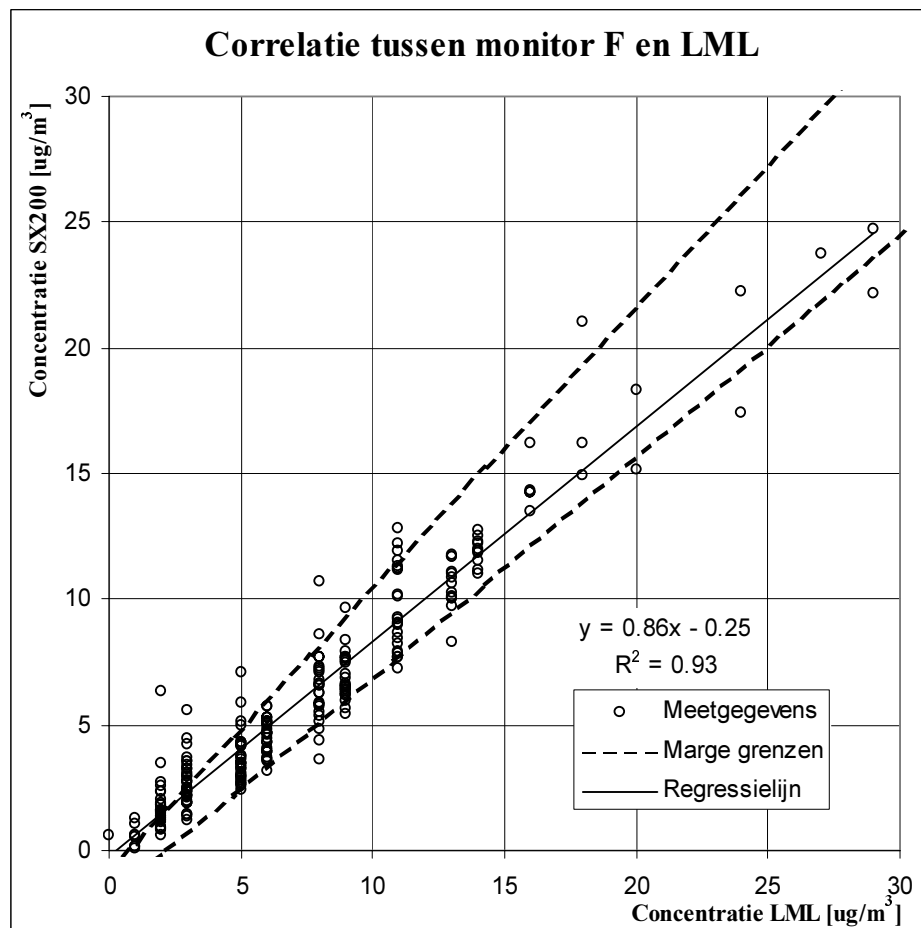
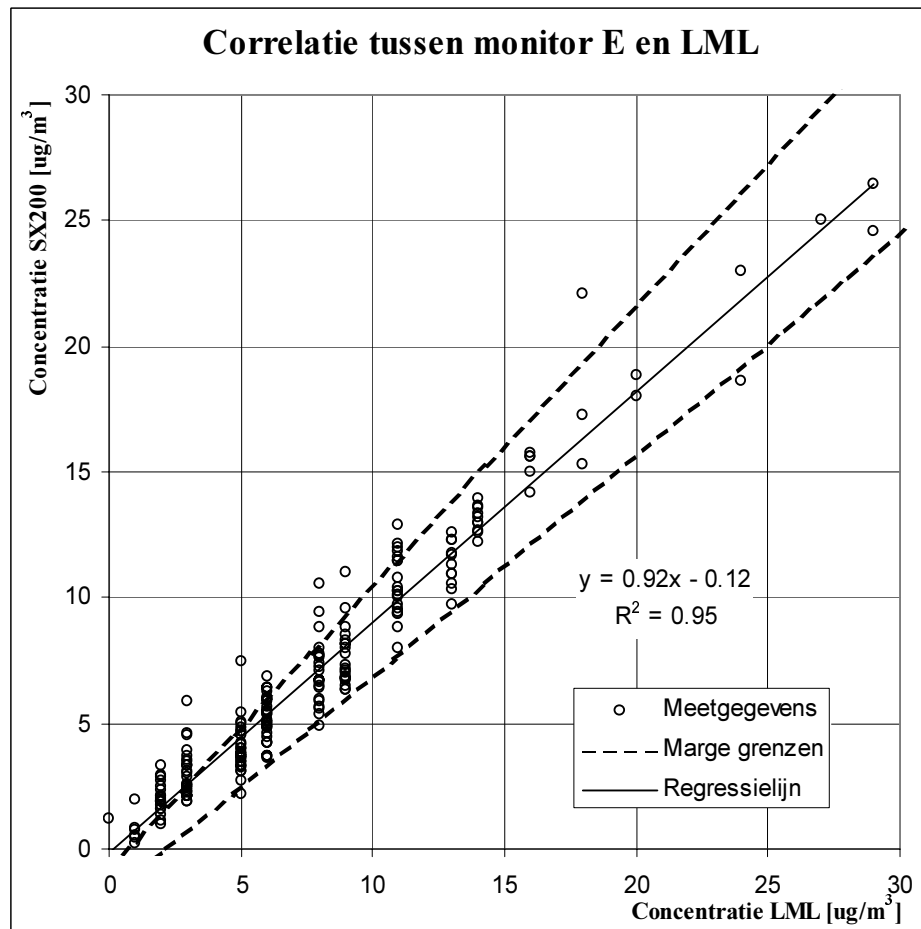
Bijlage 8: Grafieken van de genoteerde flow van de LML methode

