

**Industriële Innovatie**  
Oude Waalsdorperweg 63  
2597 AK Den Haag  
Postbus 96864  
2509 JG Den Haag

[www.tno.nl](http://www.tno.nl)

T +31 88 866 10 00  
F +31 70 328 09 61

## TNO-rapport

### TNO 2013 R11976

*Onderzoek naar aanwezigheid en concentratie van  
tricresylfosfaten in de cockpits van KLM Boeing 737 toestellen  
tijdens normale operationele condities.*

Datum	12 december 2013
Auteur(s)	Marc M.G. Houtzager John G.B.A Havermans Jan G.H. Bos
Exemplaarnummer	1.0
Oplage	4
Aantal pagina's	56 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	3
Opdrachtgever	KLM Flight Operations t.a.v. de heer B. de Vries
Projectnaam	LRVT - KLM Cockpit Luchtmeting
Projectnummer	060.05736

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belang-hebbers is toegestaan.

© 2013 TNO

## Summary

Title :	Investigation of presence and concentration of tricresyl phosphates in cockpits of KLM Boeing 737 aircraft during normal operational conditions.
Authors :	Marc M.G. Houtzager B.Sc. John G.B.A Havermans Ph.D. Jan G.H. Bos M.Sc. B.Eng.
Date :	12 december 2013
Project number :	060.05736
Report number :	TNO 2013 R11976

Earlier research has shown that in commercial airliners exposure to components of aircraft oil may occur. One group of components are tricresyl phosphates (TCPs) of which ten isomers exist. TCP is an organophosphate ester compound that is used as an additive in aircraft engine oil.

As a consequence of ruling (no: C/13/547894 / KG ZA 13-1016 HJ / PV) of the Amsterdam District Court of September 18, 2013, KLM requested TNO to perform an independent and objective study into the presence and concentration of TCPs in cockpit air during normal operating conditions of its Boeing 737 aircraft.

The purposes of this study have been formulated as follows:

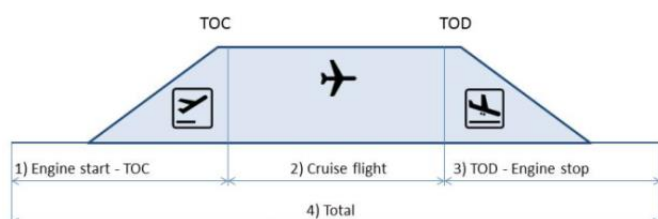
- To identify and quantify TCP isomers in the air of the cockpit of KLM Boeing 737 aircrafts during normal operating conditions.
- To identify and quantify TCP isomers in the air of the cockpit of KLM Boeing 737 aircrafts during the operation of the Auxiliary Power Unit (APU) only.
- Identification and quantification of the following TCP isomers:
  - Tri(o,o,o)cresyl Phosphate, (T(o,o,o)CP);
  - Tri(m,m,m)cresyl Phosphate, (T(m,m,m)CP);
  - Tri(m,m,p)cresyl Phosphate, (T(m,m,p)CP);
  - Tri(m,p,p)cresyl Phosphate, (T(m,p,p)CP);
  - Tri(p,p,p)cresyl Phosphate, (T(p,p,p)CP).

The following additional conditions were to be met:

- The selected aircraft must have flown at least two cycles after most recent scheduled maintenance interval;
- Measurements will begin when pilots enter the cockpit and one of the engines is started and will stop when the engines are turned off at the destination.

Measurements during the flights are conducted in four defined time frames:

- (1) The period from starting one of the two engines until Top of Climb, TOC, (Climb),
- (2) During the cruise flight till Top of Decent, TOD, (Cruise),
- (3) The period from TOD until reaching the parking position at the gate and when the engines are stopped (Descent).
- (4) Throughout the whole flight from the moment of "engine start" to a complete stop at the gate (1,2 and 3 together).



The cockpit air measurements were performed for the following aircraft:

- Four Boeing 737-700, measurements on return flights (four rotations);
- Three Boeing 737-800, measurements on return flights (three rotations);
- Three Boeing 737-900, measurements on return flights (three rotations);
- Two Boeing 737-700 and 800, measurement while running the APU on the ramp.

Based on the measurements of this study, the following 22 conclusions can be drawn.

**General:**

- 1) TNO was given the opportunity to perform the research independently and unhindered.
- 2) On the basis of observations it can be concluded that no fume events nor any other operational disruptions occurred.

