



ERBRINK
STACKS
CONSULT


Model berekeningen aan ultra fine particles rond Schiphol

Op basis van de analyse van metingen

Rapport 2015R001

ErbrinkStacks Consult

Graaf van Rechterenweg 15
6961BN Oosterbeek


info@erbrinkstacks.nl
www.erbrinkstacks.nl

Inhoud

Samenvatting	3
1. Doelstelling	4
2. Werkwijze in het kort	4
3. Resultaten	6
4. Conclusies	21
5. Referenties.	22
Bijlage A. windrozen PM10 en ufp	23
Bijlage B. Windrozen van berekende ufp	32

Samenvatting

In de periode van april tot juni 2015 zijn intensieve metingen aan ultra fine particles (ufp) uitgevoerd rond de luchthaven van Schiphol. Deze metingen zijn gecombineerd met gedetailleerde gegevens van landingen en starten van vliegtuigen, met meteo-gegevens en vluchtgegevens uit de MER Schiphol uit 2008. Uit deze laatste zijn specifieke pm10 emissies afgeleid (per vliegtuig per km). Voor de meetperiode zijn de uurgemiddelde ufp metingen gekoppeld aan berekeningen van uurgemiddelde pm10 concentraties om hieruit een vertaalfactor pm10-ufp af te leiden. De meetgegevens zijn nader geanalyseerd en de modelberekeningen zijn uitgebreid met lange termijn berekeningen aan pm10, met de vertaalfactor van pm10 → ufp. Hieruit zijn kaartjes geproduceerd waarin de ruimtelijke verdeling van ufp concentraties zichtbaar worden in een gebied van 25x30 km rond de luchthaven.

Uit de LEASiT file voor vliegtuigemissies kunnen de pm10 emissies worden bepaald voor landen, stijgen en starten/remmen op de baan apart, respectievelijk 0.03, 0.004 en 0.006 kg/km per vliegtuig.

De berekende pm10 concentraties voor de meetperiode en de gemeten ufp concentraties zijn als gemiddelde waarden (14 stuks) slecht met elkaar te correleren voor alle meetlokaties.

Per meetlokatie is de samenhang echter duidelijker. De berekende pm10 concentraties en gemeten ufp concentraties, gesorteerd naar windrichting vertonen een sterke samenhang: de berekende pm10 pieken door de vliegtuigen veroorzaakt, laten steeds overeenkomstige ufp pieken in de metingen zien. Daaruit is een schalingsfactor af te leiden voor de vertaling van pm10 naar ufp. Deze schalingsfactor is $1 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ pm10} = 400.000 \text{ ufp}/\text{cm}^3$. De gemeten ufp pieken wijzen steeds naar de luchthaven en komen vrijwel zeker van de vliegtuigemissies.

Uit de meetcijfers kan worden afgeleid dat de bijdrage van vliegtuigen aan de ufp concentraties varieert van plaats tot plaats van 10% tot 40% op jaarbasis. De verhoging van de percentielwaarden (van uurgemiddelden) afgeleid uit deze metingen bedraagt voor de 90-99,9 percentielwaarden ruwweg een factor 2.

Uit lange termijn berekeningen onder de aanname dat pm10 en ufp met elkaar correleren kan worden afgeleid dat een bijdrage aan ufp concentraties van $3000/\text{cm}^3$ tot op afstanden van 10 km mogelijk is. Bij woonlokaties die het dichtst bij Schiphol zijn gelegen kan de jaargemiddelde bijdrage oplopen tot $10000/\text{cm}^3$. In 5% van de tijd kan deze bijdrage $50000/\text{cm}^3$ bedragen.

1. Doelstelling

De vraag: in hoeverre zijn UFP concentraties significant verhoogd rond Schiphol?

In 2014 zijn door TNO indicatieve ultra fine particle (UFP) concentraties gemeten in de buurt van Schiphol. Deze lijken erop te wijzen dat de niveaus duidelijk verhoogd zijn ten gevolge van de luchtvaart op en rond Schiphol. Deze meetresultaten (op 1 locatie) zijn in het publieke domein opgemerkt, en in de politiek besproken. Daaruit is de wens naar voren gekomen om een betere indruk te krijgen van de UFP niveaus rond Schiphol. Daartoe is RIVM gevraagd hier actie voor te nemen en verkennende metingen en interpretaties te (laten) doen, die de eerste metingen bevestigen dan wel ontkrachten en een verkennend ruimtelijk beeld geven van de vermoedelijke UFP niveaus, ook op langere termijn.

ErbrinkStacksConsult is gevraagd om op basis van de meetresultaten en door middel van terugrekenen met het STACKS+ rekenmodel 1) vast te stellen wat de vermoedelijke UFP emissies van de vliegtuigen zijn en 2) wat de te verwachten niveaus gemiddeld over lange tijd (in de regel wordt hier een periode van 10 jaar voor gekozen) kunnen zijn in een gebied van 25 x 30 km rond de luchthaven. Ook de hogere percentielen, die wellicht relevant worden geacht voor gezondheidskundige analyses, worden gerapporteerd.

2. Werkwijze in het kort

Er zijn geen emissiefactoren voor ufp van vliegtuigen bekend. Daarom wordt een relatie gezocht tussen pm10 en ufp, door berekende pm10 concentraties op de meetlocaties te vergelijken met ufp metingen. En om dat te kunnen realiseren, worden pm10 ken tallen afgeleid uit eerdere studie, die zijn gedaan voor de milieu effectrapportage voor de luchthaven Schiphol in 2008 (NLR, 2008). Op basis van deze historische gegevens over het vluchtschema op Schiphol met de bijbehorende pm10 emissies (in de zogenaamde LEASiT files verkregen van NLR) worden specifieke pm10 emissies per vluchtmodus (starten, landen) en per startbaan afgeleid, tezamen met data over snelheid, stijg/daalhoogte en warmte-emissie. Onder de aanname dat de deze kentallen uit 2008 nog steeds geldig zullen zijn voor hedendaagse vluchten op Schiphol, worden deze gebruikt om voor de specifieke meetdagen (en uren) in de periode 13 april tot 7 juni 2015 de verwachte pm10 concentraties te berekenen op de meetlocaties. Op deze meetlocaties zijn ultra fine particles (ufp) concentraties per uur gemeten. Berekende uurgemiddelde pm10 concentraties worden vergeleken met gemeten ufp concentraties. Hieruit is af te leiden wat de verhouding tussen deze twee is (eventueel per start/landingsmodus). Door de berekeningen opnieuw te doen, maar nu voor een 10 jarige meteorologie en met de oorspronkelijke LEASiT files, kan een ruimtelijk beeld verkregen worden van de ufp concentraties over lange-termijn (jaargemiddelde en eventueel percentielwaarden).

Het rekenmodel

Voor dit doel wordt het geavanceerde rekenmodel STACKS+ ingezet, dat in het verleden is toegepast op luchtkwaliteitsberekeningen ten behoeve van de MER middellange termijn (2008) voor de luchthaven Schiphol.

De vliegtuigbewegingen en -emissies

Ten behoeve van dit project is door NLR een gedetailleerd bestand geleverd met alle vliegtuigbewegingen in de betreffende periode, die per uur en per startbaan aangeeft hoeveel vliegtuigen (per vliegtuigtype) zijn gepasseerd per uur. Deze aantallen worden gecombineerd met generieke kentallen ten aanzien van warmte-emissie, pm10-emissie, en vliegtrajecten bij voorkeur per vliegmodus: landingen of starten (er wordt dus in deze fase van het onderzoek geen onderscheid gemaakt in vliegtuigtype). Dit bestand wordt gekoppeld aan STACKS+ en hiermee worden de pm10 concentraties per uur berekend voor alle UFP (vaste) meet locaties.

De UFP metingen

Van ECN zijn bestanden verkregen met de uurlijks gemeten waarden van UFP's. Zo'n bestand bestaat uit datum, tijd en (totaal) aantallen deeltjes deels in een verdeling van 10 nm tot bijvoorbeeld 1 µm en deels met een gemiddelde grootte. In deze verkennende studie zijn alleen de totale aantallen gebruikt (geen onderverdeling in deeltjesgrootten).

Meteorologische gegevens

De meteorologische gegevens zijn betrokken van het KNMI station 'Schiphol' en waar nodig aangevuld met meetdata van ECN. Dit betreffen de 'normale' synoptische gegevens, die intern in het rekenmodel voor de meetperiode worden vertaald naar meer fysisch relevante parameters als Monin-Obukhov lengte, u^* en grenslaaghoogte. Voor de lange termijn berekeningen worden de meteo-gegevens die door de PreSRM-tool¹ worden gegenereerd toegepast, zoals gebruikelijk is.

Terugrekening van meetdata naar emissies

Het STACKS+ rekenhart is zodanig aangepast dat de lokale meteorologie kan worden gelezen (dus niet standaard van de presrm) en dat de vliegtuigdata van NLR worden gelezen en vertaald naar pm10 emissies. Met deze informatie zijn uurgemiddelde pm10 concentraties berekend, en vergeleken met gemeten UFP concentraties. Deze worden vervolgens gesorteerd en vergeleken met (eveneens gesorteerde) metingen. De helling van deze lijn is dan de schaalfactor tussen aangenomen UFP emissie en beste geschatte UFP emissie.

Deze vergelijking is generiek uitgevoerd (dus over alle uren en alle vliegtuigen), eventueel na analyse nog uitgesplitst naar vliegmodus: starten, landen. Immers: de schaalfactor kan per modus verschillen. Echter, in de gemeten ufp concentraties kan geen onderscheid gemaakt worden naar de oorsprong van de concentraties. Per uur zijn er immers altijd stijgende en dalende vliegtuigen; de meetpunten liggen zodanig rond de luchthaven dat dit onderscheid niet/nauwelijks mogelijk is. Uitsplitsing per vliegtuigtype is

¹ De PreSRM tool (SRM staat voor standaard reken Methode) is een software tool waarmee meteorologisch gegevens en grootschalige concentraties in Nederland opgevraagd en bewerkt kunnen worden.

evenmin voorzien. Wel wordt nagegaan of de schaalfactor per meetlocatie verschilt. Het resultaat is uiteindelijk een beste schatting van de vertaalfactor van pm10 naar ufp emissie.

Wat zijn de te verwachten UFP niveaus gemiddeld over lange tijd?

Met de beste schatting van de UFP emissies wordt het rekenhart weer gevoed, maar nu over een periode van 10 jaar met als invoer alle vluchtgegevens uit de MER MLT (aantallen en baangebruik). Eventueel kan hier nog een schaalfactor voor het aantal vliegtuigen aan toegevoegd worden (immers, de MER gaat uit van ongeveer 440.000 vliegtuigen; wellicht is dit inzicht inmiddels gewijzigd²). De berekeningen beslaan een groter gebied dan bij de terugrekening: nu 25 x30 km. Contourplots worden hiervan gemaakt, zodat dan duidelijk wordt wat de ruimtelijke verdeling van de UFP concentraties zal kunnen zijn. Omdat niet op voorhand duidelijk is welke gezondheidsindicator van belang is, worden hiervoor (optioneel) ook de percentielwaarden per locatie gegevens (bijvoorbeeld, 95-p of 98-p), immers: op voorhand weten we niet of de kortdurende blootstellingen dan wel de langdurige blootstelling meer van belang is (of beiden).

3. Resultaten

De vliegtuigbewegingen en –emissies, analyse LEASiT.

De LEASiT bestanden voor pm10 uit de MER MLT (2008) zijn gebruikt om een gefundeerde schatting te maken van de kentallen van vliegtuigemissies en –trajecten. Het gaat dan om specifieke pm10 emissie (kg/vliegtuig per km), de warmte emissie (MW), de snelheid (m/s) en de stijg en daalsnelheid. Ook de plaats waar gestart wordt (de baankop) of wordt geland is nagegaan. In de MER MLT is sprake van een vluchtschema die voor het winterhalfjaar anders is dan in het zomerhalfjaar. Omdat de metingen na 1 april zijn gestart is het bestand voor het zomerhalfjaar gebruikt. Dit bestand bevat een weekschema: waarbij voor ieder uur per dag aangegeven is hoeveel vliegtuigen er door een bepaalde cel (van 500x500 m) zijn gevlogen. Verdere informatie over de opmaak van dit bestand is gegeven in NLR, 2008 (MER Schiphol, 2008). De analyse is aanvankelijk gedaan door het STACKS model te runnen met de LEASiT file als input en de afgeleide pm10 emissie (per uur per vliegtuig) te correleren aan andere parameters. Voor de snelheid en de hoogte is dat redelijk mogelijk.

De analyse laat zien dat de benodigde pm10-kentallen niet eenduidig zijn te relateren aan eenvoudige parameters, zoals hoogte, plaats op de startbaan en warmte uitstoot. Men zou verwachten dat de warmte emissie en vliegsnelheid een eenvoudige functie is van de afstand tot het startpunt en/of de hoogte. Dat blijkt in veel gevallen niet zo te zijn. In bijlage 1 is een aantal plots gegeven voor enkele startbanen om te laten zien dat de relaties niet zo gemakkelijk uit de LEASiT files zijn af te leiden. Dat kan komen doordat in een enkel geval de x-y coördinaat van de locatie van de vliegtuigen mogelijk op twee landings/starttrajecten ligt. Immers, de landings- en starttrajecten kruisen elkaar en diverse plaatsen. Een andere mogelijke reden is dat de kentallen gemiddelden van alle type vliegtuigen zijn. Daardoor zijn

² Uiteindelijk blijkt dit niet nodig, omdat uit jaarlijkse rapportage van Schiphol blijkt dat het aantal vluchten hier nauwelijks van af wijkt.

gegevens in een cel in een uur in veel gevallen gemiddelden van verschillende typen vliegtuigen. En het is mogelijk dat nog andere parameters een rol spelen die niet in de LEASiT files zijn opgenomen. De coördinaten van de start en landingen liggen wel precies op de landingsbanen maar het startpunt is niet altijd helder de baankop. Daarom is na enige analyse afgezien om de pm10- en warmte emissies als functies te laten zijn hoogte, afstand of iets dergelijks, en is besloten om gemiddelde waarden te gebruiken voor de benodigde parameters, maar wel apart voor starten (op de startbaan), het stijgtraject en het daaltraject. Deze getallen zijn in een tweede analyse rechtstreeks afgeleid uit de LEASiT file, zonder tussenkomst van het STACKS model. In de LEASiT file staan uurlijkse gegevens van pm10- en warmte emissies voor alle cellen in een ruimtelijke box van 20x20x1 km (1 km hoogte) voor een representatieve week. Tevens is de verdeling per cel gegeven van het aantal seconden dat vliegtuigen stijgen of landen of op de startbaan bewegen, gesommeerd over een dag (p1, p2 en p3). In elke cel is de pm10 emissie over een dag gesommeerd en verdeeld (met verhoudingen p1, p2 en p3) over de vliegmodi. Door te middelen over alle cellen wordt de gemiddelde pm10 emissie verkregen voor de startbaan, het stijgtraject of het daaltraject. De gegevens staan in tabel 1.

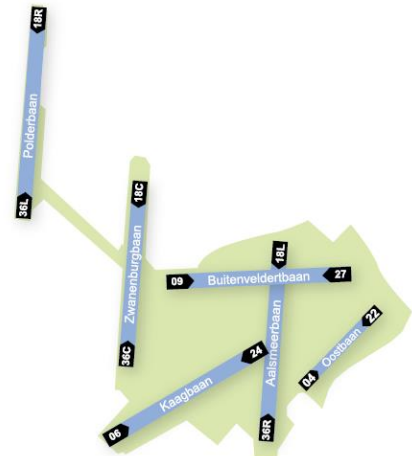
Tabel 1 Kentallen voor modelberekeningen met STACKS, X is de positie van de baankop.

	landingstraject	stijgtraject	startbaan (departure)	startbaan (arrival)
snelheid (m/s)	70	80	2.4*(X)	2.4*(2500-X)
dalen/stijgen (%)	4	9	0	0
warmte (MW)	7	40	40	12
pm10 (kg/km)	0.03	0.004	0.006	0.006
hoogte	0.04*(X-2000)	0.09*(X-2000)	5 m	5 m

De kentallen voor de Oostbaan zijn niet opgenomen; hiervan blijkt uit de vluchtregistraties dat deze baan nauwelijks gebruikt wordt en dus niet echt relevant is voor de luchtkwaliteit rond de luchthaven. In tabel 2 staan de aantallen vliegtuigbewegingen, uitgesplitst naar arrivals en departures in de periode 1 april tot en met 7 juni 2015.