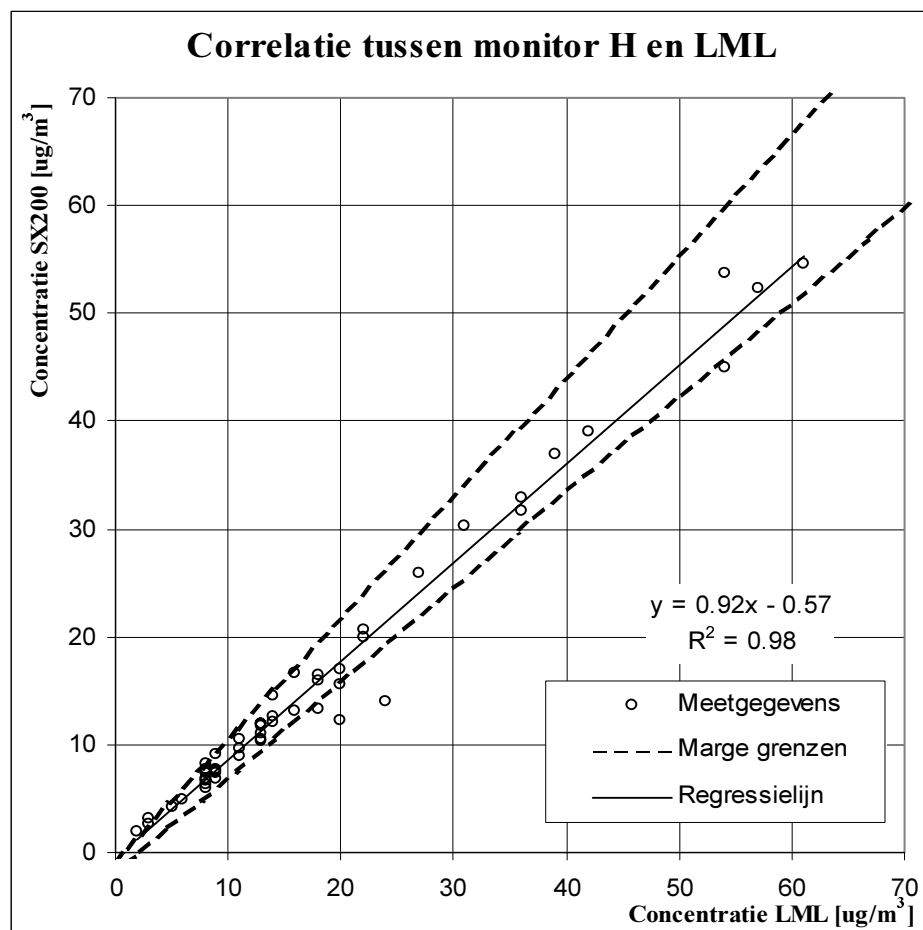
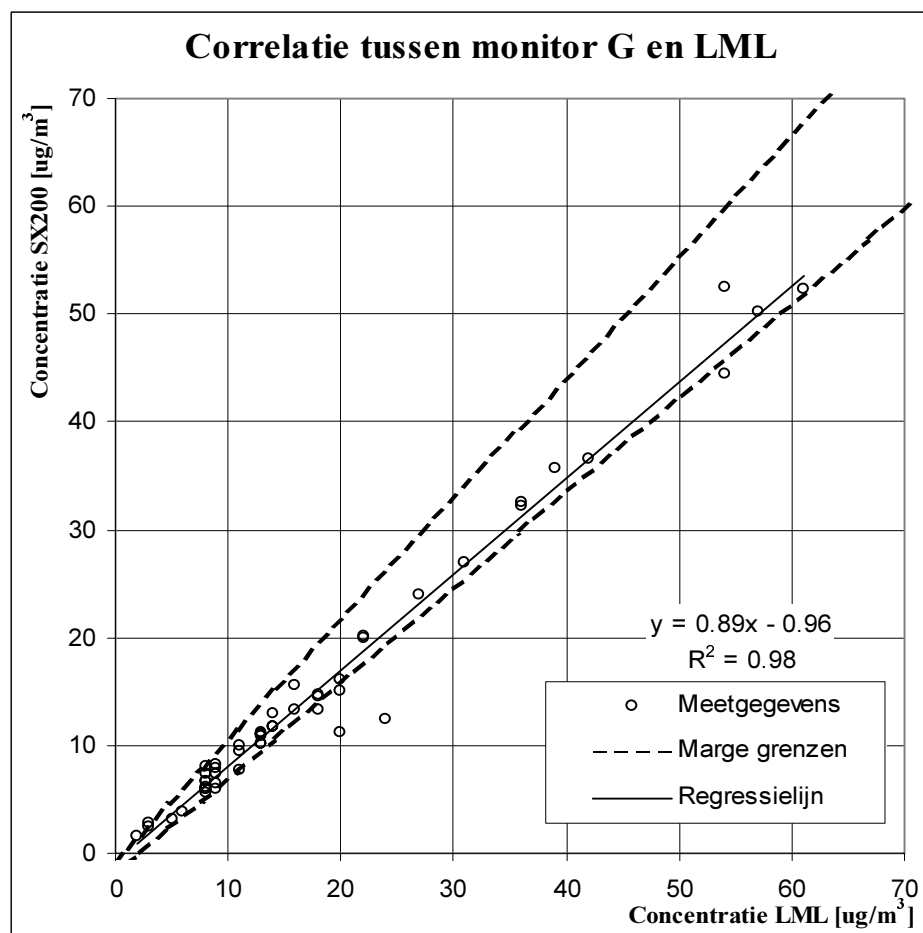