**TCP in the oil:**

- 3) BP Turbo Oil 2197 and BP Turbo 2380 contain four of the five studied TCP isomers, *i.e.*, tri(m,m,m)cresyl phosphate, tri(m,m,p)cresyl phosphate, tri(m,p,p)cresyl phosphate, and tri(p,p,p)cresyl phosphate.
- 4) The chromatograms of the two investigated oil samples show no peaks that could indicate the presence of TCP isomers other than the four isomers determined.
- 5) The content in the received new oil sample BP-2197 of TCP was 1.7% by mass and is in agreement with the concentration given in BP's data sheet: 1 - 2,5%.
- 6) The content in the received new oil sample BP-2380 of TCP was 2.6% by mass and is in agreement with the concentration given in BP's data sheet: 2,5 < 3%.

**TCP in the cockpit air:**

- 7) Of the total of 80 air samples in 43 air samples, no measurable concentrations of TCP isomers have been found.
- 8) Of the total of 80 air samples in 37 air samples concentrations of TCP isomers have been found.
- 9) In flights were TCP concentrations were found in the air of the cockpit the levels ranged from the lowest determined value of 0,5 ng/m<sup>3</sup> to the highest measured value of 155 ng/m<sup>3</sup> (averaging for all the flights 6,9 ng/m<sup>3</sup>).
- 10) During climb and descent higher concentrations of TCP isomers were observed in comparison to the cruise flight.
- 11) The measured values of the TCP isomers in the cockpit air with the APU only operation at a platform are all below the detection limit of the applied analytical procedure.

**TCP in wipe samples:**

- 12) The measured values of the sum of TCP isomers in the wipe samples ranges from a minimum of 0.01 to a maximum of 0.06 ng/cm<sup>2</sup>. This confirms that the investigated substances deposited on the glare shield.

**Correlations:**

- 13) For the wipe samples the composition of the TCP isomers correlates with the TCP isomeric composition in the air samples.
- 14) For both the wipe and air samples the composition correlates poorly with the composition of the unused oil (BP-2197).
- 15) For both the wipe and air samples the composition correlates with the composition of used motor oil (BP-2197).
- 16) The composition of the wipe and air samples correlates with the unused APU oil (BP-2380).

**Triorthocresyl Phosphate:**

- 17) In the BP Turbo Oil 2197 (main engines) no triorthocresyl phosphate, T(o,o,o)CP, was found in a concentration above the detection limit given by the applied analytical procedure.
- 18) In the BP Turbo Oil 2380 (APU) no triorthocresyl phosphate, T(o,o,o)CP, was found in the in a concentration above the detection limit given by the applied analytical procedure.
- 19) In the air samples no triorthocresyl phosphate, T(o,o,o)CP, was found at concentrations above the detection limit given by the applied analytical procedure.
- 20) In the wipe samples no triorthocresyl phosphate, T(o,o,o)CP, was found at concentrations above the detection limit given by the applied analytical procedure.

**Other:**

- 21) It is likely that the emission in the cockpit of particles which contain TCP isomers is discontinuous. This phenomenon needs to be studied further.
- 22) Due to limited dataset, no reliable determination of correlation was possible for:
  - a) The oil consumption and the TCP concentration;
  - b) The oil consumption and engine operating hours;
  - c) The TCP concentration and the years of service;
  - d) The TCP concentration and the engine operating hours.

This study provides an assessment of the presence and concentration of TCPs in cockpit air of Boeing 737s under normal operating conditions. This study does not address the health consequences of the findings.

## Samenvatting

**Titel :** *Onderzoek naar aanwezigheid en concentratie van tricresylfosfaten in de cockpits van KLM Boeing 737 toestellen tijdens normale operationele condities.*

**Auteurs :** Ing. Marc M.G. Houtzager  
Dr. John G.B.A Havermans  
Drs. ing. Jan G.H. Bos

**Date :** 12 december 2013

**Project number :** 060.05736

**Report number :** TNO 2013 R11976

Uit onderzoek is gebleken dat in commerciële verkeersvliegtuigen blootstelling aan componenten van vliegtuigolie kan optreden. Eén van de type componenten zijn de tricresylfosfaten (TCP's) waarvan tien isomeren bestaan. TCP is een organofosfaatester dat als additief in motorolie en smeerolie van vliegtuigen wordt toegepast.