Tabel 2. aantal vliegbewegingen in de periode 1 april t/m 7 juni 2015.

arrivals	Polder	17081
	Zwanenburg	6041
	Aalsmeer	5399
	Kaag	9666
	Buitenveldert	5312
departures	Polder	11971
	Zwanenburg	4205
	Aalsmeer	8188
	Kaag	18747
	Buitenveldert	1109

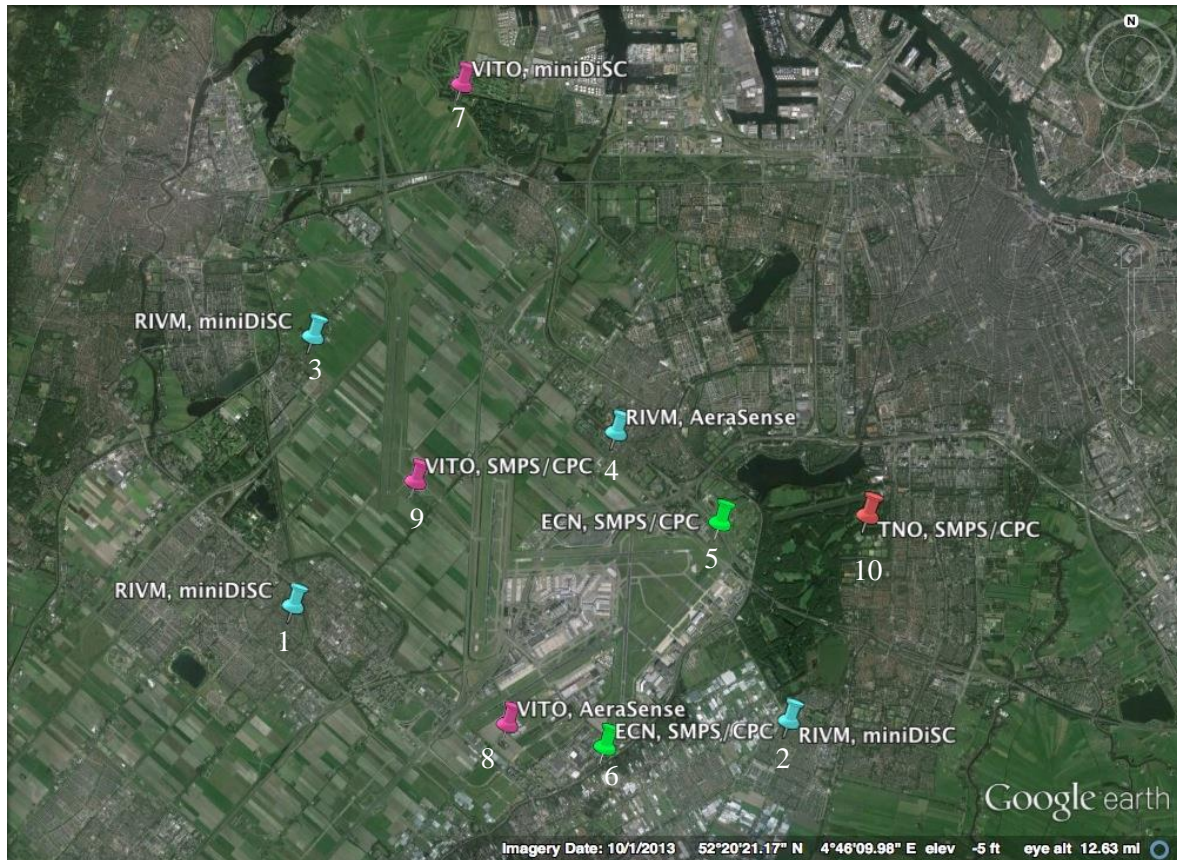


De UFP metingen

Metingen aan ufp's zijn uitgevoerd op 10 locaties door diverse soorten meetapparatuur. Een beschrijving van de apparatuur is te vinden in ECN, 2015. Figuur 1 geeft de meet locaties weer en in tabel 3 zijn de Rijks Driekhoeks Coördinaten (RDC) opgenomen. De meeste ufp meetinstrumenten geven niet alleen de aantallen deeltjes weer, maar ook de gemiddelde (modale) deeltjesdiameter die zijn gemeten. Deze informatie is relevant, want het is bekend dat de deeltjesdiameters van vliegtuigemissies gemiddeld zeer klein zijn: 10-40 nm (zie bijvoorbeeld Danish Eco Council, 2012). In tabel 3 zijn tevens de aanduidingen opgenomen die in het hoofdrapport zijn gebruikt. Connexion is daarin als "Nieuwe Meer / Connexion" aan geduid en Schiphol Zuid als "Rozenburg / Schiphol Zuid".

Tabel 3: locaties van de meetstations. Nummering; zie kaartje figuur 1.

aanduiding		RDC X (m)	RDC Y(m)	aanduiding RIVM hoofdrapport
Hoofddorp	1	106700	479900	7. Hoofddorp
Amstelveen	2	116600	477600	6. Amstelveen
Vijfhuizen	3	107200	485350	8. Vijfhuizen
Badhoevedorp	4	113000	483000	9. Badhoevedorp
Connexion	5	115000	481600	3. Nieuwe Meer (Connexion)
provincie zuidkant	6	113050	477250	2. Oude Meer (NH2)
Spaarnwoude	7	110200	490300	5. Spaarnwoude
kop kaagbaan	8	111100	477500	10. Rozenburg (Schiphol Zuid)
zuid polderbaan	9	109200	482400	1. Polderbaan Zuid (NH1)
Amsterdamse bos	10	118250	481650	4. Amsterdamse Bos



Figuur 1: locaties van de meetapparatuur in de periode april-juni 2015. Nummering: zie tabel 3.

Meteorologische gegevens

Weersgegevens zijn betrokken van de metingen van het KNMI station Schiphol. Om deze metingen vertaalbaar te laten zijn naar andere locaties (de meetlocaties van de ufp metingen bijvoorbeeld) is gebruik gemaakt van de windrichtingsafhankelijke ruwheid (per 10 graden) die in NNM verband is gedocumenteerd. De windsnelheid op de KNMI locatie wordt hiertoe met deze windrichtingsafhankelijke ruwheid vertaald naar een windsnelheid op 60 m hoogte, waarna op elke receptorlocatie de windsnelheid met de lokale (gemiddelde, dus niet windrichtingsafhankelijke) ruwheid op pluimhoogte wordt berekend. Om te bepalen welke kop van een startbaan is gebruikt in een specifiek uur, wordt de windrichting gebruikt in dat betreffende uur: de vliegrichting is dan altijd tegen de wind in.

Terugrekening van meetdata naar emissies

Van de vliegtuigen is de ufp emissie niet bekend. Wel is door NLR een generieke schatting gegeven van de massafractie: $PM_{0.1} = 0.06 \cdot PM_{10}$, maar omdat we in dit project de aantallen deeltjes beschouwen is deze relatie niet gebruikt. Daarom wordt hier uitgegaan van de aanname dat de ufp emissie samenhangt met de pm_{10} emissie, zonder dat de relatie bekend is. Deze relatie dient dan afgeleid te worden uit de

berekende pm10 concentraties en deze te relateren aan de ufp metingen. Om dat doel te bereiken is het STACKS model voor deze toepassing aangepast. De aanpassingen worden hierna beschreven.

Het STACKS rekenmodel

De versie van STACKS die in 2008 is gebruikt voor het doen van pm10 en NO2 concentratieberekeningen rond Schiphol is ook hier gebruikt. Uiteraard zijn er de nodige aanpassingen:

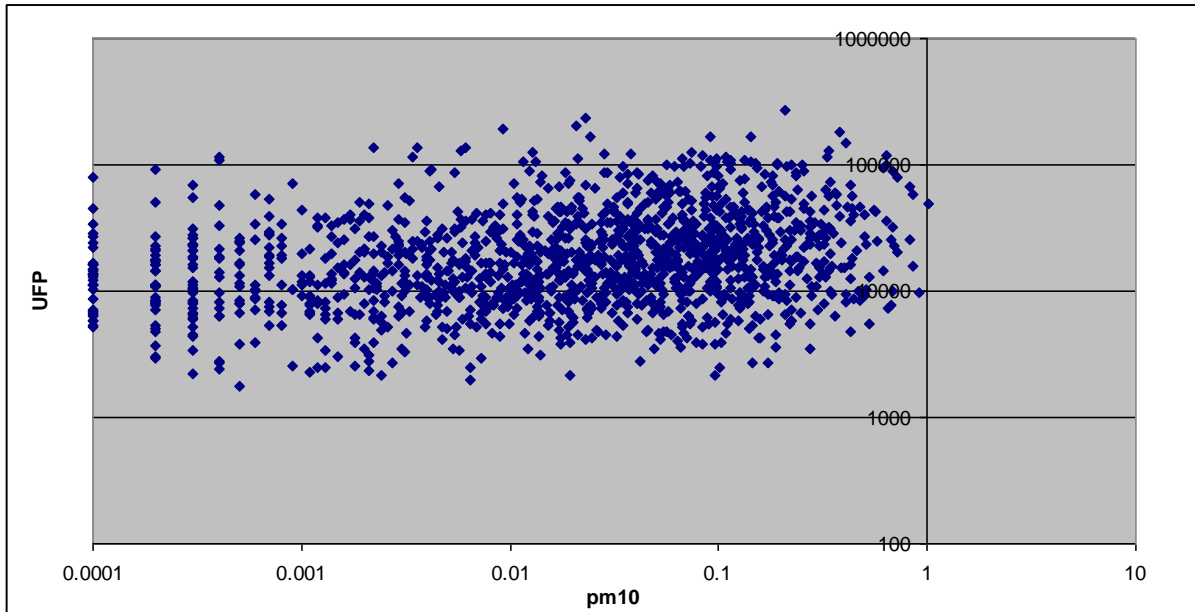
- De meteorologie wordt normaliter via de presrm tool verkregen en niet via de (in 2008) gangbare) eigen meteoprocessingen. Voor de berekeningen over de periode april – juni 2015 kan dat natuurlijk niet; de actuele meteorologie van Schiphol is gebruikt en geprocessed volgens de schema's in het Parse boekje (InfoMil, 1998) met name berekening van L, u* en grenslaaghoogte)
- De vliegtuigen bewegen zich in een verticaal vlak in voorts rechte banen: afbuigen naar links of rechts wordt niet voorzien. De stapgrootte in de beweging is (net als in 2008) 500 m.
- De keuze van de baankop hangt van de windrichting in dat betreffende uur af. In 2008 werd dat bepaald door de keuze die in de LEASiT file was gemaakt.
- De snelheid van het vliegtuig is een functie van de afstand tot de baankop (zie tabel 1)
- De start van het vliegtuig wordt verondersteld plaats te vinden op deze baankop; na 2 km begint het stijtraject.
- Een landing vindt eveneens plaats op (100 m van) een baankop, waarna het vliegtuig afremt en na 2 km de startbaan verlaat.
- Taxiënde vliegtuigen zijn niet in de berekeningen meegenomen. Maar omdat de berekende pm10 concentraties worden vergeleken met gemeten ufp aantallen, worden de andere bronnen (ook taxiënde toestellen) automatisch in de schaling opgenomen.
- De berekende pm10 concentraties worden per uur en per meetlocatie gegeven, echter alleen voor de uren dat er ufp metingen beschikbaar zijn
- Door tegelijk de gemeten ufp concentraties in elk uur en voor elke meetlocatie te bepalen, wordt een bestand verkregen met alle meteo, ufp en pm10 data. Dit bestand is verder geanalyseerd.

Relatie pm10-ufp

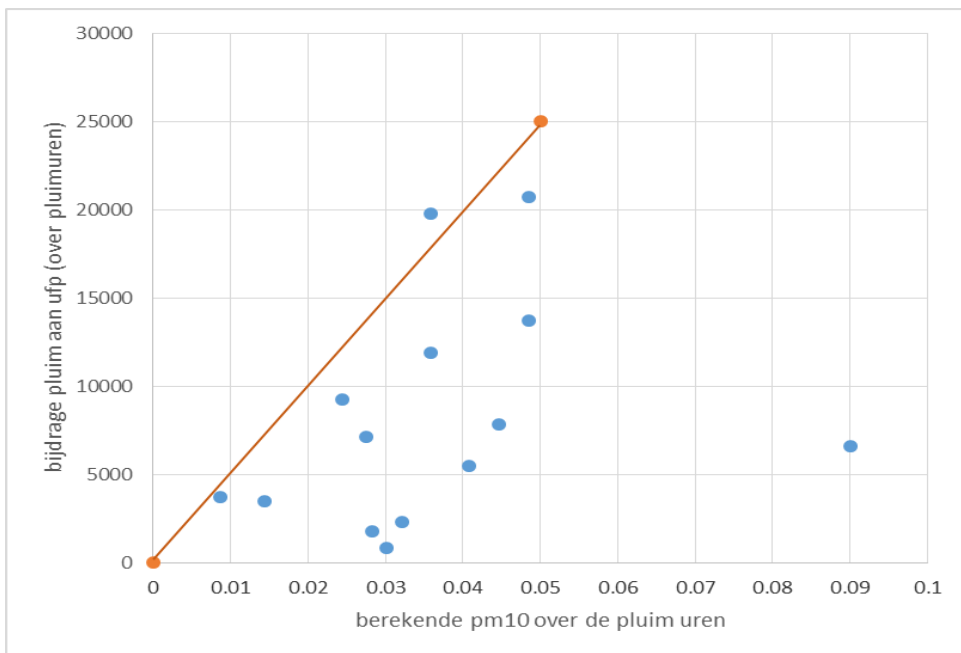
Schone (berg)lucht bevat ruwweg 1000 deeltjes per cm³; in lucht die niet direct door lokale bronnen wordt beïnvloed is dit al 10 x zo hoog. Lucht die door significante lokale bronnen (verkeer, vliegtuigen scheepvaart en dergelijk) wordt beïnvloed bevat dus beduidend meer deeltjes dan 10.000/cm³. Indien de uurgemiddelde berekende pm10 concentraties tegen de gemeten ufp waarden worden uitgezet ontstaat een beeld dat we gewend zijn: weinig visuele samenhang, zie figuur 2. De periode gemiddelde concentraties geven nauwelijks een beter beeld, zie figuur 3.

De berekende uurgemiddelde pm10 concentraties worden op grootte gesorteerd. Datzelfde is met de ufp metingen gedaan, met als randvoorwaarde dat voor beide geldige data (dus>0) aanwezig moesten zijn. In figuur 4 is het resultaat gegeven. De helling van de min of meer rechte lijn geeft de relatie tussen pm10 en

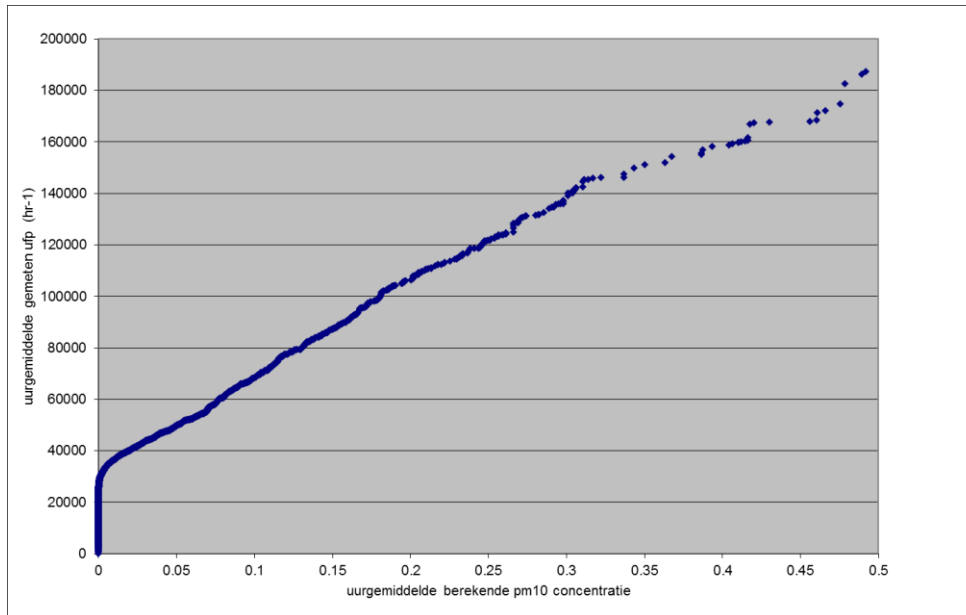
ufp aan, met een asafsnode van ongeveer 18000. De relatie is dan: $ufp = 360000x + 30000$, met een r^2 van meer dan 0.9. Daarmee is de vraag naar de relatie wel beantwoord, maar er blijft nog een vraag over.



Figuur 2. Berekende pm10 waarden uitgezet tegen gemeten ufp (aantallen/cm³). Alle uurwaarden in de periode in de figuur verwerkt.



Figuur 3. Periode-gemiddelde pm10 en ufp concentraties: gemiddeld over alleen de pluimsector, waarden uit tabel 4. Bruine lijn: de relatie die uit de uurgemiddelden is afgeleid (zie figuur 4)



Figuur 4. Gemeten ufp (alle meetstations) uitgezet tegen berekende pm10 concentraties.

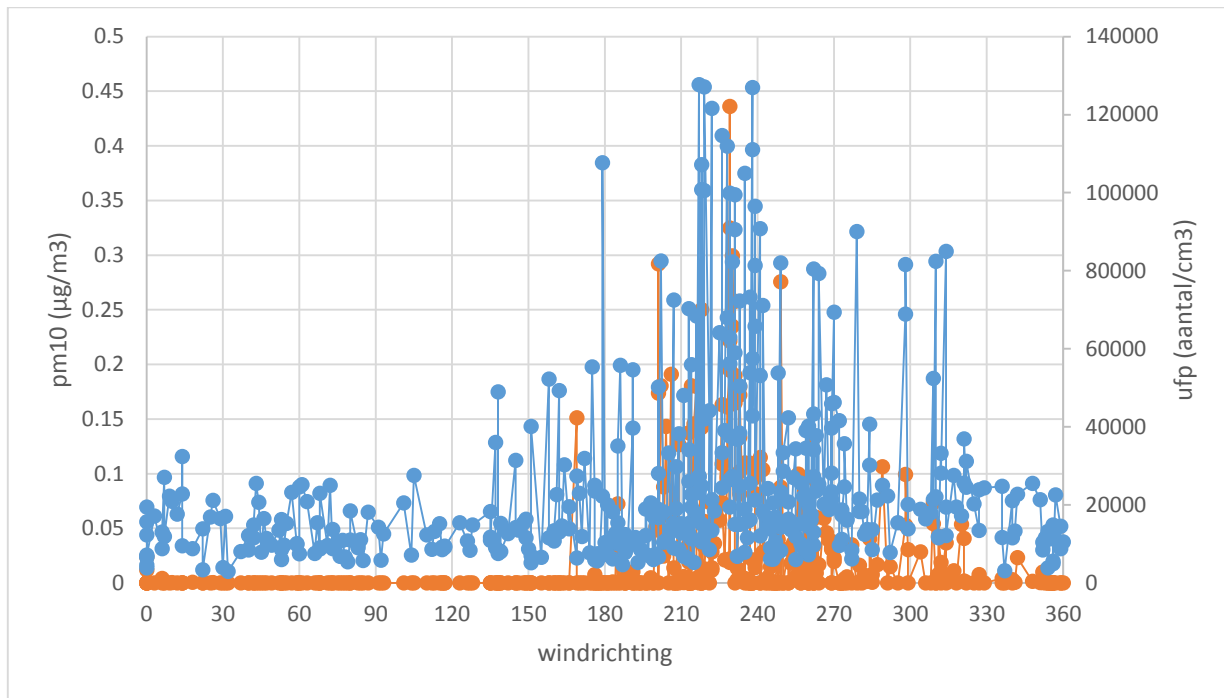
De relatie tussen pm10 en ufp zou per meetpunt kunnen verschillen. Daarom is voor alle meetsets (14 sets verdeeld over 9 meetlocaties; op sommige lokaties is gemeten met meer ufpmeetinstrumenten) de helling bepaald die de samenhang geeft tussen pm10 en ufp. De resultaten staan in tabel 4. De gemiddelde helling komt dan uit op $ufp=400000 \cdot pm10$. Deze waarde is gebruikt voor het bepalen van de ruimtelijke ufp concentraties op langere termijn. De schalingsfactor 400000 kan allèen voor de ufp bijdrage van schiphol gebruikt worden. Het is gèèn generieke factor voor PM10!