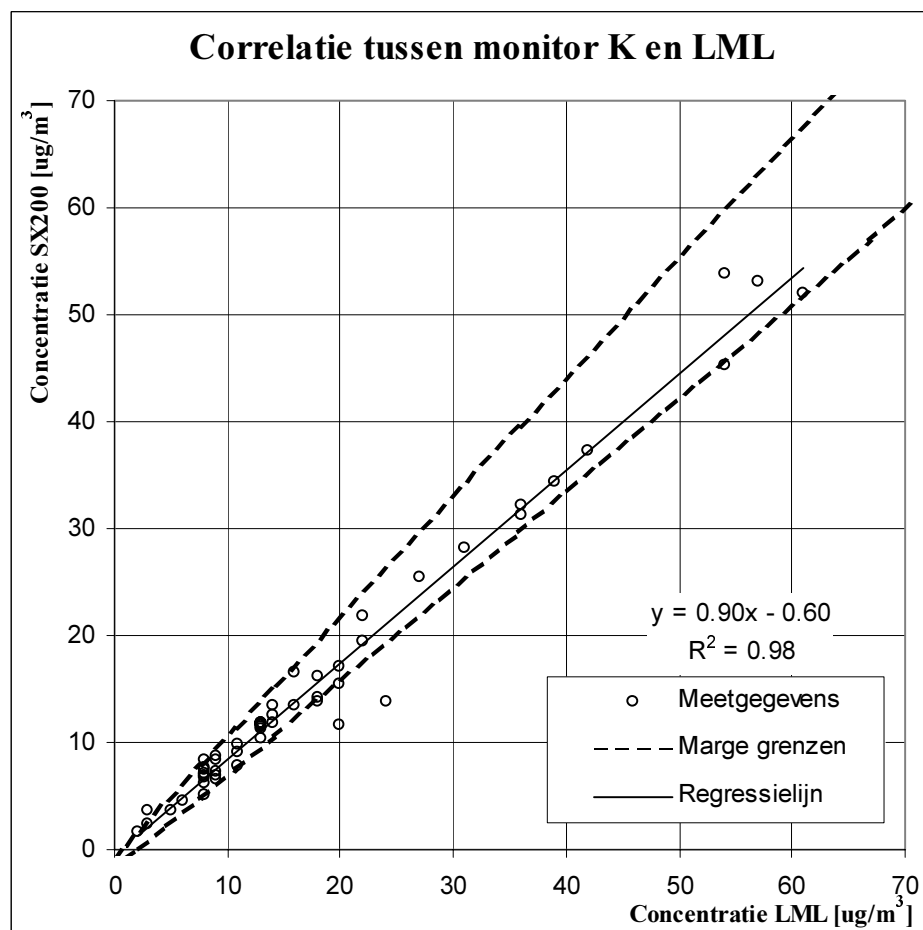
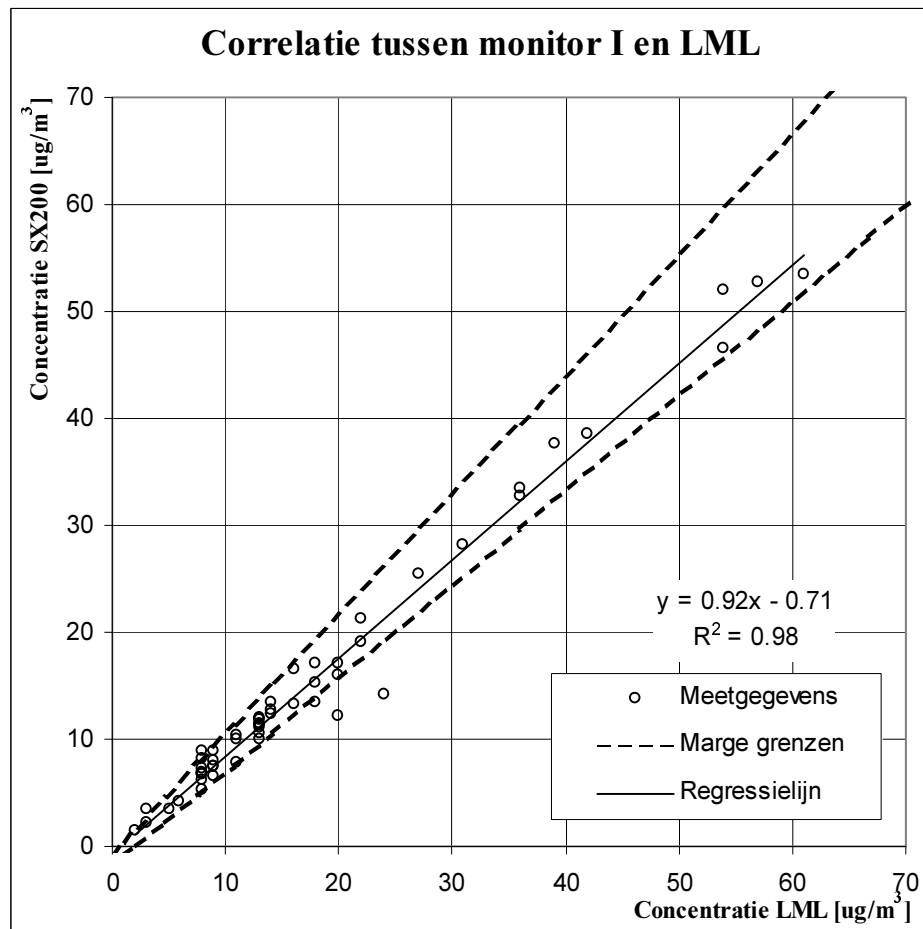
Bijlage 9: Correlatie grafieken van alle monitoren