Naar aanleiding van het vonnis (Zaaknr: C/13/547894 / KG ZA 13-1016 HJ/PV) van de Rechtbank Amsterdam op 18 september 2013, heeft KLM, TNO verzocht een onafhankelijk en objectief onderzoek uit te voeren naar de aanwezigheid en concentratie van TCP's in de cockpitlucht tijdens normale operationele condities van haar Boeing's 737.

Voor het bereiken van dit doel zijn de volgende onderzoeksvragen geformuleerd:

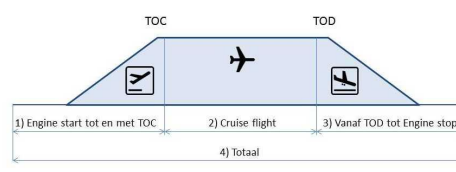
- Identificeren en kwantificeren van TCP isomeren in de cockpitlucht van KLM Boeing737 toestellen tijdens normale operationele condities.
- Identificeren en kwantificeren van TCP isomeren in de cockpitlucht van KLM Boeing 737 toestellen op een opstelplaats, bij inschakeling van alléén de Auxiliary Power Unit (APU).
- Het identificeren en kwantificeren van de volgende TCP isomeren:
  - tri(o,o,o)cresylfosfaat , (T(o,o,o)CP)
  - tri(m,m,m)cresylfosfaat, (T(m,m,m)CP)
  - tri(m,m,p)cresylfosfaat, (T(m,m,p)CP)
  - tri(m,p,p)cresylfosfaat, (T(m,p,p)CP)
  - tri(p,p,p)cresylfosfaat, (T(p,p,p)CP)

Aanvullende condities zijn als volgt geformuleerd:

- de bemeten toestellen hebben minimaal twee cycli gevlogen na onderhoud;
- de metingen worden gestart vanaf plaatsnemen in de cockpit van de vliegers bij het inschakelen van één van de motoren worden gestart en worden gestopt bij het uitschakelen van beide motoren op de VOP.

De luchtmetingen tijdens de vluchten werden in vier gedefinieerde tijdframes uitgevoerd:

(1) de periode van het starten van één van de beide motoren tot en met het bereiken van de Top of Climb , TOC, (de klimvlucht); (2) Tijdens de kruisvlucht tot aan de geplande Top of Decent, TOD, (de kruisvlucht); (3) De periode van TOD tot aan de parkeerpositie en het moment dat de motoren zijn gestopt (de daalvlucht). Gedurende de gehele vlucht vanaf het moment van "start motoren" tot de volledige stilstand op de VOP (periodes 1, 2, en 3).



Voor de uitvoering zijn luchtmetingen in de cockpit verricht in de volgende toestellen:

- Boeing 737-700, metingen op heen-en terugvlucht (vier retourvluchten),
- Boeing 737-800, metingen op heen-en terugvlucht (drie retourvluchten),
- Boeing 737-900, metingen op heen- en terugvlucht (drie retourvluchten),
- Boeing 737-700 en 800, metingen geïsoleerd APU gebruik op een opstelplaats.

Uit de resultaten van het onderzoek kunnen de volgende 22 conclusies worden getrokken.

#### **Algemeen:**

1. TNO heeft naar eigen zicht en kunde het onderzoek onafhankelijk en ongehinderd kunnen uitvoeren.
2. Op basis van (zintuigelijke) waarnemingen kan gesteld worden dat bij geen enkele meetvlucht fume events of andere bijzonderheden, noch operationele verstoringen hebben plaatsgevonden.

#### **TCP in de toegepaste olie:**

3. BP Turbo Oil 2197 en 2380 bevatten vier van de vijf onderzochte TCP isomeren, te weten tri(m,m,m)cresylfosfaat, tri(m,m,p)cresylfosfaat, tri(m,p,p)cresylfosfaat, en tri(p,p,p)cresylfosfaat.
4. De chromatogrammen van de beide oliën vertonen naast de vier pieken van de aangetoonde isomeren, géén andere pieken die op basis van massa zouden kunnen duiden op aanwezigheid van andere TCP isomeren.
5. Het vastgestelde massapercentage van TCP in het aangeleverde monster BP-2197 bedroeg 1,7%. Deze waarde komt overeen met hetgeen BP in de datasheet vermeldt: 1 - 2,5%.
6. Het vastgestelde massapercentage TCP in het aangeleverde monster BP-2380 bedroeg 2,6%. Deze waarde komt overeen met hetgeen BP in de datasheet vermeldt: 2,5 < 3%.