Per meetpunt kan een achtergrondwaarde voor de ufp concentratie geschat worden door te kijken naar de meetwaarden bij windrichtingen die niet door Schiphol beïnvloed worden. De jaargemiddelde bijdrage (uit STACKS berekeningen) wordt hiermee vergeleken; de resultaten staan in tabel 4.

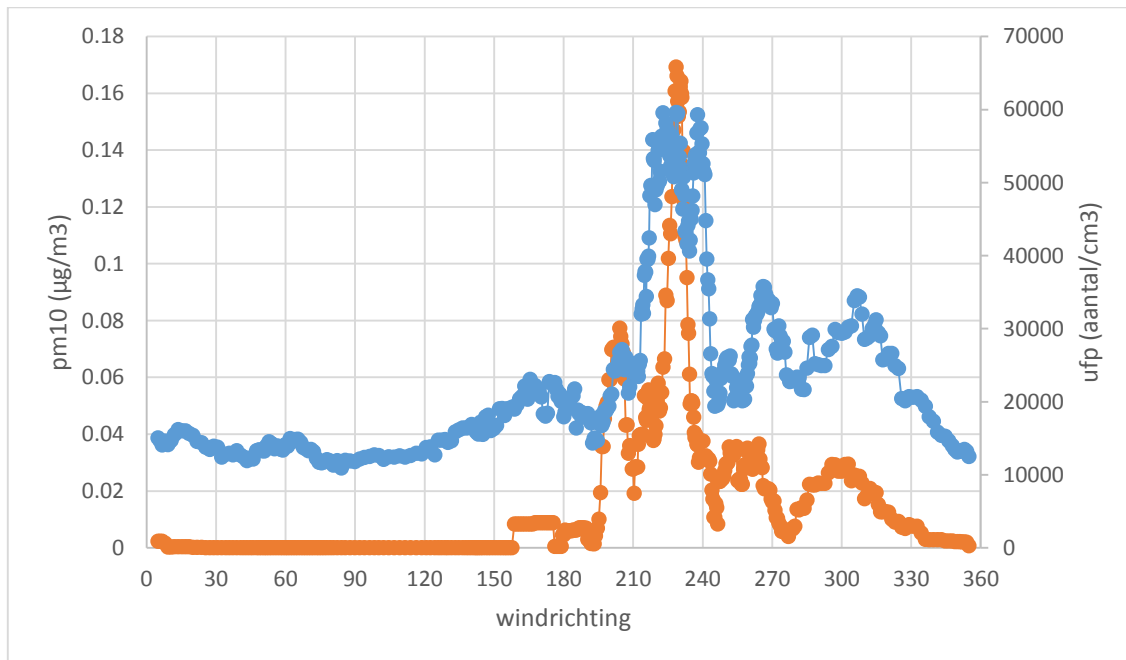
De vraag die dan nog blijft is of de relatie echt wel voor de vliegtuigemissies geldt. Immers; er zijn tal van bronnen in de omgeving, niet alleen de vliegtuigen. Daarom is de volgende check uitgevoerd: voor elk meetpunt is een windroos gemaakt van berekende uurgemiddelde pm10 concentraties en gemeten ufp concentraties.

De check per meetpunt wordt als volgt uitgevoerd en geeft dan het volgende beeld. Alle geldige metingen (dus wanneer $ufp > 0$) worden met de bijbehorende windrichting verzameld en vervolgens naar windrichting gesorteerd. Dat geeft voor de data op het meetpunt Connexion een beeld als in figuur 5. Daarin is wel te zien dat er samenhang is tussen de pm10 en de ufp concentraties, maar door de grote variatie is de structuur in de data niet goed zichtbaar. Daarom worden alle waarden voor zowel x-as als voor de beide y-assen glijdend gemiddeld over een windrichtingssector van ongeveer 10 a 20 graden. Als dat gedaan is ontstaat een veel helderder beeld, zie figuur 6. Het samenlopen van de twee datareeksen is

dan volkomen helder. Daaruit is dan gemakkelijk de conclusie te trekken dat de gemeten ufp concentraties in hoofdzaak veroorzaakt moeten zijn door de vliegtuigemissies op de meerderheid van meetlokaties.



Figuur 5. Samenhang tussen gemeten ufp's en berekende pm10 concentraties rond Schiphol, beide gesorteerd naar windrichting.

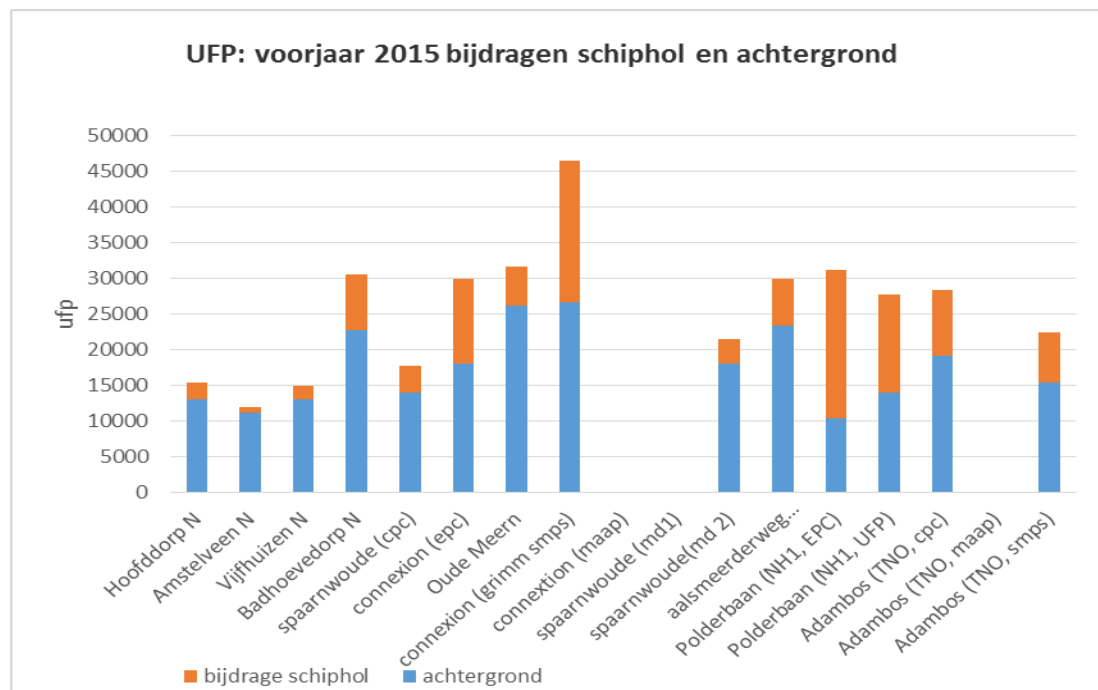


Figuur 6. Als figuur 5, maar nu glijdend gemiddelde waarden-reeksen over 10 a 20 graden.

Tabel 4. Berekende gemiddelde vliegtuigbijdrage aan pm10 en ufp concentraties op elk meetpunt. Scheiding tussen achtergrond en vliegtuigbijdrage op grond van de figuren in bijlage A (maatmeetinstrument geeft geen aantallen).

No	Meetlocatie		UFP		pm10	ufp=C+RC*pm10		
	X (rdc)	Y (rdc)	achtergr	pluim	pluim	C	RC	
1	Hoofddorp N	106700	479900	13056	2334	0.0322	20000	200000
2	Amstelveen N	116600	477600	11192	830	0.0301	15000	250000
3	Vijfhuizen N	107200	485350	13097	1782	0.0283	25000	125000
4	Badhoevedorp N	113000	483000	22686	7854	0.0447	40000	333333
5	spaarwoude (cpc)	110200	490300	13947	3744	0.0087	30000	500000
6	connexion (epc)	115000	481600	18090	11902	0.0359	30000	400000
7	Oude Meern	113050	477250	26187	5475	0.0408	30000	480000
8	connexion (grimm smps)	115000	481600	26707	19778	0.0358	45000	550000
9	connexion (maat)	115000	481600					
10	spaarwoude (md1)	110200	490300			te weinig data		
11	spaarwoude(md 2)	110200	490300	18012	3483	0.0145	40000	500000
12	aalsmeerderweg (aerose)	111100	477500	23299	6630	0.0901	25000	225000
13	Polderbaan (NH1, EPC)	109200	482400	10455	20723	0.0486	35000	625000
14	Polderbaan (NH1, UFP)	109200	482400	13989	13723	0.0486	35000	412500
15	Adambos (TNO, cpc)	118250	481650	19077	9234	0.0245	35000	500000
16	Adambos (TNO, maat)	118250	481650					
17	Adambos (TNO, smps)	118250	481650	15314	7133	0.0275	30000	450000

De uit de metingen bepaalde achtergrond en vliegtuigbijdragen uit tabel 4 zijn in figuur 7 gegeven.



Figuur 7. Uit de metingen afgeleide opbouw van ufp concentraties: achtergrond en Schiphol. Bijdrage van de vliegtuigen en achtergrond gewogen naar aantallen uren.

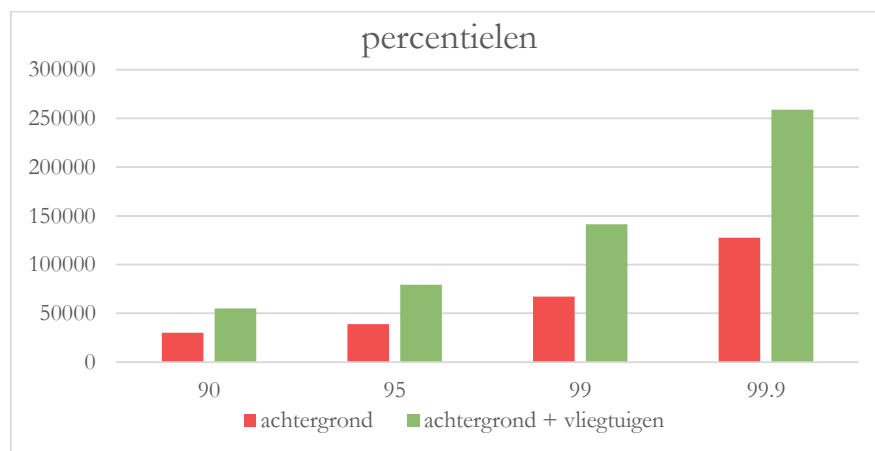
Deze bijdragen in de gemiddelde ufp concentraties variëren van 10-40%; alleen op het punt direct bij de polderbaan is de bijdrage groter dan achtergrond. Op dit punt zijn geen omwonenden.

In de bijlage A zijn de plots gegeven voor alle meetlocaties, steeds glijdend gemiddeld over 10 a 20 graden (de range voor de windrichting verschilt soms, zulks afhankelijk van het aantal waarden dat in de windrichtingsinterval aanwezig is). De plots voor de afzonderlijke meetlocaties is in figuur 8 samengenomen om te laten zien voor welke locaties de windrozen gelden. Duidelijk is daarin steeds te zien dat de berekende pm10 concentraties met de gemeten ufp pieken samenvallen en dat de pieken wijzen naar Schiphol.

Uit de meetgegevens, uitgesplitst naar achtergrond en vliegtuigbijdrage, kan tevens afgeleid worden wat de verhoging is van percentielen door de bijdrage van vliegtuigen. In tabel 5 en figuur 9 zijn de resultaten gegeven, dit is gedaan door de resultaten van alle meetlocaties tezamen te nemen. Ruwweg zijn de percentielwaarden verdubbeld door de bijdragen van vliegtuigen.

Tabel 5. Uit meetwaarden afgeleide percentielwaarden (N=aantal waarden) van ufp concentraties. voor a) achtergrond en b) achtergrond plus vliegtuigbijdragen.

achtergrond		achtergrond + vliegtuigen	
N	5828	N	10335
90p	30075	90p	54972
95p	38959	95p	79265
99p	67127	99p	141201
99.9p	127509	99.9p	258791



Figuur 9. Uit meetwaarden afgeleide percentielwaarden van ufp concentraties voor a) achtergrond en b) achtergrond plus vliegtuigbijdragen.

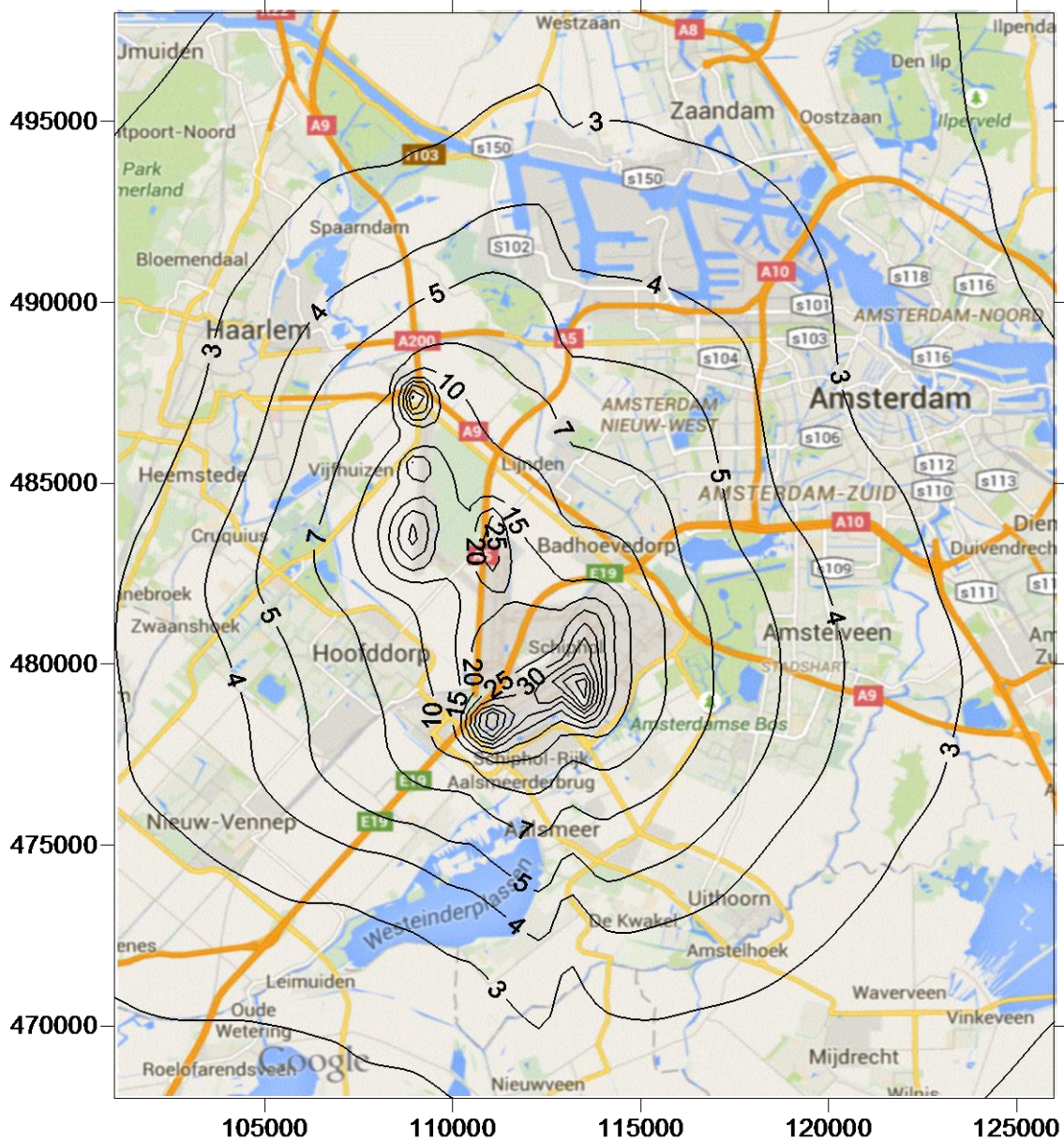


Figuur 8. Meetlocaties rond Schiphol met windrozen van gemeten ufp en berekende pm10 concentraties, bepaald over de meetperiode van april – juni 2015. Zie ook bijlage A.

Met de gevonden relatie tussen pm10 en ufp is berekend over een periode van 10 jaar wat de ruimtelijke verdeling is van de ufp concentraties in een gebied van 25x30 km. Bij die berekeningen zijn de volgende uitgangspunten aangehouden:

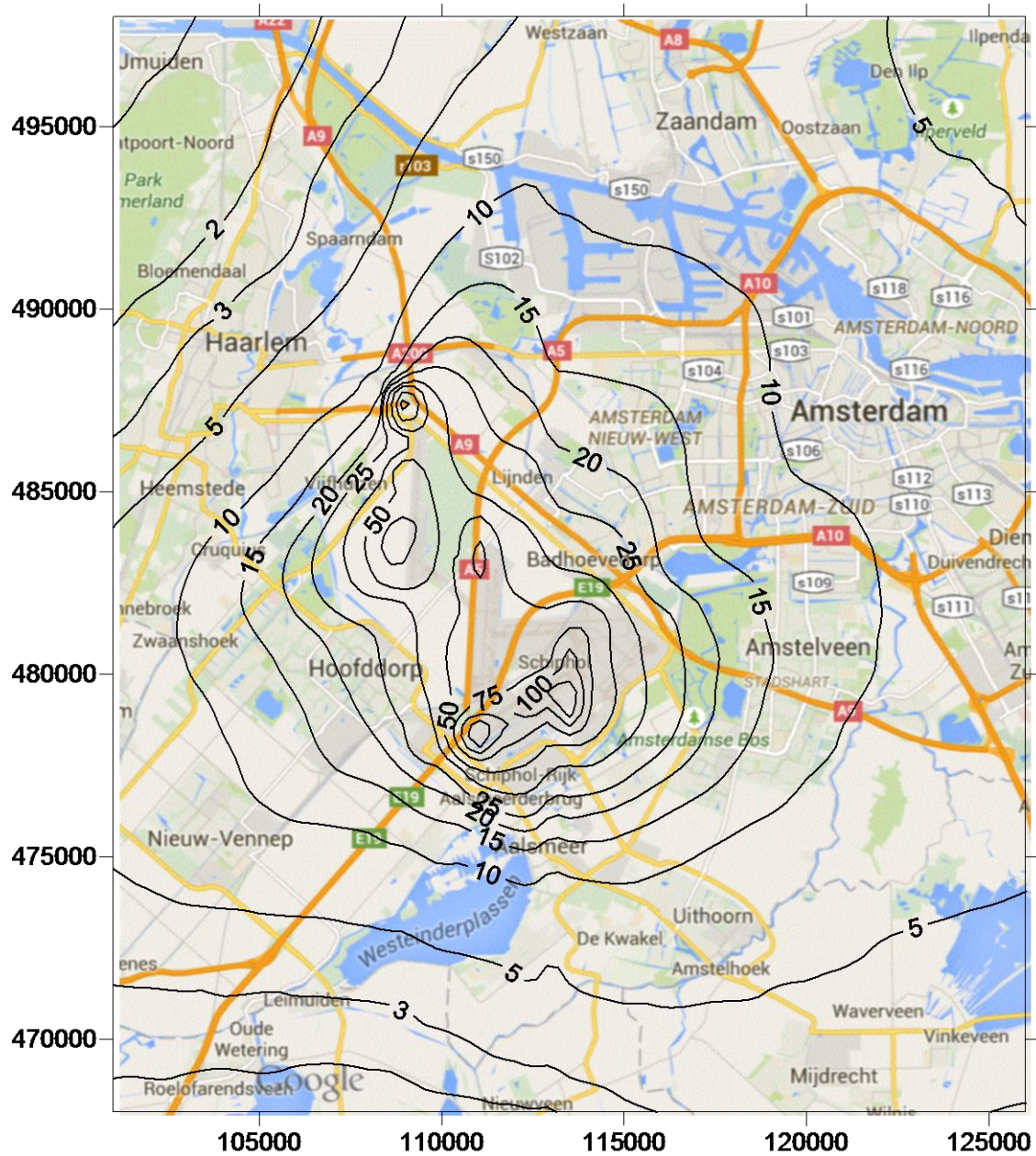
- Gemiddelde ruwheid in het gebied: 0,35 m; voorts meteorologie conform presrm (2015)
- Vliegtuigbewegingen conform de berekeningen in de referentievariant MER MLT uit 2008: Twee wekschema's apart voor de zomer- en wintercondities (440000 vliegtuigen per jaar).
- Taxiënde vliegtuigen en vliegtuigen aan de pier zijn niet meeberekend.
- Vliegtuigen tot/met 350 m hoogte zijn meegerekend. Daarboven zijn de bijdragen verwaarloosd.
- Modeldetails zoals beschreven in MER Schiphol, 2008.