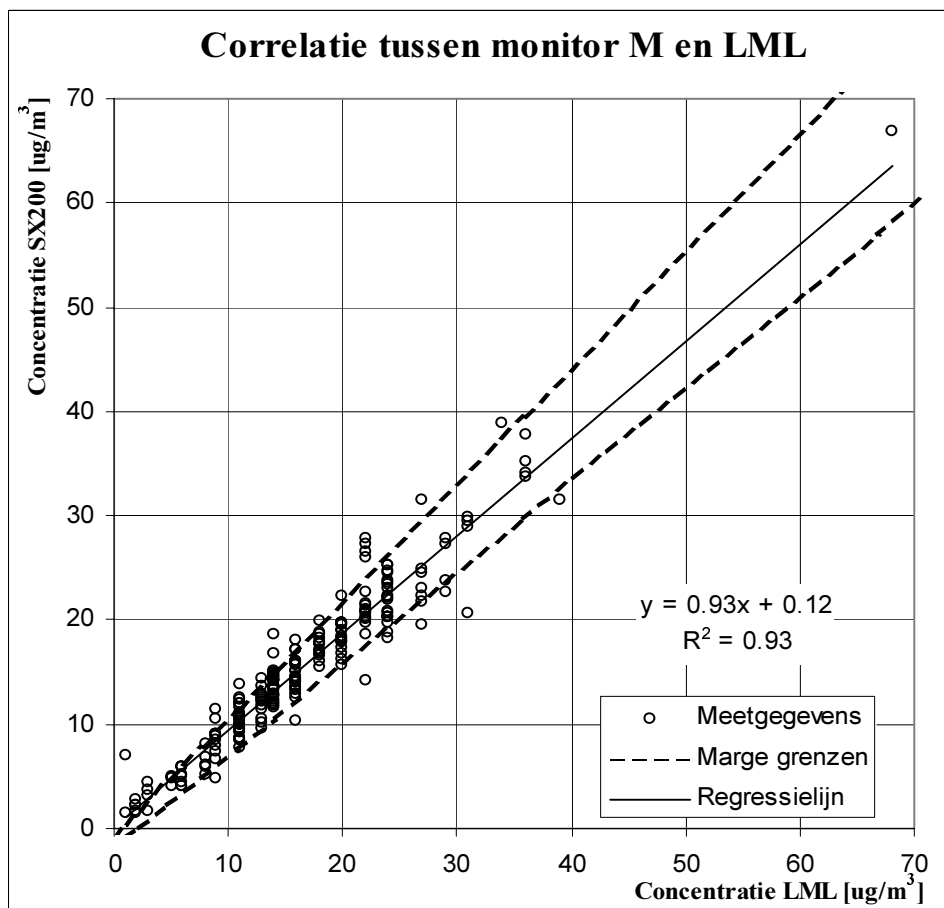
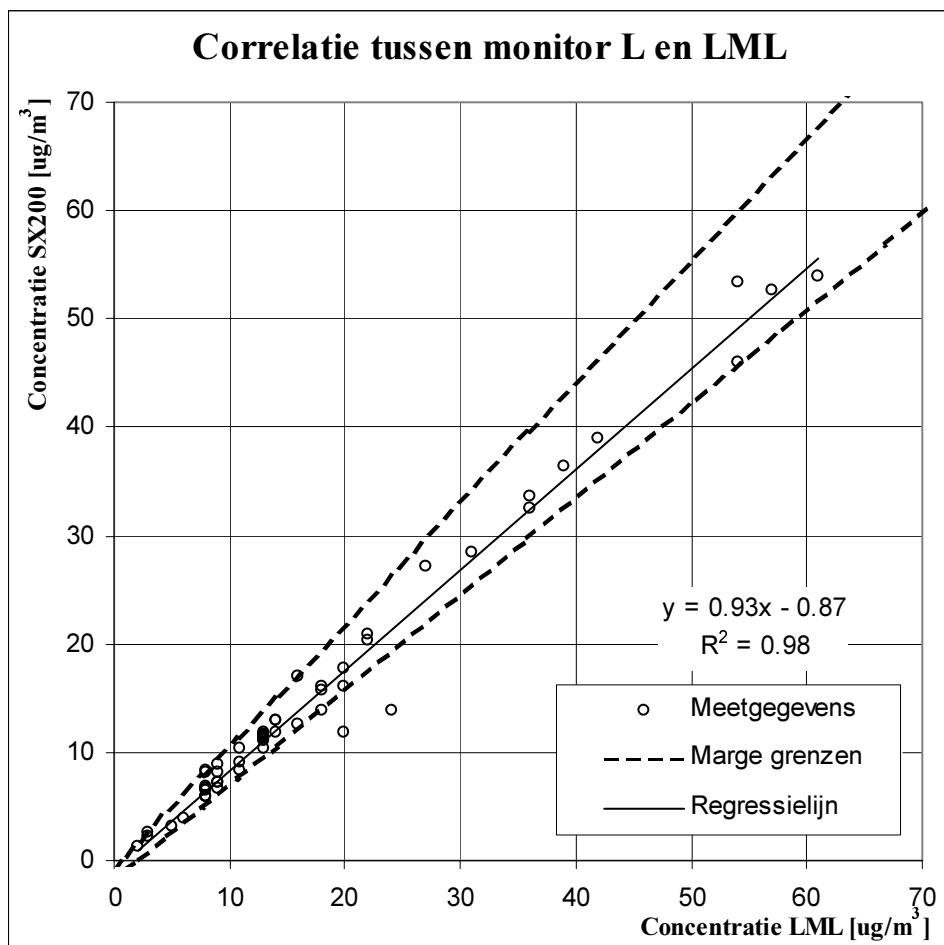