#### **TCP in de cockpitlucht:**

7. Van de in totaal 80 luchtmetingen werden in 43 metingen géén meetbare concentraties aan TCP in de lucht aangetroffen.
8. Van de in totaal 80 luchtmetingen werden in 37 metingen concentraties aan TCP isomeren in de lucht gevonden.
9. In het geval waarden werden gevonden varieerde de som TCP isomeren, in de lucht van de cockpit van de laagst bepaalde waarde van 0,5 ng/m<sup>3</sup> tot de hoogst bepaalde waarde van 155 ng/m<sup>3</sup> (met een gemiddelde over alle vluchten van 6,9 ng/m<sup>3</sup>).
10. Gedurende klim- en daalvlucht werden hogere concentraties aan TCP isomeren waargenomen dan tijdens kruisvlucht.
11. De gemeten waarden van de TCP isomeren bij alléén APU operatie op de VOP liggen allen beneden de detectiegrens van de toegepaste analysemethode.

#### **TCP in veegmonsters:**

12. De gemeten waarden van de som TCP isomeren in de veegmonsters varieerde van minimaal 0,01 tot maximaal 0,06 ng/cm<sup>2</sup>. Hiermee werd bevestigd dat de onderzochte stoffen neerslaan op het glareshield.

#### **Correlatie (samenhang):**

13. De samenstellingen van de TCP isomeren in de veegmonsters correleren met de TCP isomeersamenstelling in de luchtmonsters.
14. De samenstellingen van de veeg- en luchtmonsters vertonen een lage correlatie met samenstelling van de ongebruikte motorolie (BP-2197).
15. De samenstellingen van de veeg- en luchtmonsters correleren met samenstelling van de gebruikte motorolie (BP-2197).

16. De samenstelling van de veeg- en luchtmonsters vertonen een hoge correlatie met de ongebruikte APU-olie (BP-2380).

**Triorthocresylfosfaat:**

17. In de BP Turbo Oil 2197 (hoofdmotoren) is triorthocresylfosfaat, T(o,o,o)CP, niet in een concentratie boven de detectiegrens van de toegepaste analysemethode is aangetroffen.
18. In de BP Turbo Oil 2380 (APU) is triorthocresylfosfaat, T(o,o,o,)CP, niet in een concentratie boven de detectiegrens van de toegepaste analysemethode is aangetroffen
19. In de luchtmonsters is triorthocresylfosfaat, T(o,o,o)CP, niet in een concentratie boven de detectiegrens van de toegepaste analysemethode is aangetroffen.
20. In de veegmonsters is triorthocresylfosfaat, T(o,o,o)CP, niet in een concentratie boven de detectiegrens van de toegepaste analysemethode is aangetroffen.

**Overig:**

21. Het is aannemelijk dat de emissie in de cockpit van deeltjes welke TCP-isomeren kunnen bevatten discontinue was. Dit fenomeen dient nader bestudeerd te worden.
22. Door een te beperkte dataset is er geen correlatiebepaling mogelijk voor:
  - a. Olieverbruik en TCP concentratie;
  - b. Olieverbruik en motordraaiuren;
  - c. TCP concentratie en jaar in dienst name toestel;
  - d. TCP concentratie en motordraaiuren.

Dit onderzoek geeft een inventarisatie weer van de kwaliteit van de cockpitlucht op basis van de gemeten concentraties aan TCP's, verkregen onder normale operationele condities. Dit onderzoek gaat niet in op de gezondheidskundige betekenis van de bevindingen.