De berekeningen zijn zo uitgevoerd dat niet alleen jaargemiddelden, maar ook alle percentielwaarden (als uurgemiddelden) zijn gegeven. De resultaten voor jaargemiddelde, 90-p, 95-p en 99-p zijn gegeven in figuur 10, 11, 12 en 13. De gepresenteerde niveaus geven aan wat bijdrage is door van startende en landende vliegtuigen³.

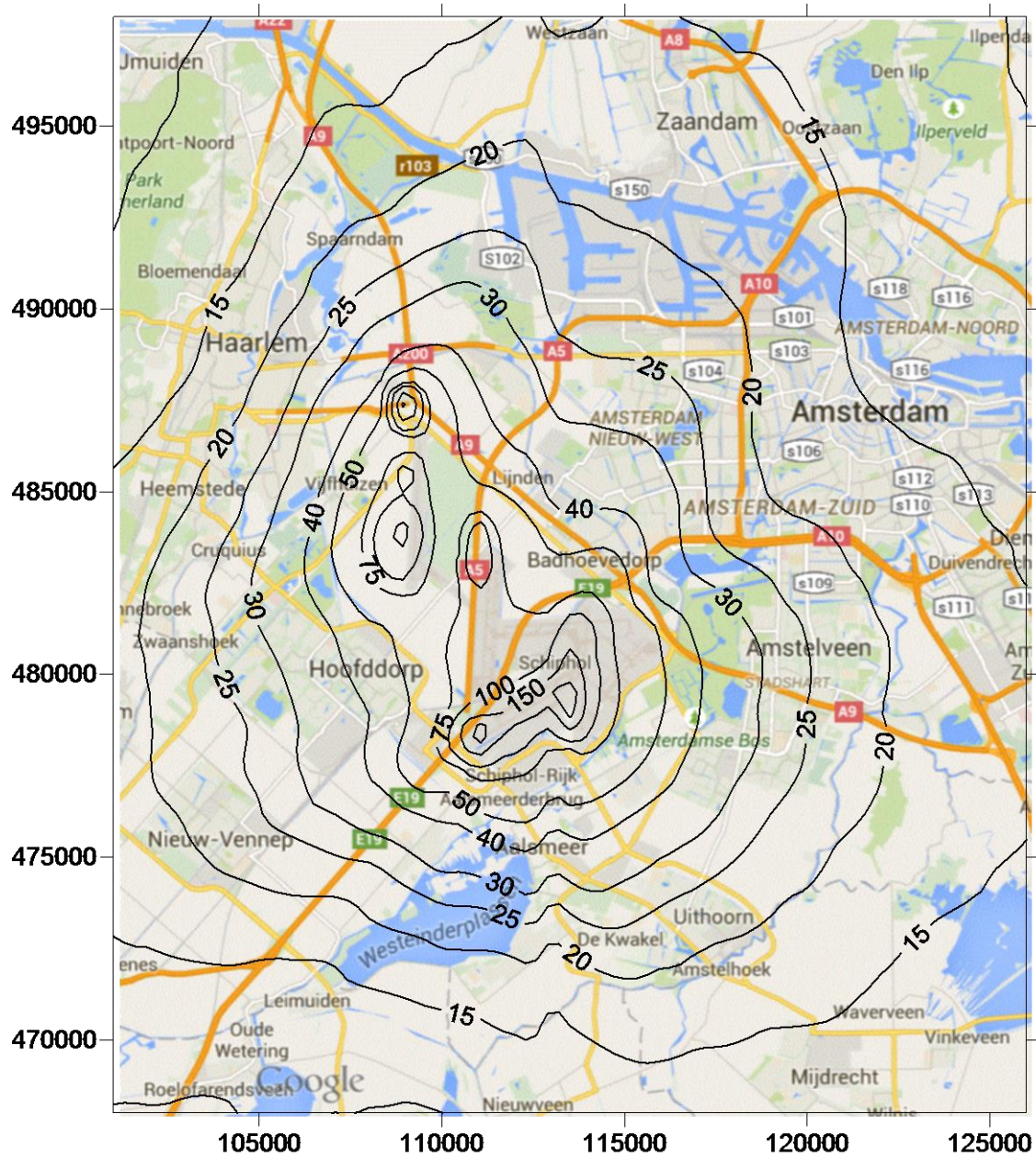


Figuur 10. jaargemiddelde UFP (in 1000-tallen), bijdrage vliegtuigen.

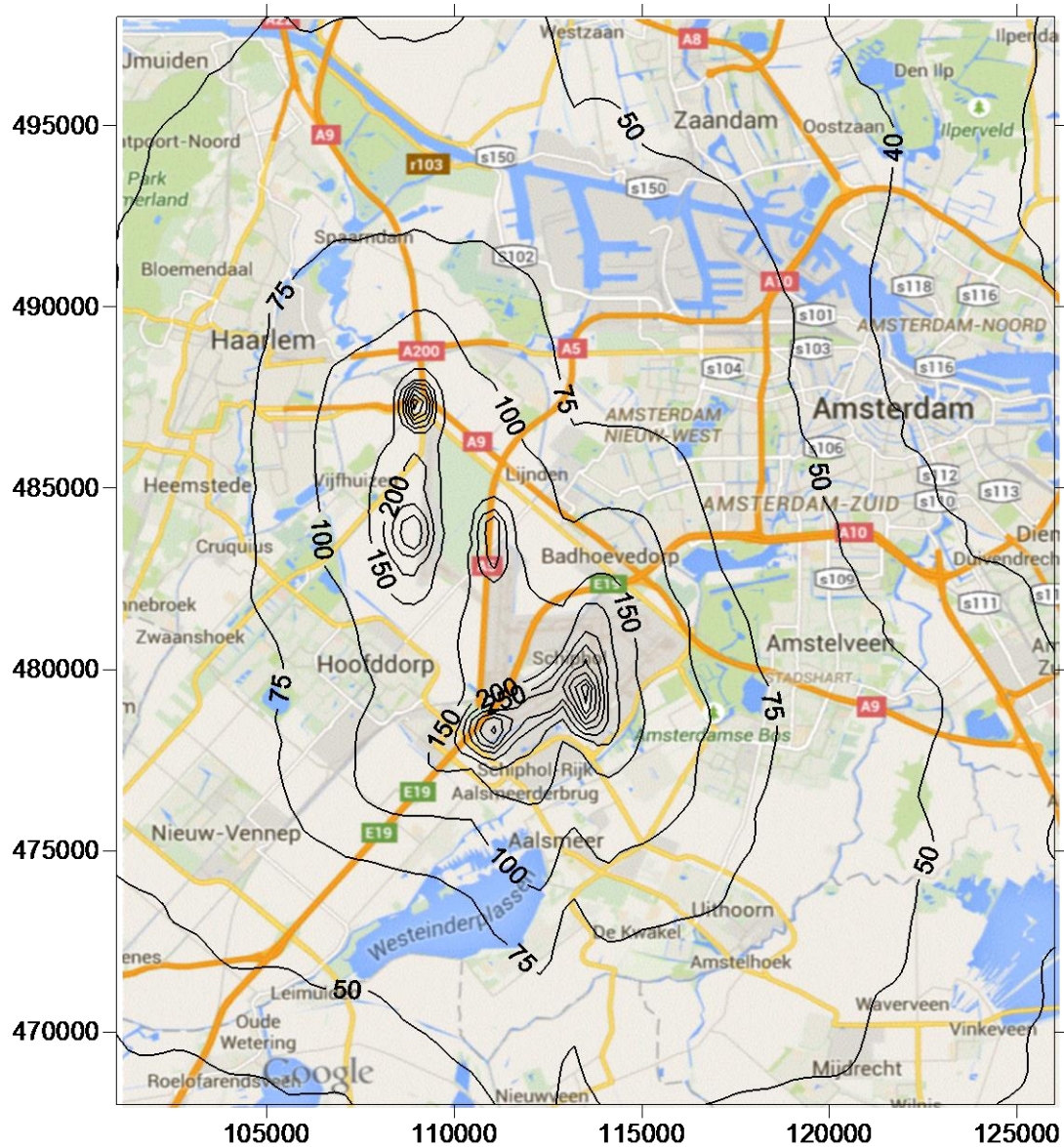
³ Merk op dat weliswaar alleen de startende en landende vliegtuigen zijn doorgerekend, maar dat in de schaalfactor van pm10 naar ufp feitelijk alle bronnen zijn verwerkt. De ufp metingen bevatten niet selectief alleen startende en landende vliegtuigen, immers de ufp concentraties geven de bijdragen van alle bronnen weer.



Figuur 11. 90-percentielwaarden van uurgemiddelden UFP (1000-tallen), bijdrage vliegtuigen



Figuur 12. 95-percentielwaarden van uurgemiddelden UFP (1000-tallen), bijdrage vliegtuigen



Figuur 13. 99-percentielwaarden van daggemiddelden UFP (1000-tallen), bijdrage vliegtuigen.

Tot slot zijn voor enkele woongebieden de windrozen afgeleid uit de lange termijn berekeningen van ufp concentraties. Dit is voor de locaties in tabel 6 gedaan; Schiphol centrum is toegevoegd als vergelijk. De jaargemiddelde berekende bijdrage van Schiphol varieert van 4000 tot bijna 9000/cm³. De resultaten zijn gegeven in Bijlage B.

Tabel 6. Locaties waarvoor windrozen over lange termijn zijn gemaakt (bijlage B).

119000	478000	Amstelveen
112000	476000	Aalsmeer
105000	486000	Haarlem
107500	489000	Haarlemmerliede
111000	488500	Zwanenburg
114500	485500	Amsterdam Osdorp
112000	485500	Lijnden
115000	488000	Amsterdam geuzenveld/Slotermeer
112000	480000	Schiphol centrum

4. Conclusies

Uit de analyse van meetgegevens en modelberekeningen kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

Uit de LEASiT file voor vliegtuigemissies kunnen de pm10 emissies worden bepaald voor landen, stijgen en starten/remmen op de baan apart, respectievelijk 0.03, 0.004 en 0.006 kg/km per vliegtuig.

Per meetlocatie is de samenhang tussen ufp en pm10 concentraties (berekend) goed zichtbaar. De berekende pm10 concentraties en gemeten ufp concentraties, beiden gesorteerd naar windrichting (de zogenaamde windrozen) vertonen een sterke samenhang: de berekende pm10 pieken door de vliegtuigen veroorzaakt, laten steeds overeenkomstige ufp pieken in de metingen zien. De gemeten ufp pieken wijzen steeds naar de luchthaven en komen vrijwel zeker van de vliegtuigemissies.

Uit de meetcijfers kan worden afgeleid dat de bijdrage van vliegtuigen aan de ufp concentraties varieert van 10% tot 40% op jaarbasis. De verhoging van de percentielwaarden (van uurgemiddelden) bedraagt voor de 90-99,9 percentielwaarden ruwweg een factor 2.

Uit lange termijn berekeningen onder de aanname dat pm10 en ufp met elkaar correleren, kan worden afgeleid dat een bijdrage van Schiphol aan ufp concentraties van 3000 /cm³ tot op afstanden van 10 km mogelijk is. Bij woonlocaties die het dichtst bij Schiphol zijn gelegen kan de jaargemiddelde bijdrage oplopen tot 10000 /cm³. In 5% van de tijd kan deze bijdrage 50000 /cm³ bedragen.

5. Referenties.

Luchtkwaliteit, klimaatgassen en luchtverontreinigende emissies luchthaven Schiphol. Hoolhorst, A. ; Beukenhorst, O.P.H. ; Erbrink, J.J. ; Scholten, R.D.A. ; Kokmeijer, E. NLR-CR-2008-242, 2008.

AIR POLLUTION IN AIRPORTS. Ultrafine particles, solutions and successful cooperation. Danish EcoCouncil, ISBN: 978-87-92044-37-2, March 2012, table 4.

Danish Eco Council, 2012. Air pollution in airports. Ultra fine particles, solutions and successful cooperation. ISBN: 978-87-92044-37-2. March 2012.

ECN, 2015. Metingen aan ultrafijn stof rondom Schiphol. Rapport ECN-X--15-064, juni 2015.

NLR, 2008. Luchtkwaliteit, klimaatgassen en luchtverontreinigende emissies luchthaven Schiphol. Voor MER "Verder werken aan de toekomst van Schiphol en de regio voor de middellange termijn". Rapport NLR-CR-2008-242.

Paarse boekje: InfoMil, 1998. "Het Paarse Boekje": Nieuw Nationaal Model. Verslag van het onderzoek van de Projectgroep. Revisie nationaal Model. InfoMil, 1998, Den Haag

BIJLAGE A. windrozen PM10 en ufp

Uurgemiddelde (berekende) pm10 concentraties en gemeten ufp concentraties.

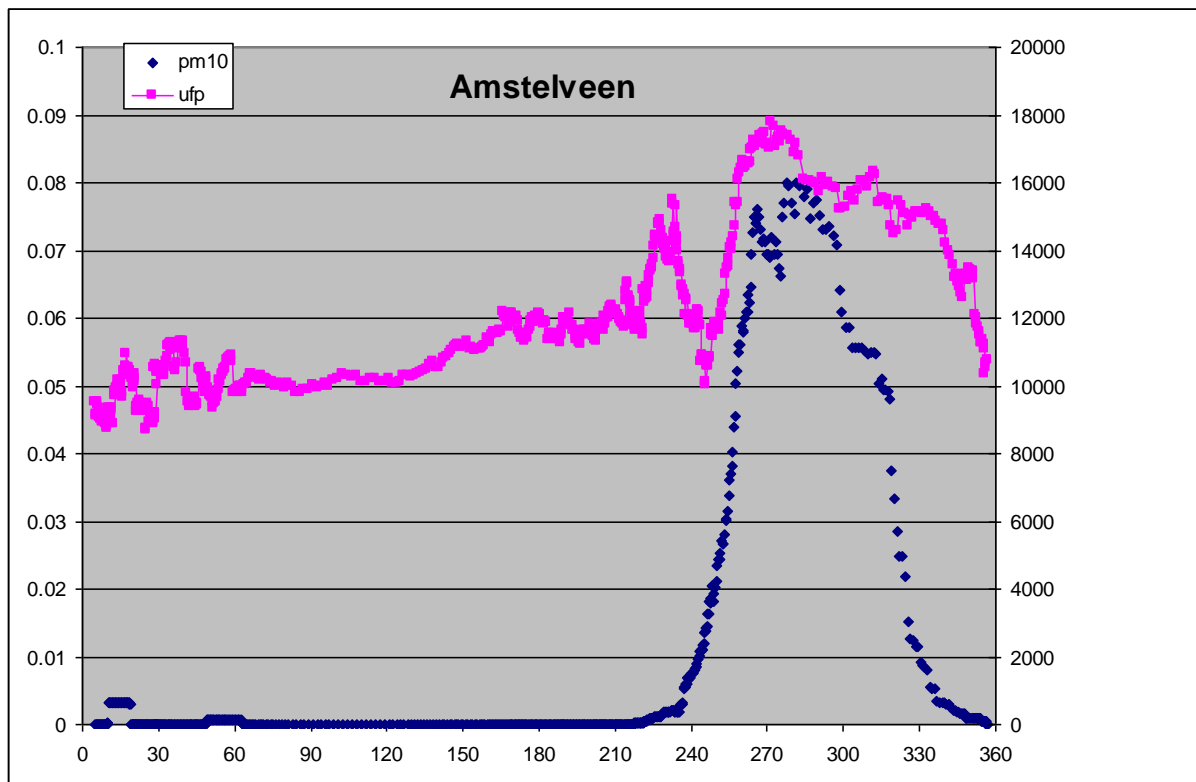
Uitgezet tegen de windrichting per meetpunt; steeds glijdend gemiddeld over 10 a 20 graden.