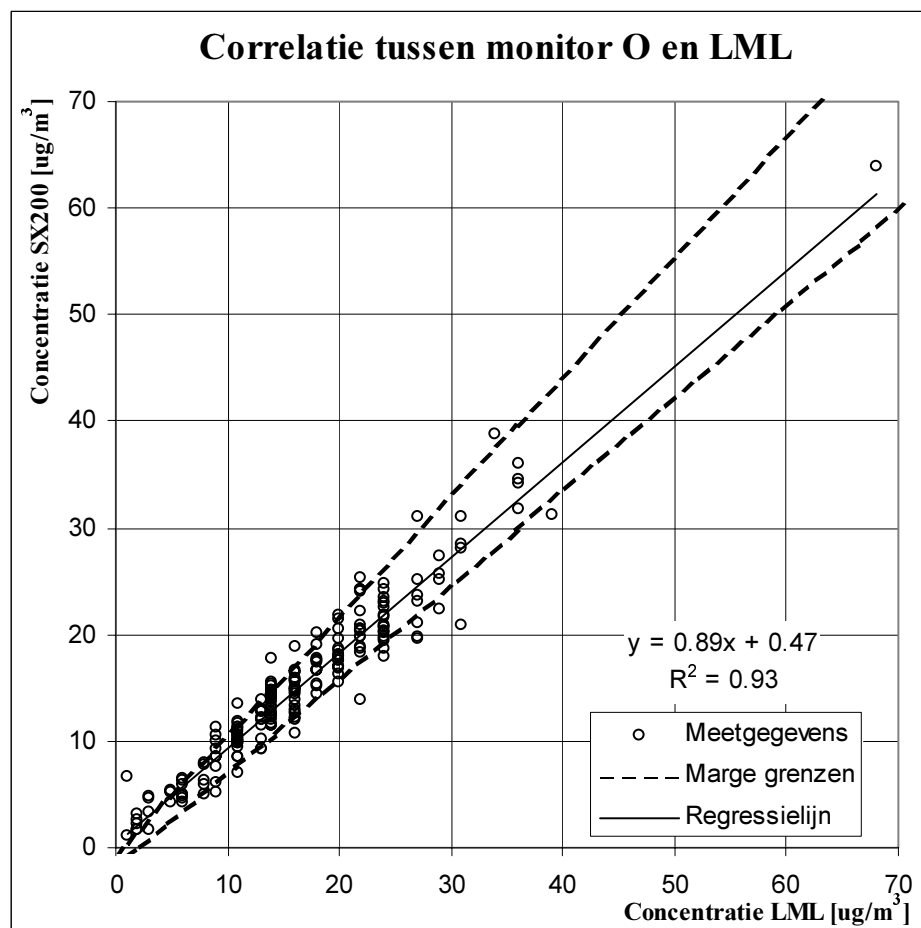
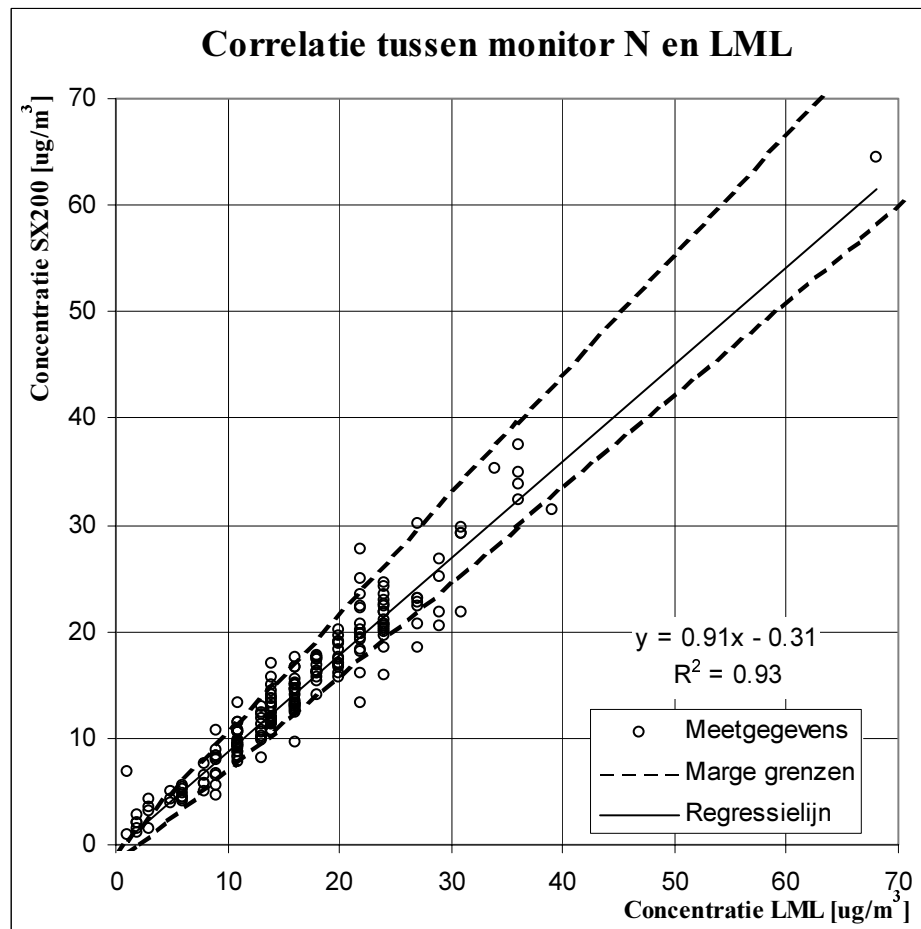


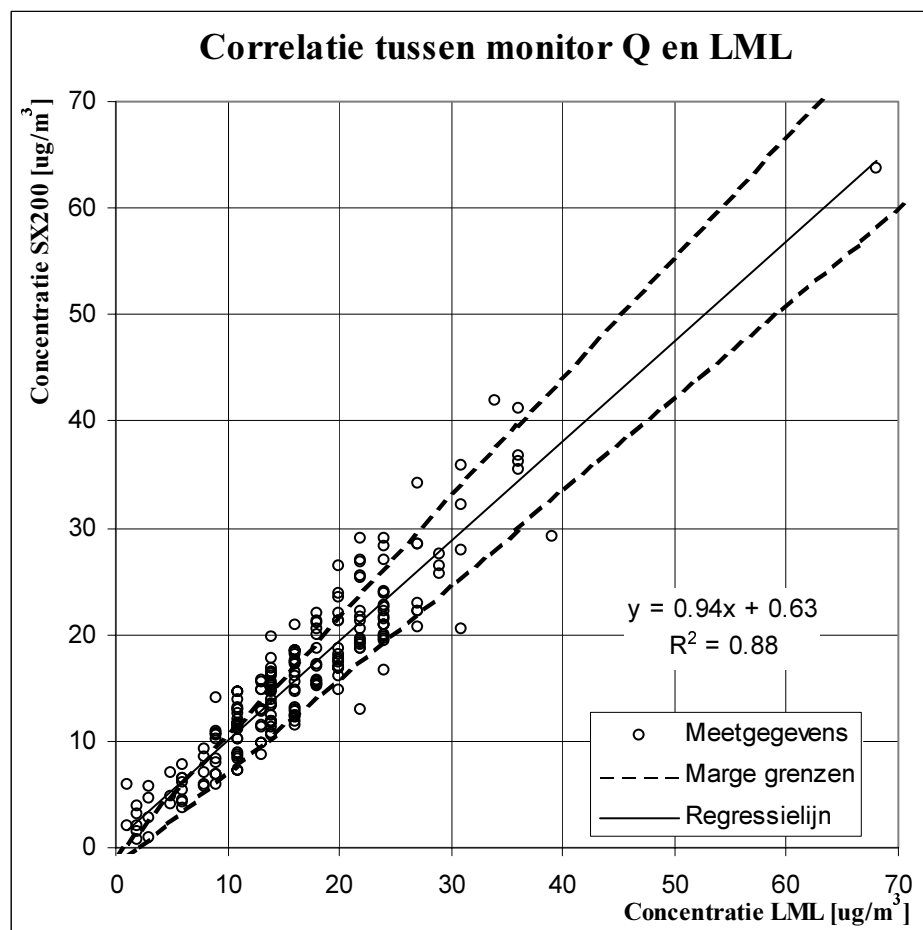
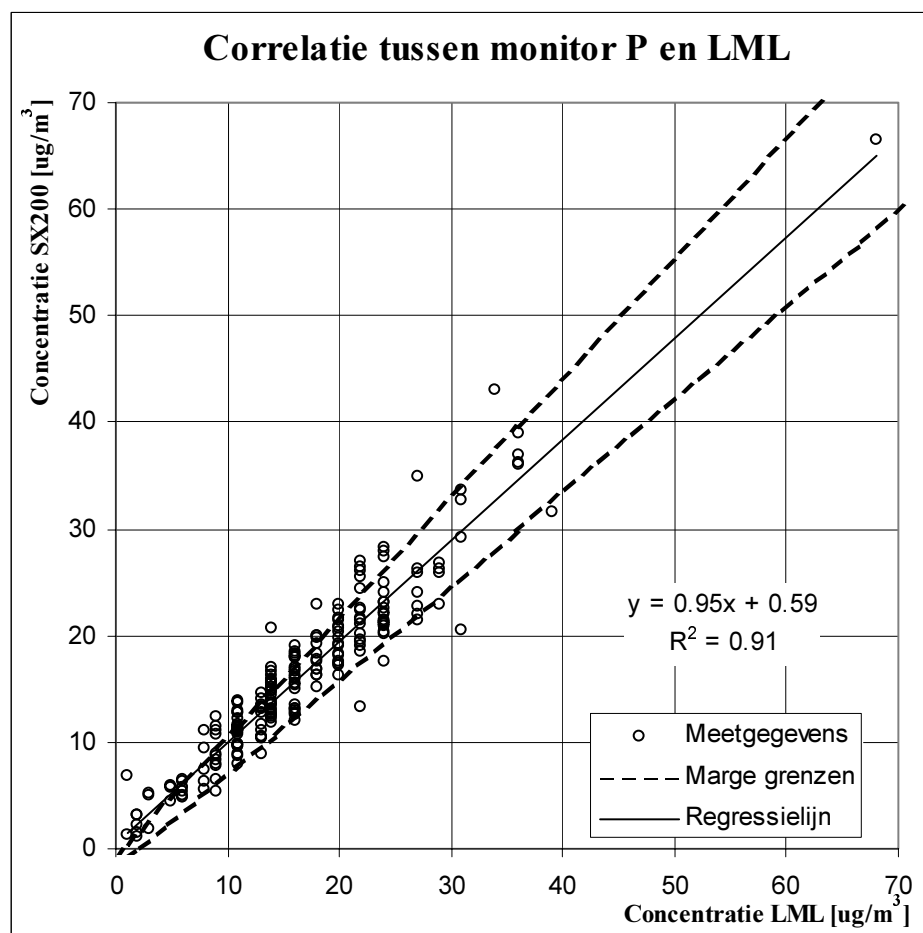