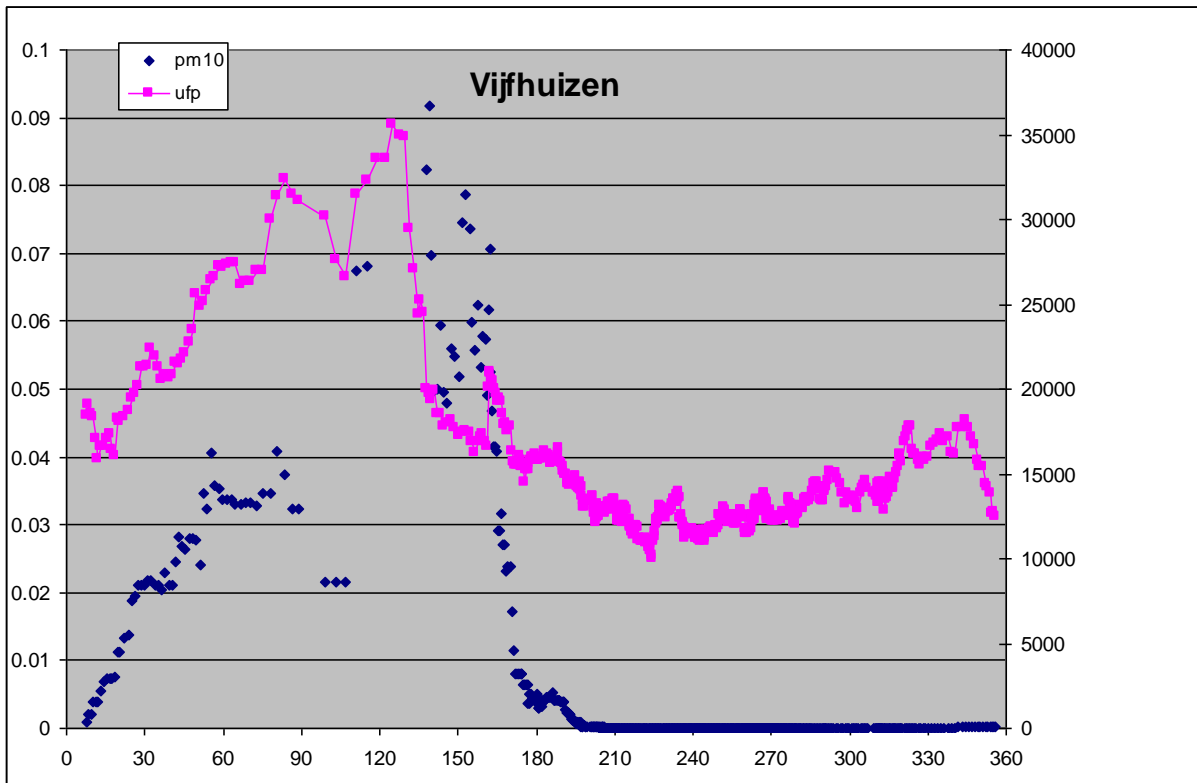
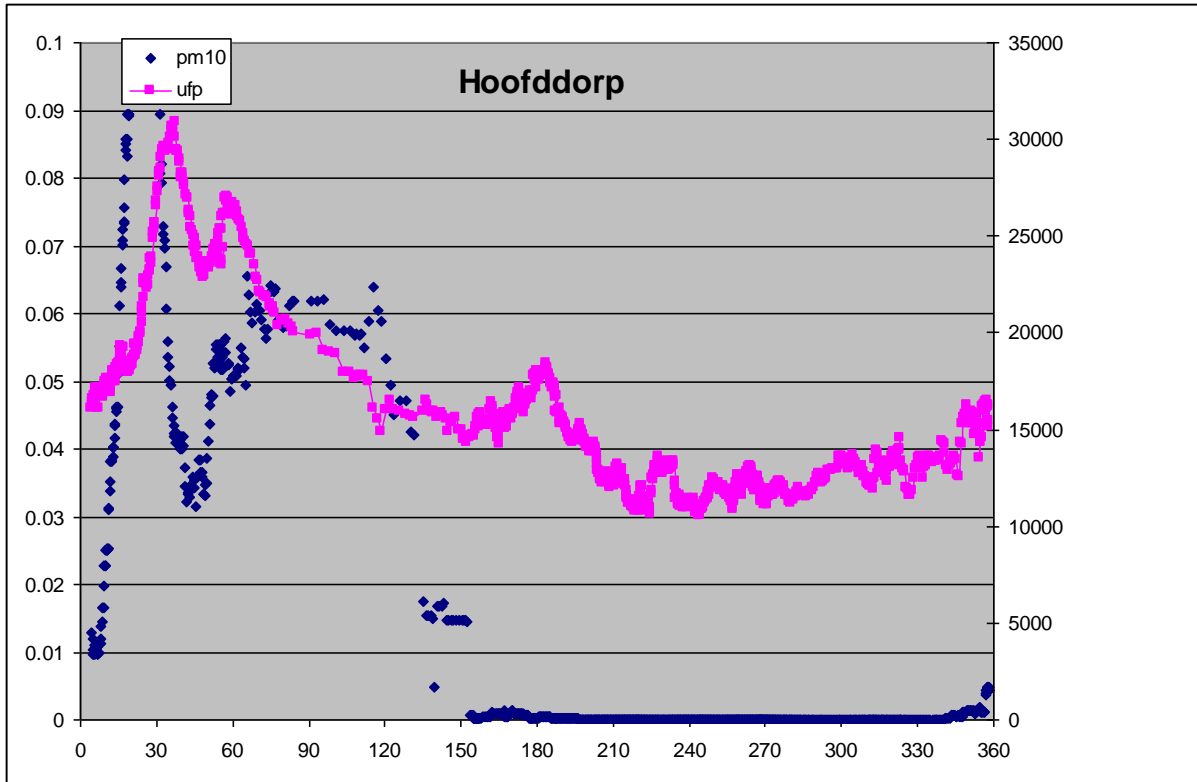
Periode: 13 april 2015 – 7 juni 2015.

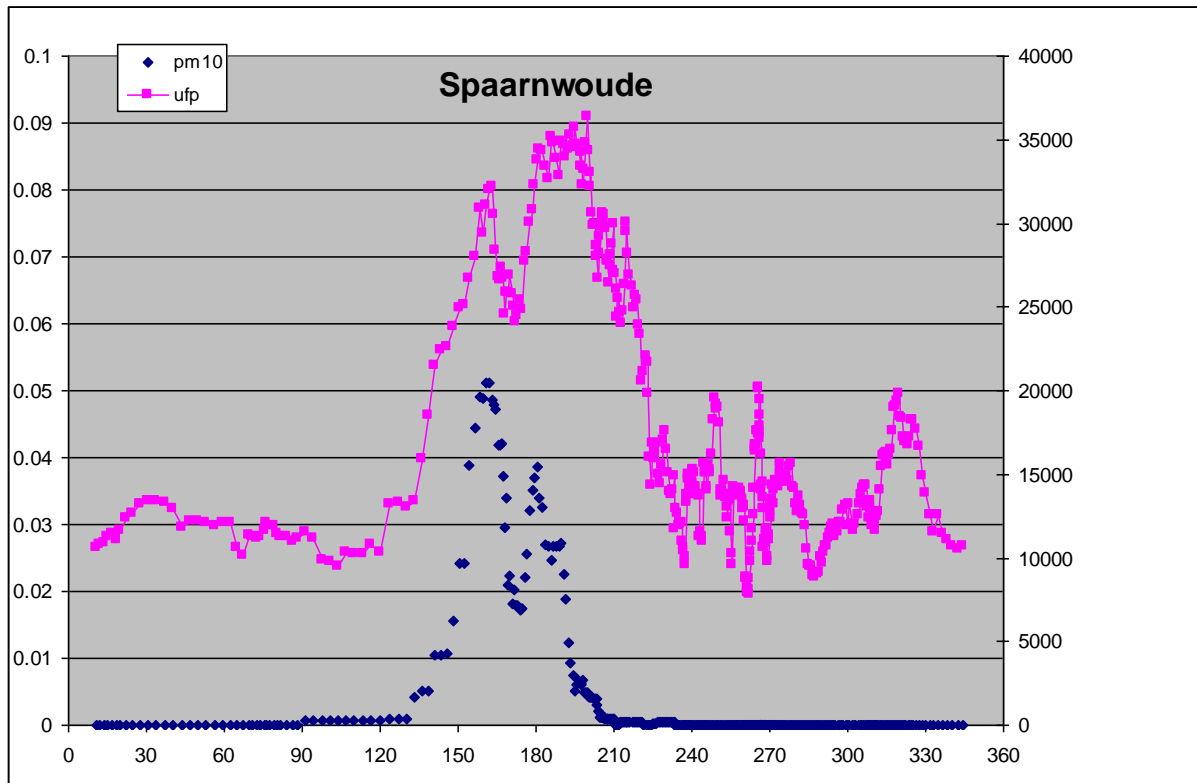
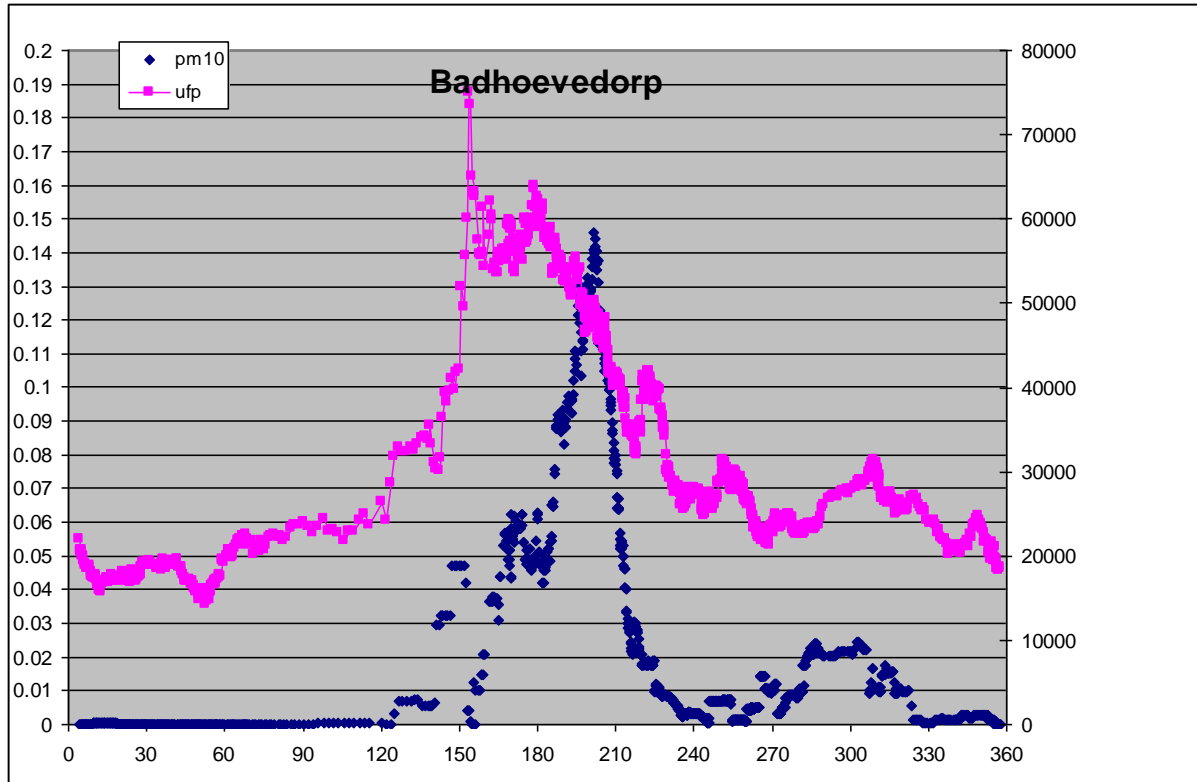
Berekeningen uitgevoerd met STACKS+, ruwheid terrein 0,35 m; meteorologie van KNMI-Schiphol.

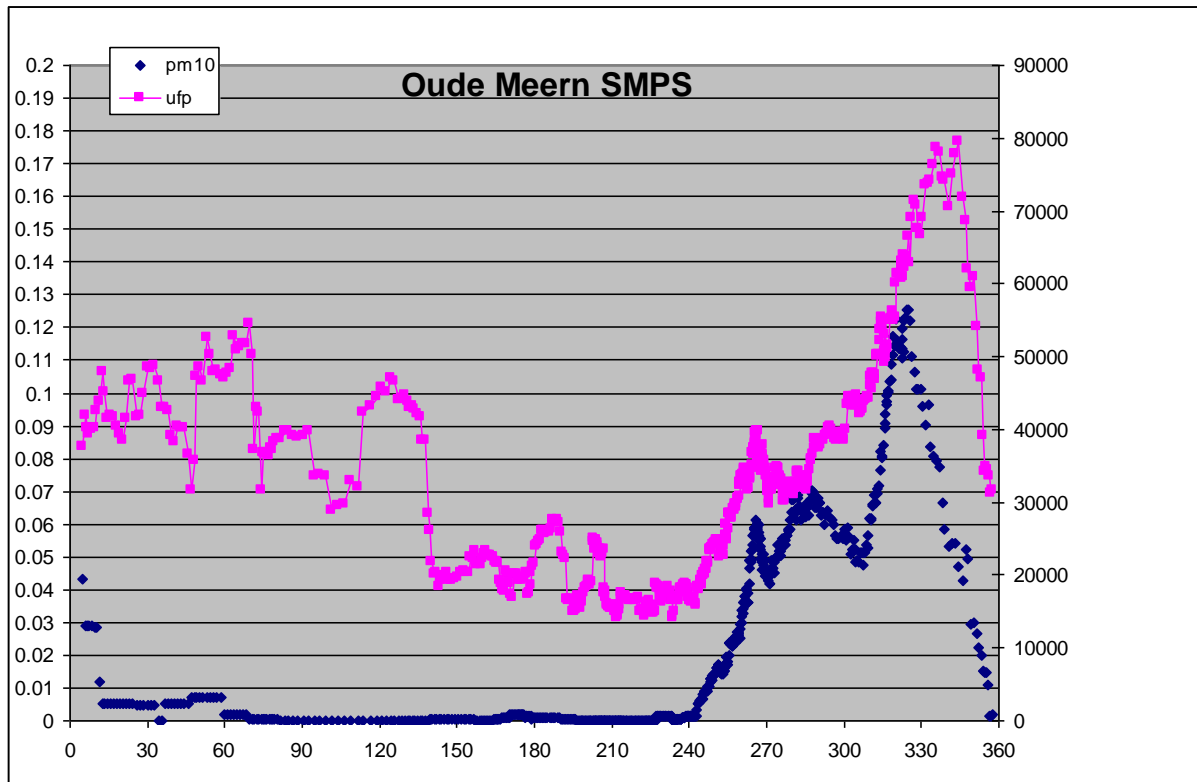
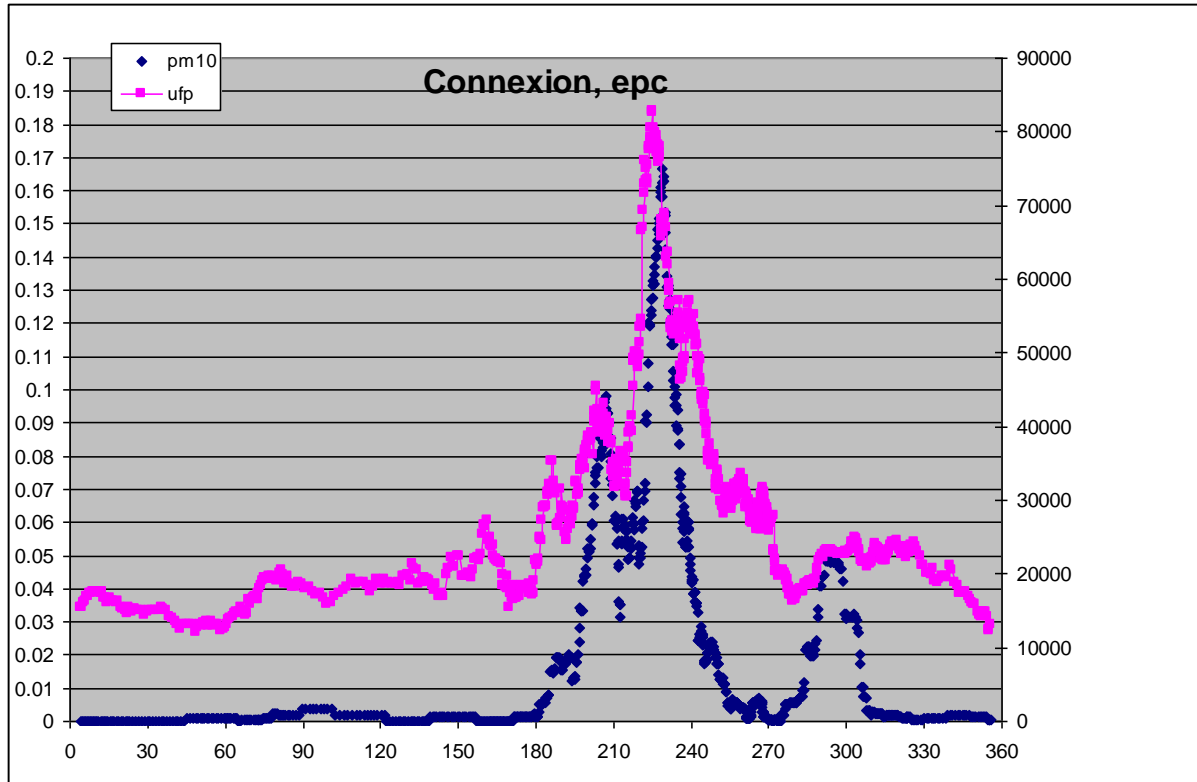
Vliegtuigbewegingen uit de MER-MLT - 2015, referentiescenario.