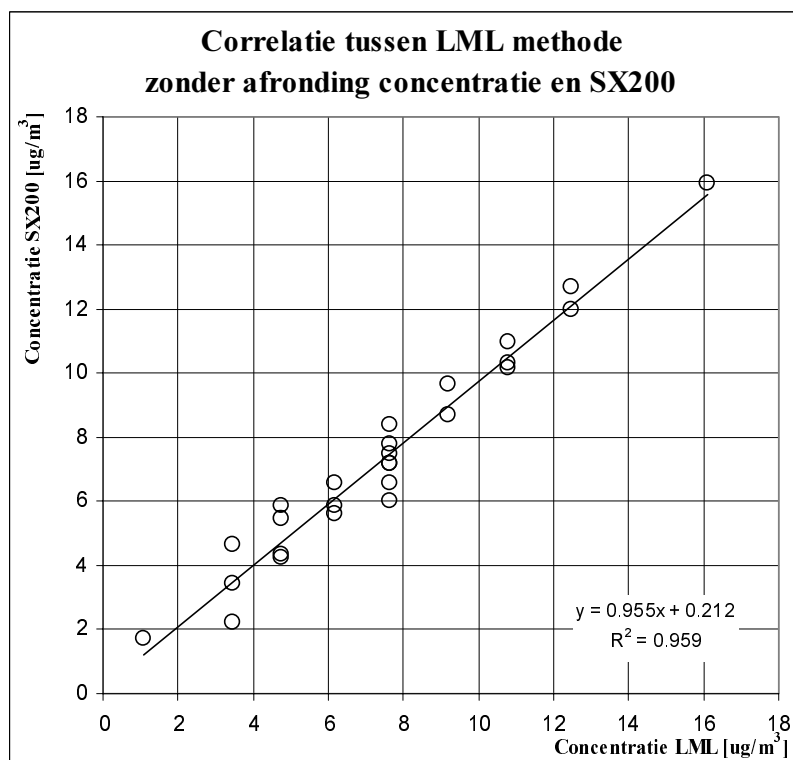
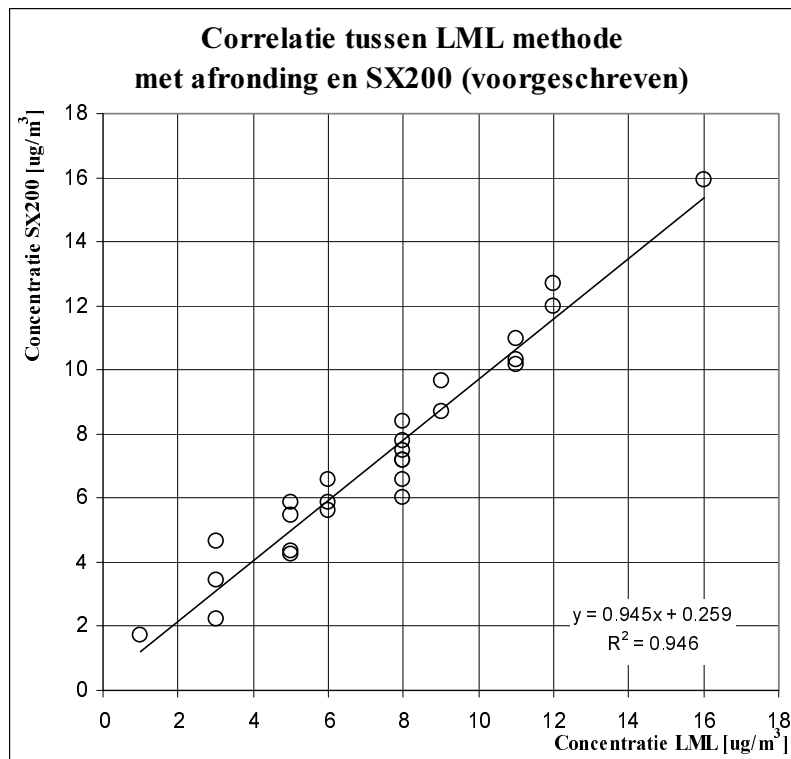