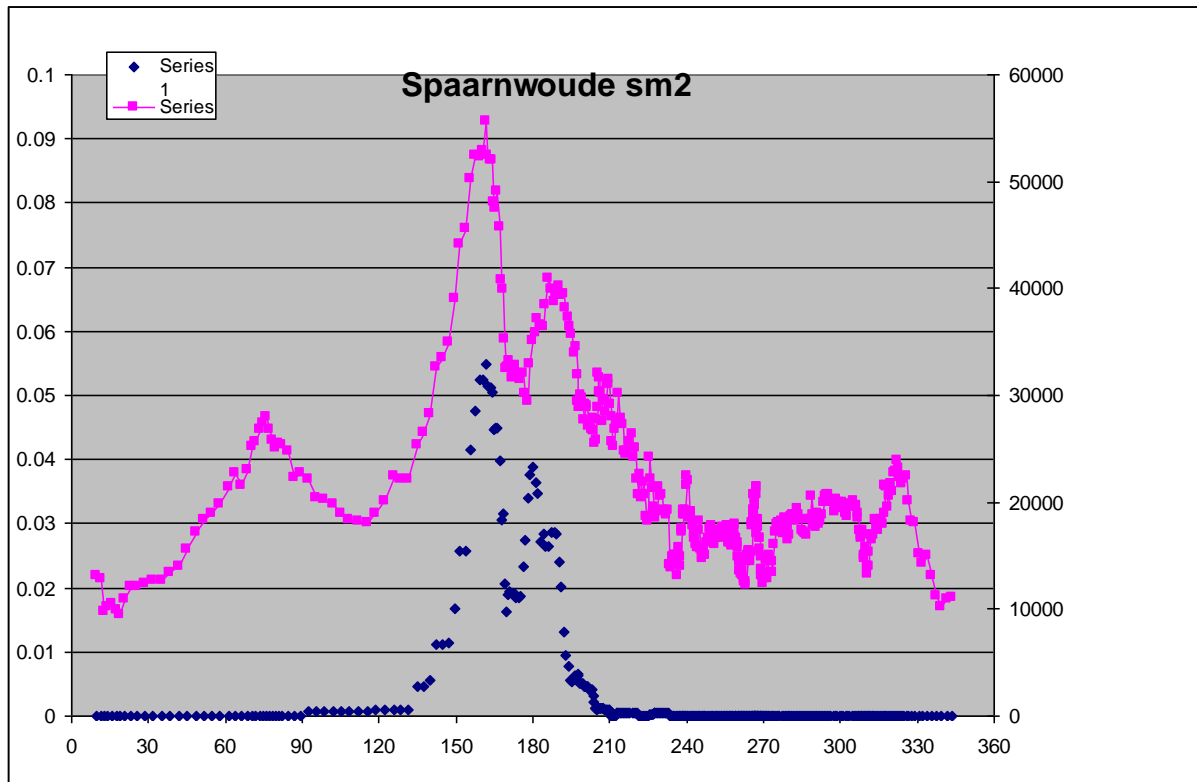
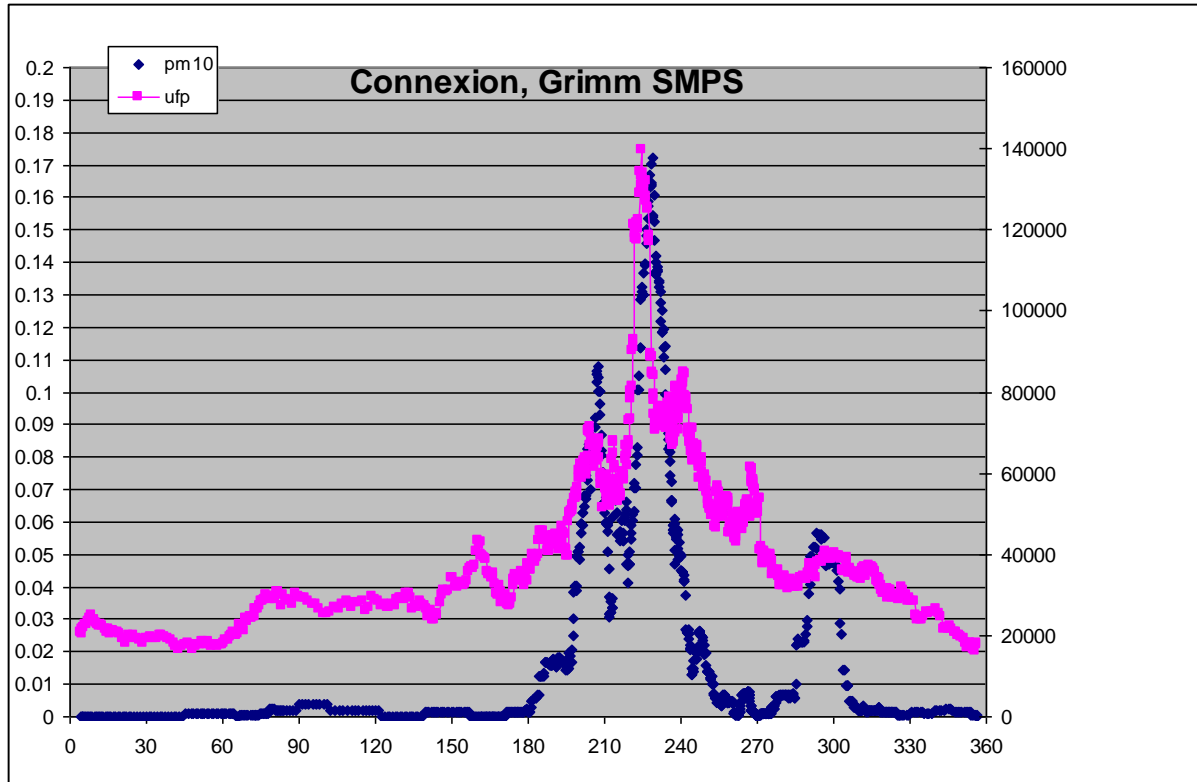
Alleen startende en landende vliegtuigen zijn verrekend (taxiën, pier en overige bronnen niet mee berekend).

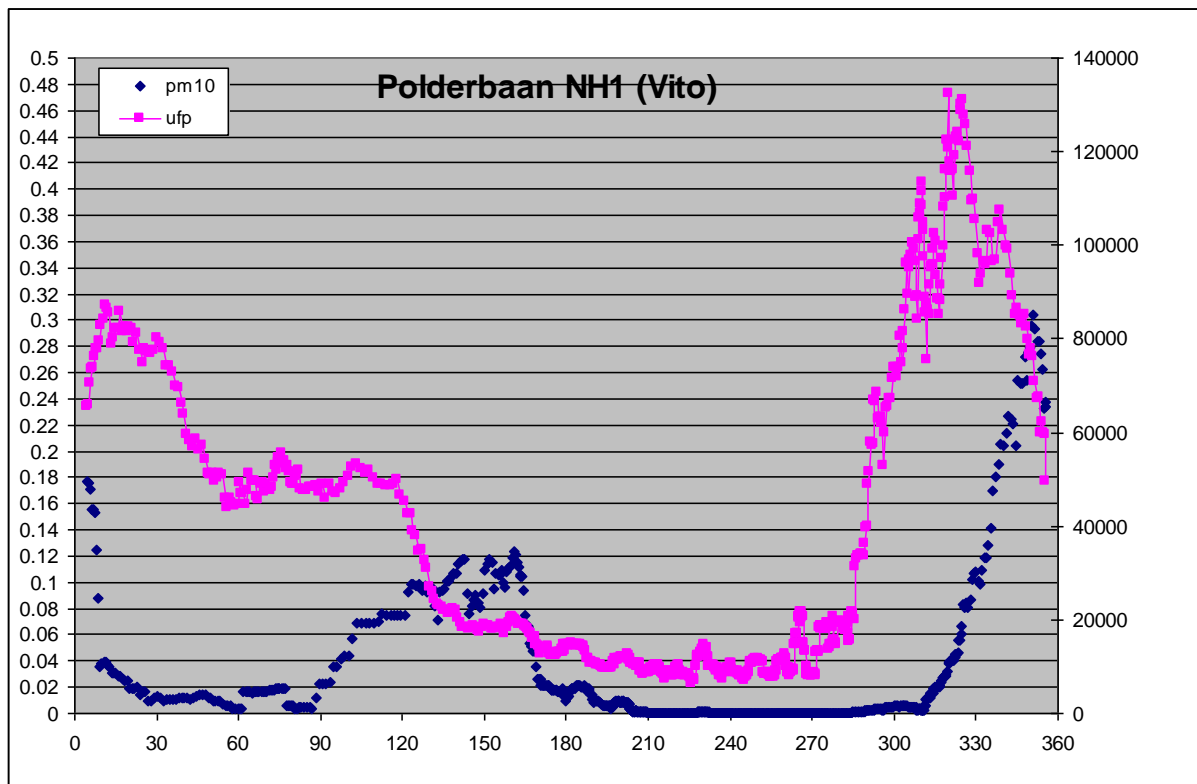
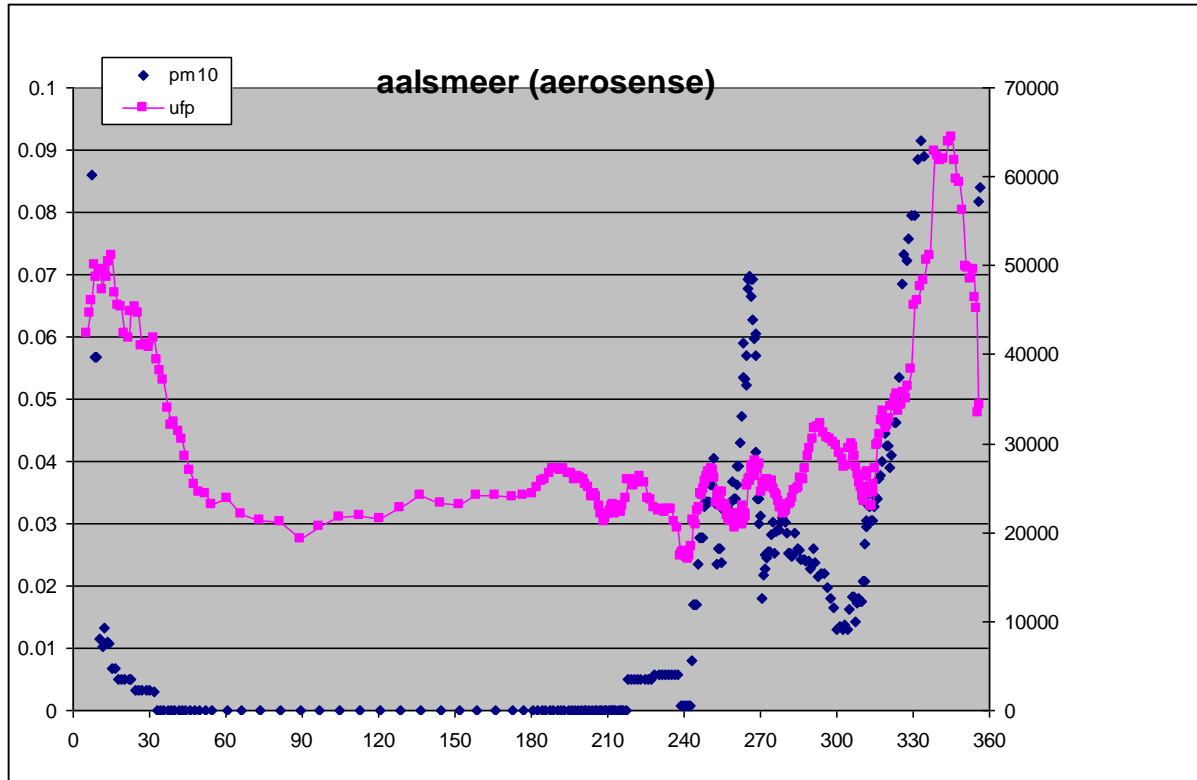


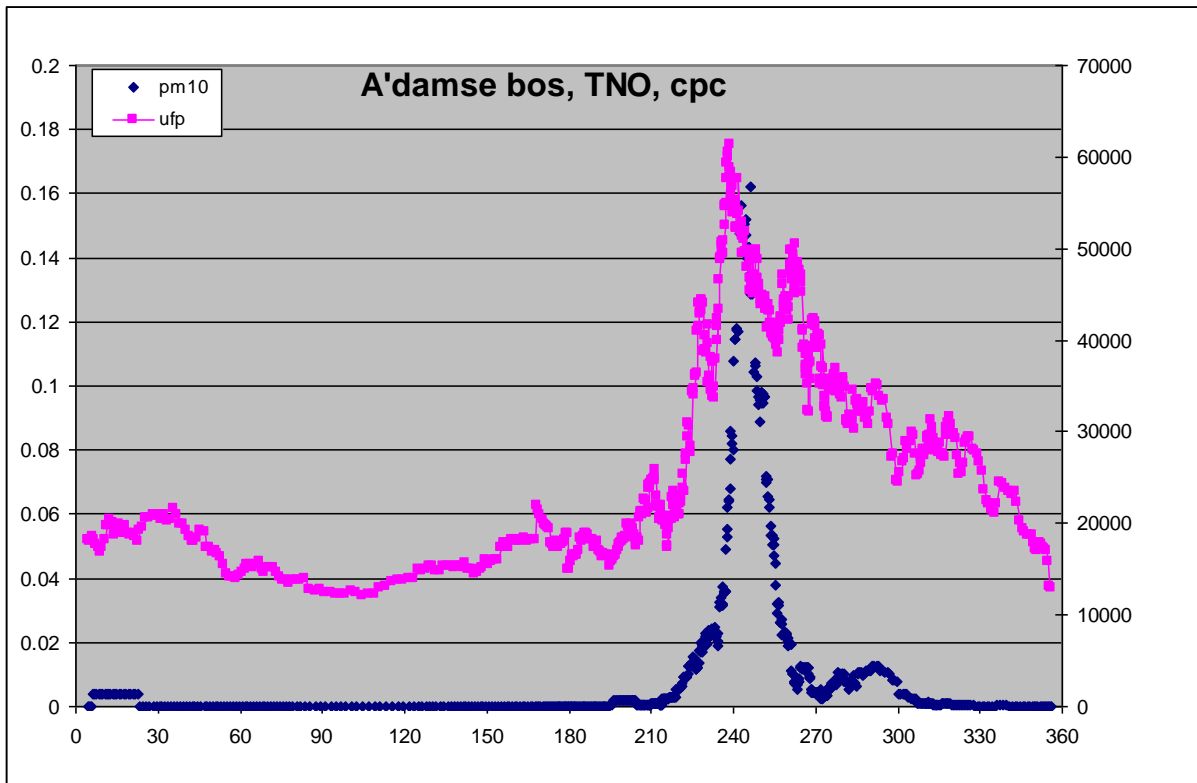
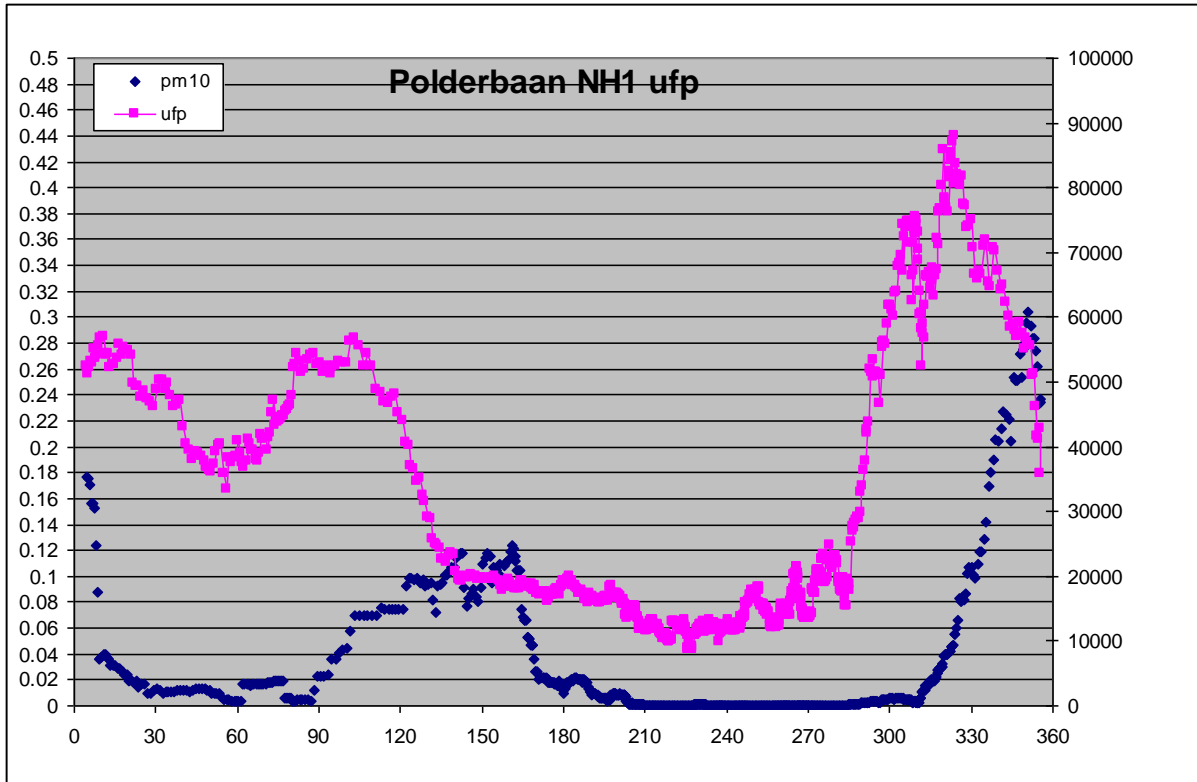


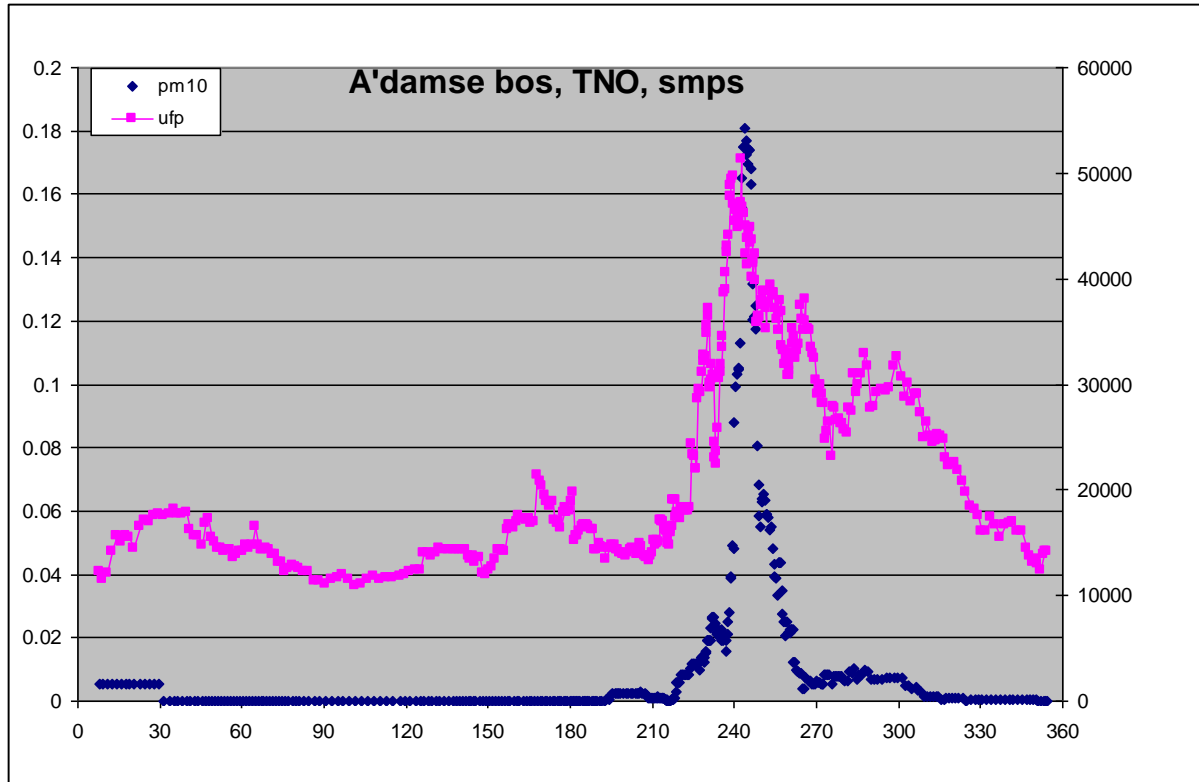


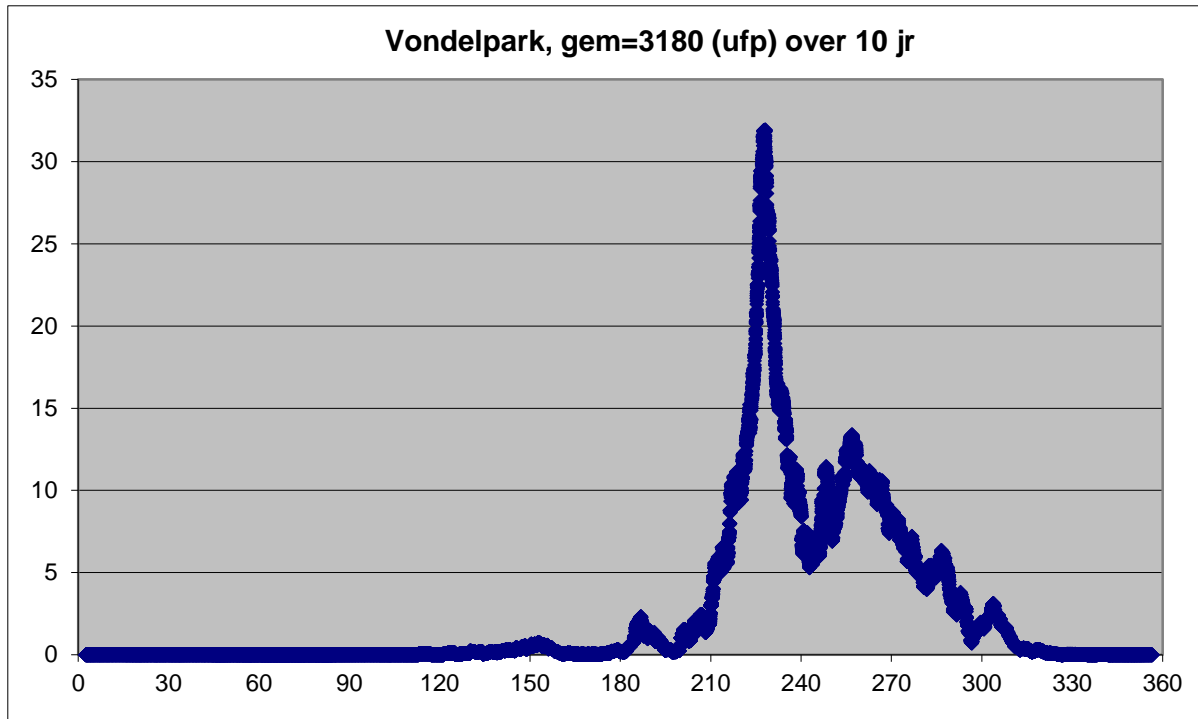




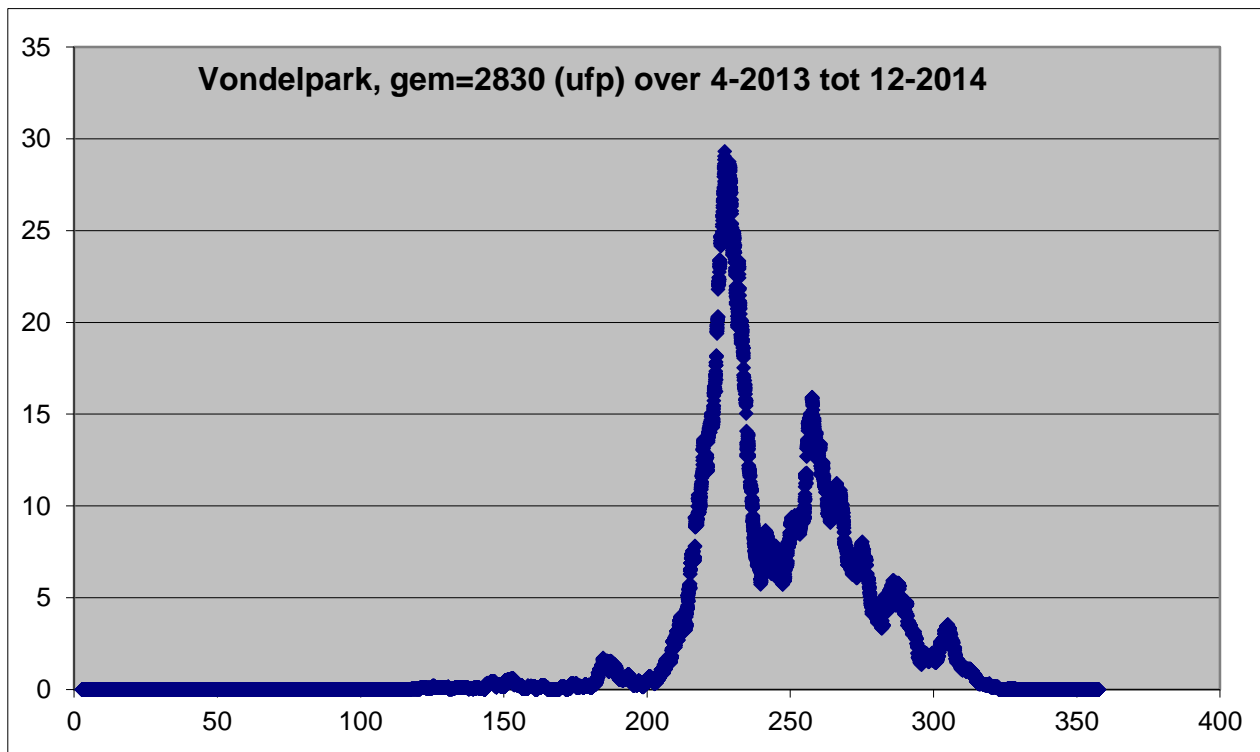








Figuur: berekende ufp concentraties, 1000-tallen (bronbijdragen ter hoogte van het Vondelpark (Amsterdam) periode 2015 (meteo van 1995-2004). Y-as: duizendtallen/cm³.



Figuur: berekende ufp concentraties, 1000-tallen (bronbijdragen ter hoogte van het Vondelpark (Amsterdam) periode april 2013-december 2014. Y-as: duizendtallen/cm³.

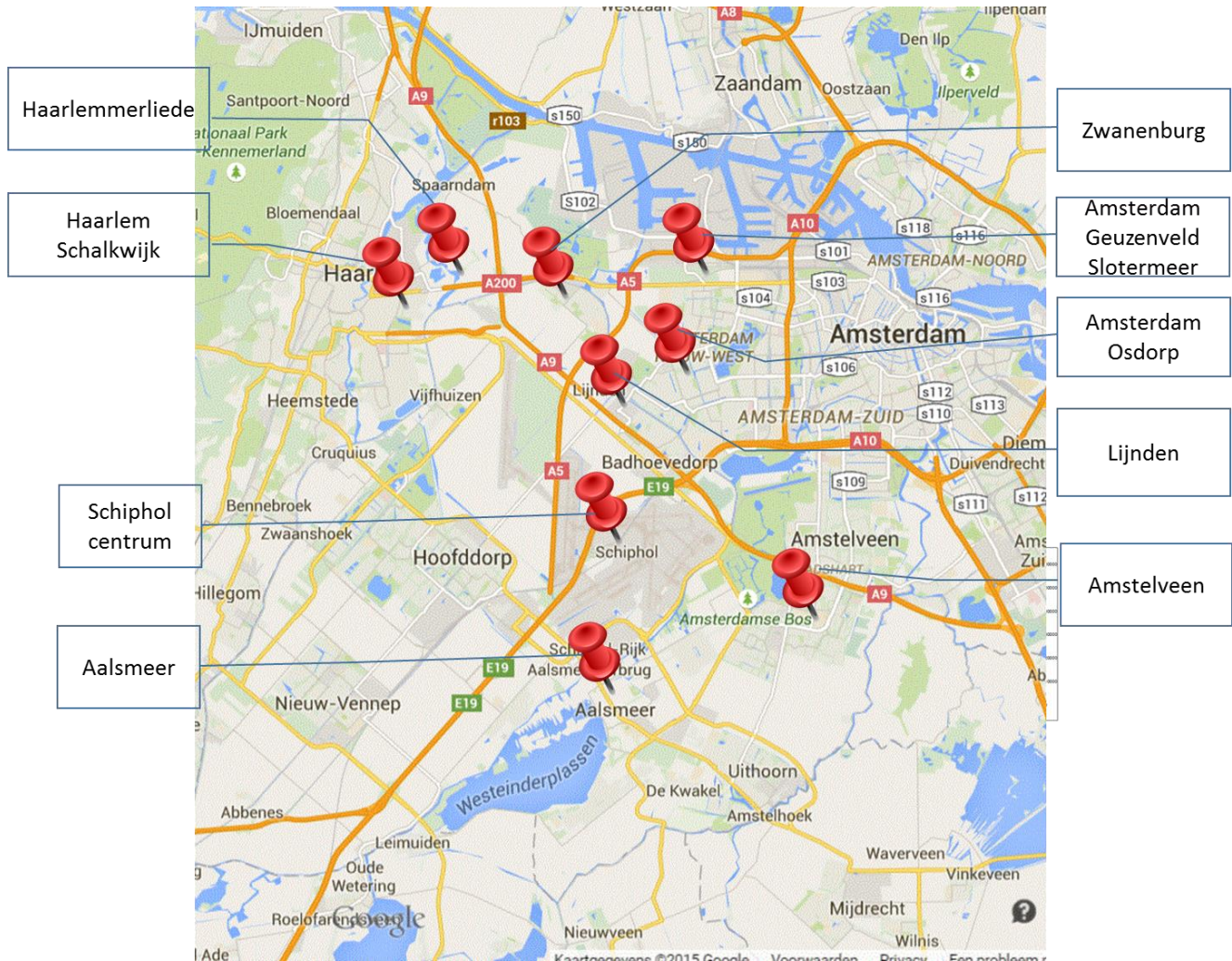
Bijlage B. Windrozen van berekende ufp

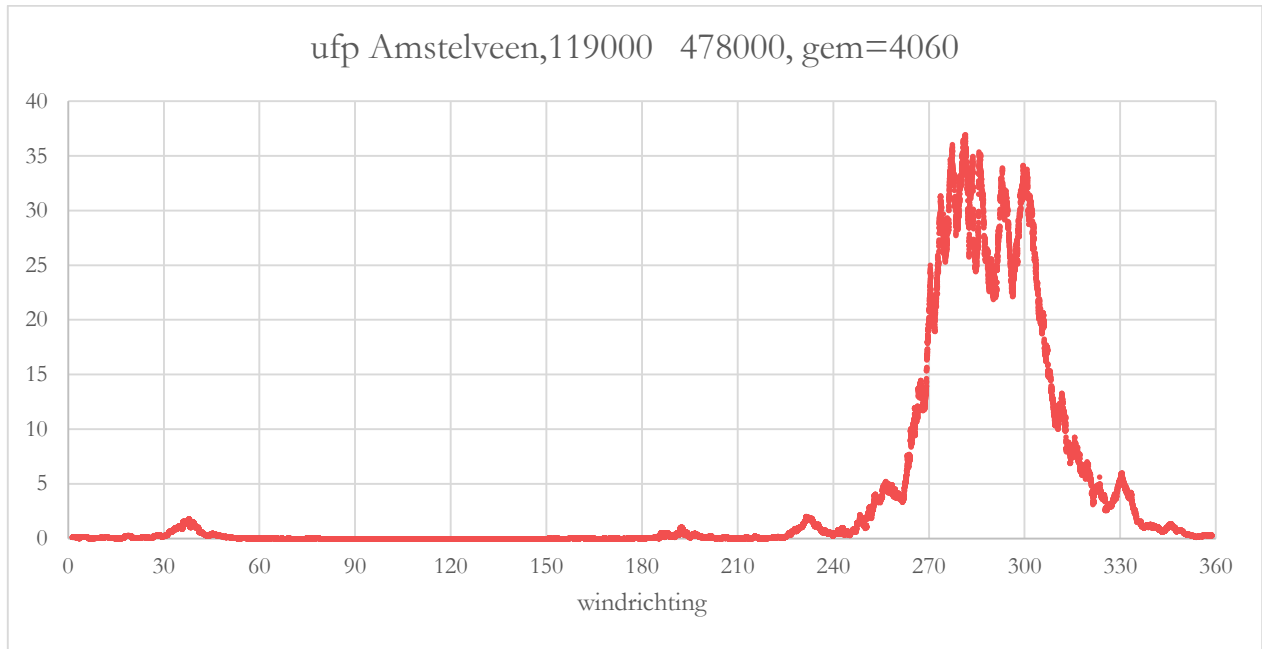
Windrozen van berekende ufp concentraties in enkele woongebieden, zie onderstaand kaartje De lange termijn gemiddelde concentraties zijn in de figuren gegeven en in onderstaande tabel.

Figuren: X-as: windrichting (0-360), y-as: de ufp concentraties staan in duizendtallen.

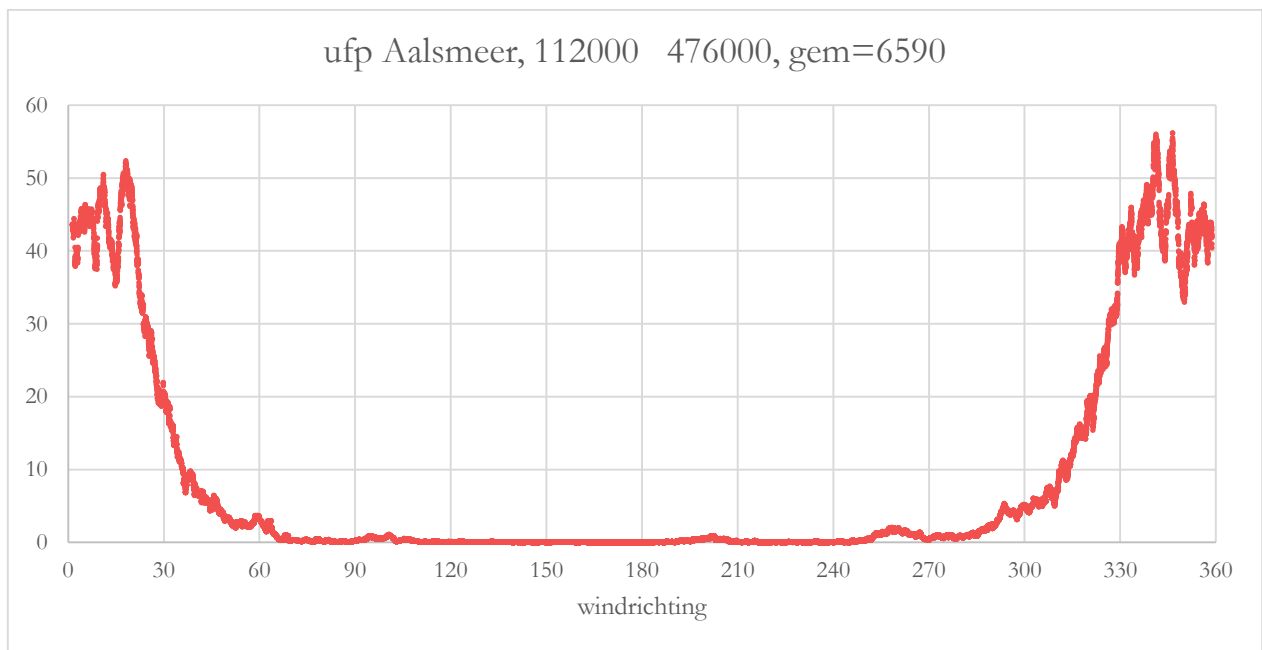
Berekende lang-jarig gemiddelde bijdrage van Schiphol aan de ufp concentratie (cm³)

119000	478000	Amstelveen	4060
112000	476000	Aalsmeer	6590
105000	486000	Haarlem	4280
107500	489000	Haarlemmerliede	4960
111000	488500	Zwanenburg	6030
114500	485500	Amsterdam Osdorp	6750
112000	485500	Lijnden	8640
115000	488000	Amsterdam Geuzenveld/Slotermeer	5010
112000	480000	Schiphol centrum	21600