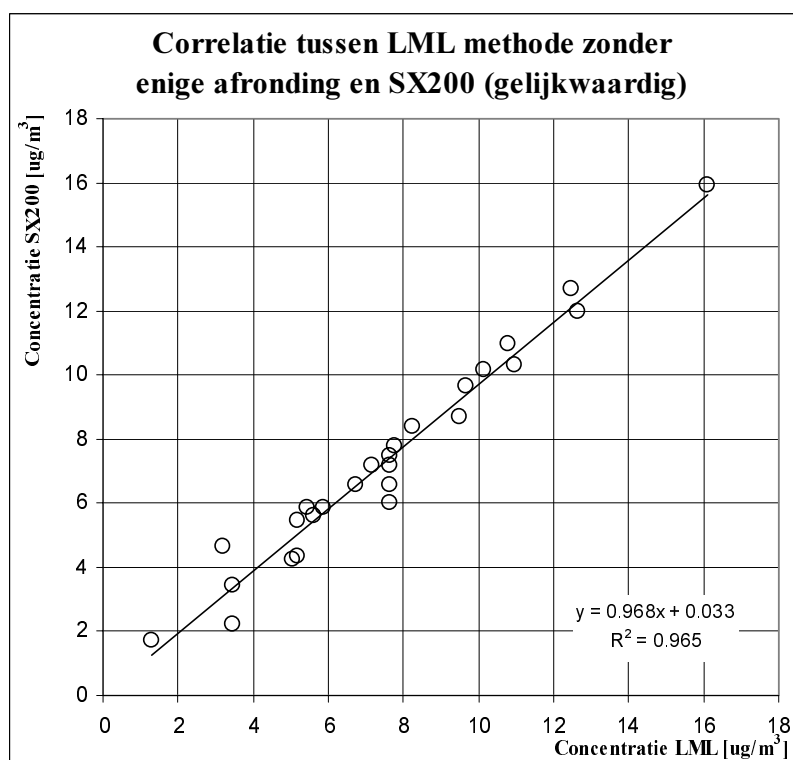
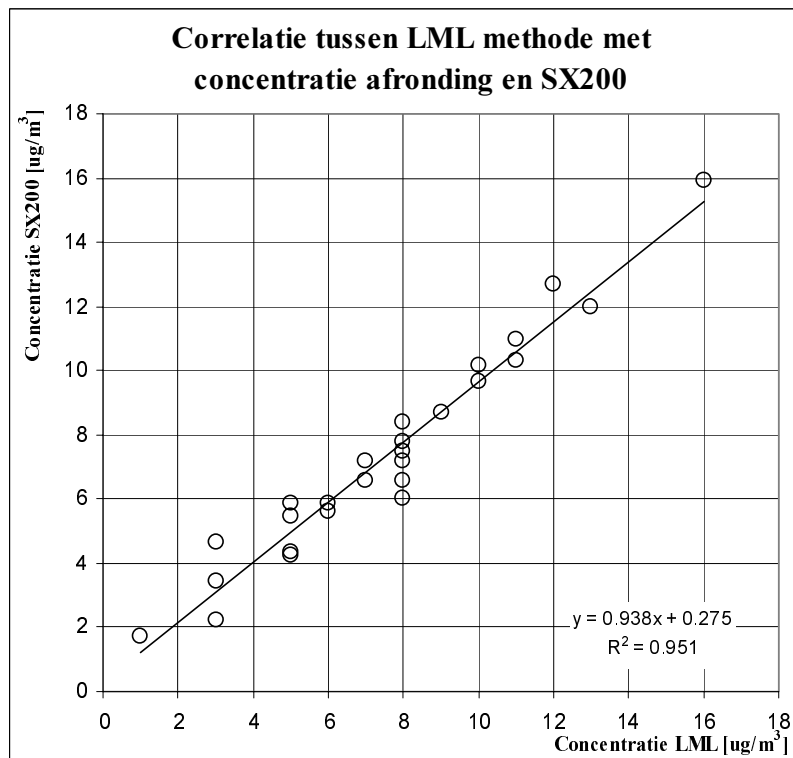






Bijlage 10: Correlatie grafieken zonder en met afronding van de meetkop vergelijking





De huidige methode geeft een R^2 van 0.946 en de gelijkwaardige methode zonder enige afronding geeft een R^2 van 0.965. Een verschil van ongeveer 0.02.

Bijlage 11: Reflectiewaarden van de Swatches

SELECTED SWATCH SET COMPARISON

(Measured on M039)

SWATCH SET NUMBER

| Swatch | M021 | M022 | M023 | M024 | M030 |
|--------|------|------|------|------|------|
| 9.5 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 9.25 | 91.4 | 91.2 | 91.4 | 91.2 | 91.5 |
| 9.0 | 81.1 | 81.2 | 81.0 | 81.2 | 81.3 |
| 8.75 | 74.6 | 74.7 | 74.7 | 74.6 | 74.9 |
| 8.5 | 69.3 | 69.5 | 69.5 | 69.3 | 69.5 |
| 8.0 | 58.1 | 58.4 | 58.3 | 58.3 | 58.3 |
| 7.5 | 49.7 | 49.8 | 49.9 | 49.8 | 50.0 |
| 6.75 | 38.8 | 38.7 | 38.7 | 38.6 | 38.9 |
| 6.0 | 27.8 | 27.9 | 27.7 | 27.8 | 27.8 |

Omgerekend naar calibratiegetallen (*Calwaarde*) voor in de .cal file wordt dit

| Swatch | M021 | M022 | M023 | M024 | M030 |
|--------|------|------|------|------|------|
| 9.5 | 3500 | 3500 | 3500 | 3500 | 3500 |
| 9.25 | 3199 | 3192 | 3199 | 3192 | 3203 |
| 9.0 | 2839 | 2842 | 2835 | 2842 | 2846 |
| 8.75 | 2611 | 2615 | 2615 | 2611 | 2622 |
| 8.5 | 2426 | 2433 | 2433 | 2426 | 2433 |
| 8.0 | 2034 | 2044 | 2041 | 2041 | 2041 |
| 7.5 | 1740 | 1743 | 1747 | 1743 | 1750 |
| 6.75 | 1358 | 1355 | 1355 | 1351 | 1362 |
| 6.0 | 973 | 977 | 970 | 973 | 973 |

Hierbij is gebruik gemaakt van de formule: $Calwaarde = \frac{R * 3500}{100}$

Met R = Het reflectiegetal (uit de bovenste tabel) dat bij de Swatch hoort.