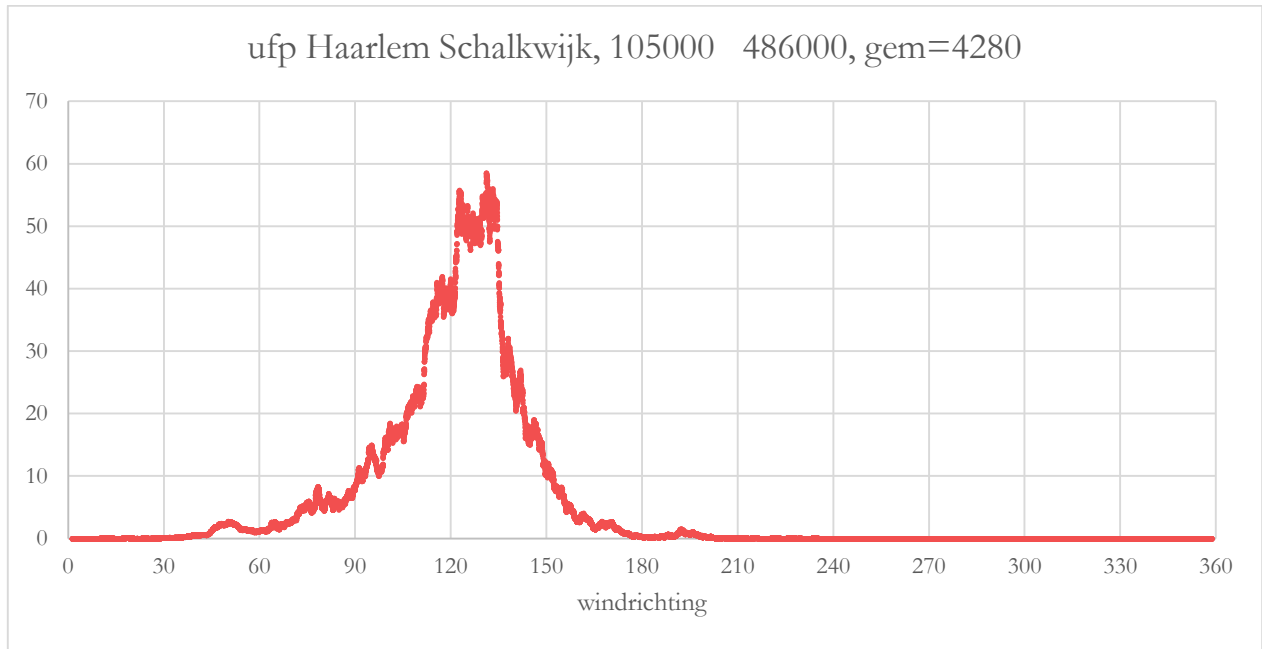




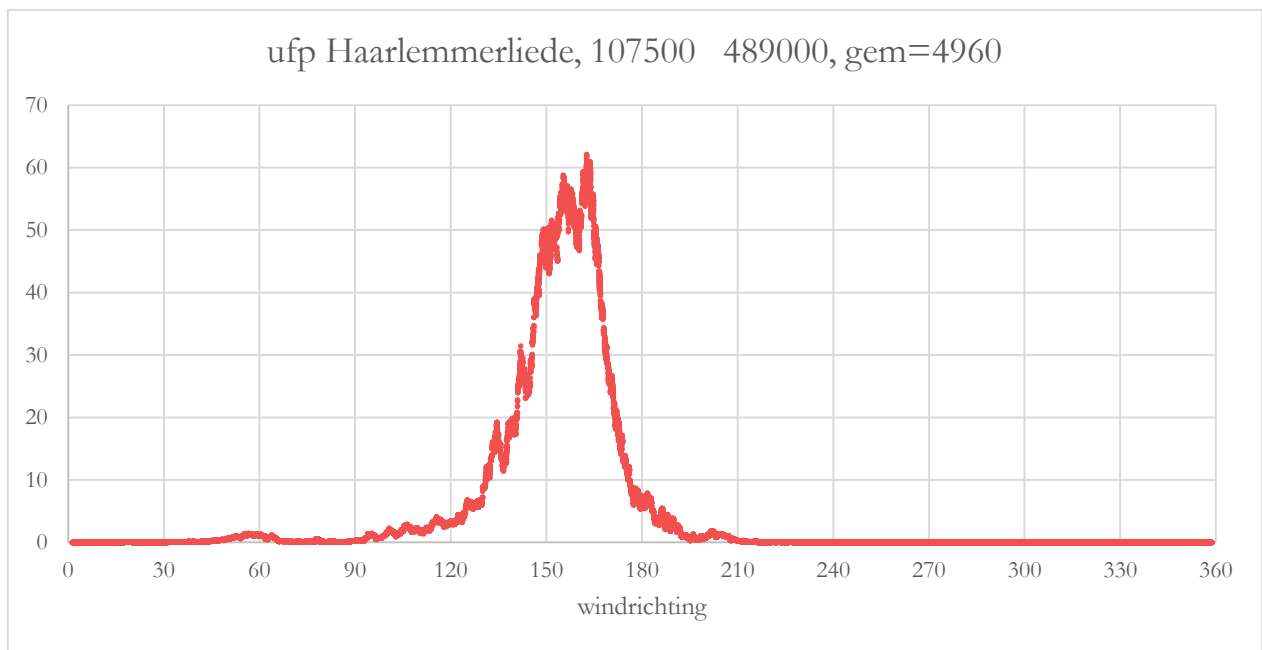
X-as: windrichting (0-360), y-as: de ufp concentraties in duizendtallen,
gemiddelde bijdrage van Schiphol is 4060 cm³.



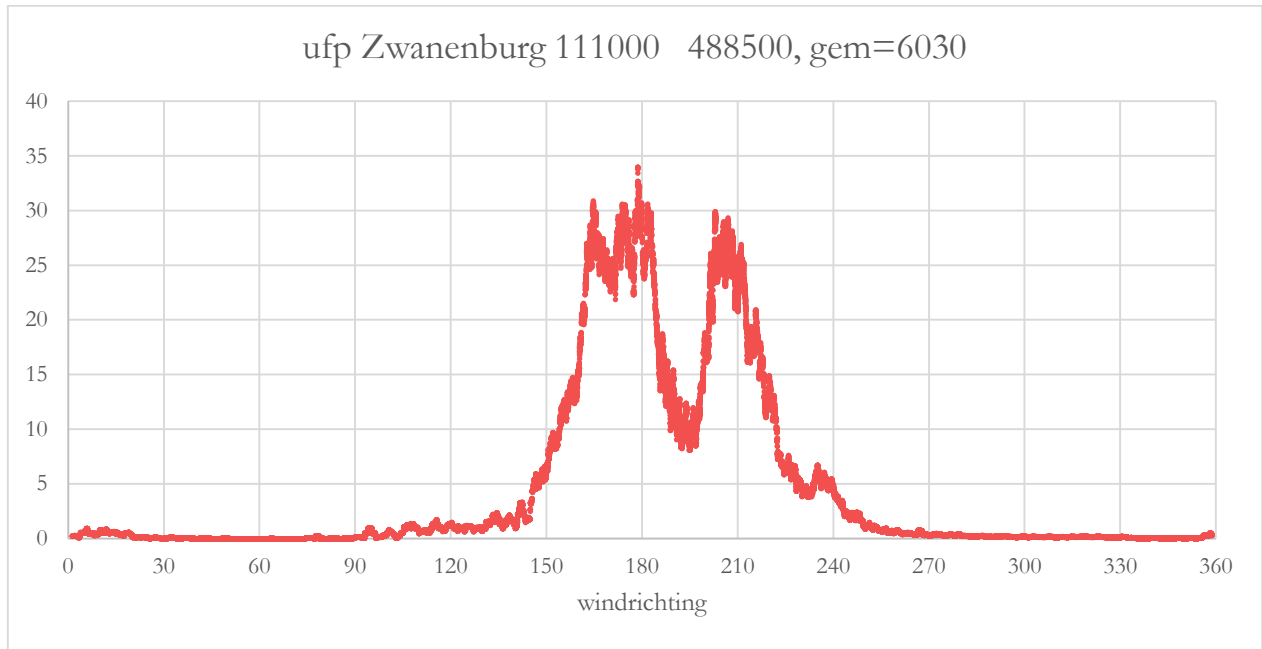
X-as: windrichting (0-360), y-as: de ufp concentraties in duizendtallen,
gemiddelde bijdrage van Schiphol is 6590 cm³.



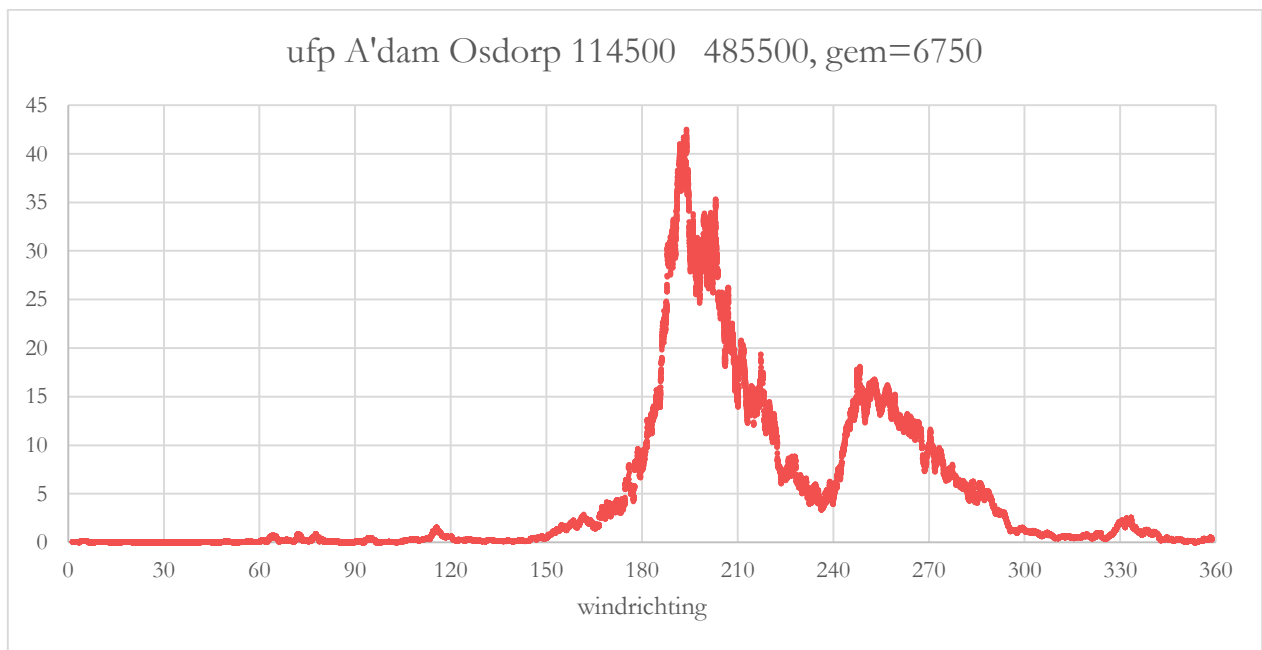
X-as: windrichting (0-360), y-as: de ufp concentraties in duizendtallen,
gemiddelde bijdrage van Schiphol is is 4280 cm³.



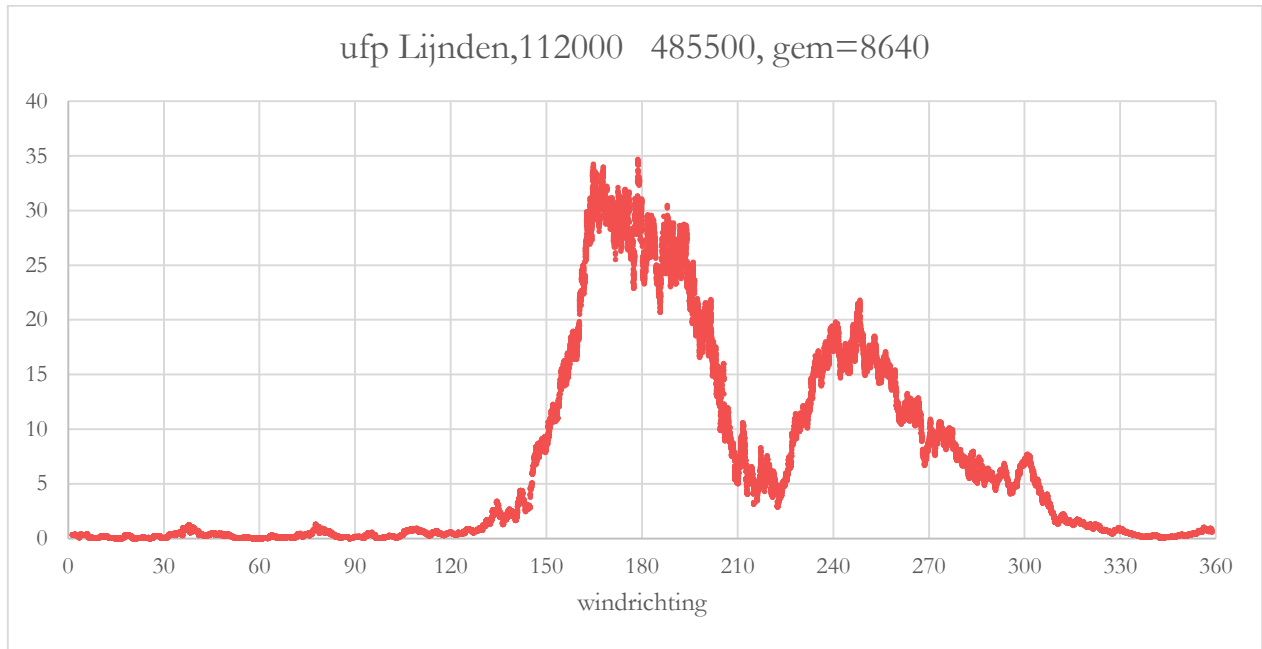
X-as: windrichting (0-360), y-as: de ufp concentraties in duizendtallen,
gemiddelde bijdrage van Schiphol is is 4960 cm³.



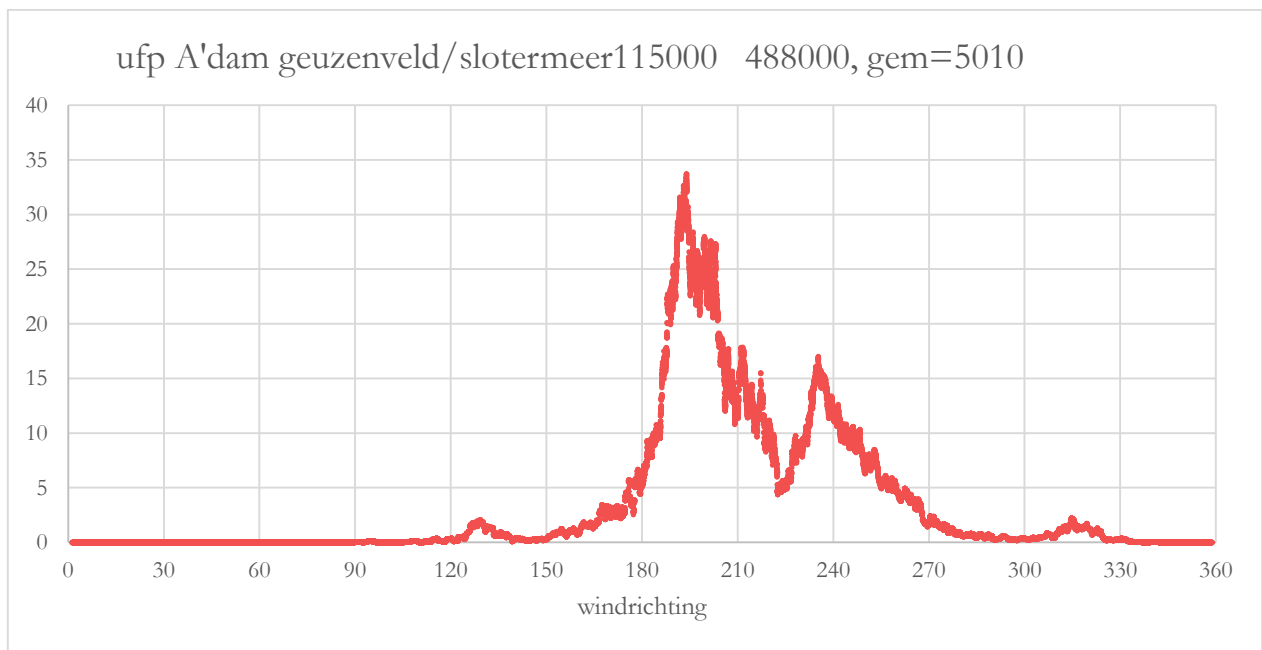
X-as: windrichting (0-360), y-as: de ufp concentraties in duizendtallen,
gemiddelde bijdrage van Schiphol is is 6030 cm³.



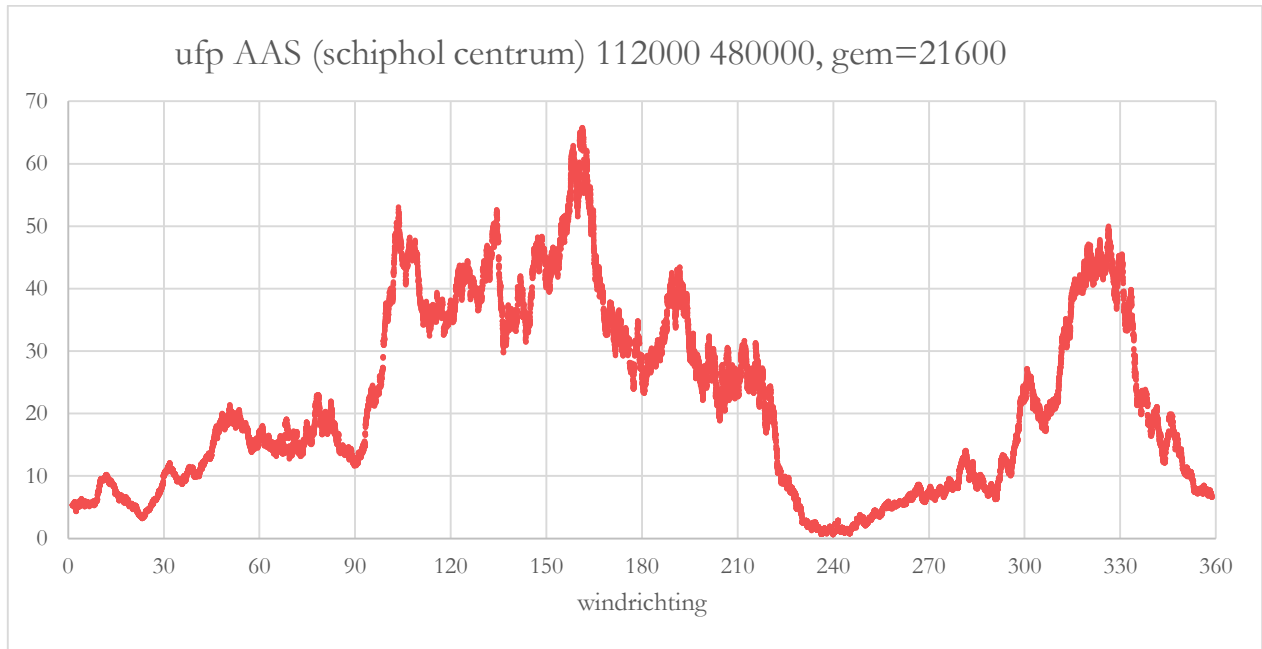
X-as: windrichting (0-360), y-as: de ufp concentraties in duizendtallen,
gemiddelde bijdrage van Schiphol is is 6750 cm³.



X-as: windrichting (0-360), y-as: de ufp concentraties in duizendtallen,
 gemiddelde bijdrage van Schiphol is is 8640 cm³.



X-as: windrichting (0-360), y-as: de ufp concentraties in duizendtallen,
 gemiddelde bijdrage van Schiphol is is 5010 cm³.



X-as: windrichting (0-360), y-as: de ufp concentraties in duizendtallen,
gemiddelde bijdrage van Schiphol is is 21600 cm³.