# Inhoudsopgave

	<b>Summary .....</b>	<b>2</b>
	<b>Samenvatting .....</b>	<b>2</b>
<b>1</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Doel en reikwijdte van het onderzoek .....</b>	<b>10</b>
2.1	Onderzoeksvragen .....	10
2.2	Conditie in het onderzoek .....	10
2.3	Reikwijdte van het onderzoek.....	11
<b>3</b>	<b>Achtergrond .....</b>	<b>12</b>
3.1	Toepassing van TCP's in olie binnen de luchtvaartsector.....	12
3.2	Luchtkwaliteit in vliegtuigen .....	13
3.3	Toegepaste olie in KLM Boeing toestellen .....	15
3.4	Airconditionig systeem in Boeing 737 toestellen .....	15
3.5	Normstelling voor TCP's .....	17
<b>4</b>	<b>Meetvluchten.....</b>	<b>19</b>
4.1	Selectie van Boeing 737 meetvluchten .....	19
4.2	Onderhoudstatus geselecteerde Boeing 737's .....	19
<b>5</b>	<b>Uitvoering onderzoek.....</b>	<b>21</b>
5.1	Strategie monsterneming .....	21
5.2	Luchtmetingen .....	22
5.3	Veegmonsters.....	23
5.4	Traceerbaarheid, transport en opslag monsters .....	23
5.5	Metingen in de olie.....	24
5.6	Opwerking en analyse .....	24
5.7	Kwaliteitsborging analyse .....	24
<b>6</b>	<b>Resultaten en discussie.....</b>	<b>26</b>
6.1	Meetresultaten .....	26
6.2	Luchtmetingen .....	26
6.3	Veegmonsters.....	30
6.4	Analyse van de toegepaste motorolie .....	31
6.5	Correlatie berekeningen van de samenstelling aan TCP isomeren tussen lucht, veeg en oliemonsters.....	33
6.6	Kwaliteitsborging.....	35
<b>7</b>	<b>Conclusies.....</b>	<b>40</b>
<b>8</b>	<b>Literatuur .....</b>	<b>42</b>
<b>9</b>	<b>Verantwoording en ondertekening .....</b>	<b>44</b>
	<b>Bijlage 1 Detectiegrenzen .....</b>	<b>45</b>
	<b>Bijlage 2 Resultaten Luchtmetingen .....</b>	<b>46</b>
	<b>Bijlage 3 Resultaten veegmonsters.....</b>	<b>53</b>



# 1 Inleiding

Naar aanleiding van het vonnis (Zaaknr: C/13/547894 / KG ZA 13-1016 HJ/PV) van de Rechtbank Amsterdam op 18 september 2013, heeft KLM aan TNO verzocht een onafhankelijk en objectief onderzoek uit te voeren naar de aanwezigheid en de concentratie van Tricresylfosfaten (TCP's) in de cockpitlucht tijdens normale operationele condities van haar Boeing 737's [1].

KLM heeft op 23 september 2013, de onderzoeksvragen en condities voor het onderzoek geformuleerd en voorgelegd aan TNO. Aan de hand van de onderzoeksvragen heeft TNO een onderzoeksplan opgesteld en ter goedkeuring voorgelegd aan KLM en andere betrokkenen.

Het onderzoeksplan is met KLM en betrokkenen besproken in twee vergaderingen gehouden op 3 en 7 oktober 2013. In een derde vergadering op 18 oktober 2013 heeft met de bij de rechtzaak betrokken vlieger extra informatie uitwisseling en inzage plaatsgevonden met betrekking tot de validatiegegevens van de meetmethode voor organofosfaatesters zoals vastgelegd in een TNO validatierapport [2]. Deze bijeenkomsten vonden plaats in het kader van de uitvoering zoals in het voornoemde vonnis aan partijen is opgelegd.

In het overleg werd tevens vastgesteld dat vijf van de tien mogelijk TCP isomeren worden onderzocht. Deze keuze is gemaakt door het ontbreken (wereldwijd niet verkrijgbaar) van deugdelijke commerciële kalibratiestandaarden van de overige TCP isomeren. Op basis van de vijf commercieel beschikbare TCP kalibratie isomeren heeft TNO-AEC een gevalideerde meetmethode opgezet, waardoor er een zuiver beeld ontstaat over de aanwezigheid van deze isomeren naast de triortho isomeer.

## 2 Doel en reikwijdte van het onderzoek

Doel van het onderhavig onderzoek is het vaststellen van de aanwezigheid en de concentratie aan TCP isomeren in de lucht van de cockpit in geselecteerde KLM Boeing 737's. Hiervoor zijn in overleg met KLM en betrokkenen de onderzoeksvragen en onderzoekcondities geformuleerd. Deze worden in de volgende paragrafen weergegeven. In overleg met belanghebbende (KLM en in het voornoemde vonnis gebonden partijen) zijn de ondergenoemde te bepalen TCP-isomeren vastgesteld. TNO stelt voorts dat deze genoemde vijf TCP isomeren op gevalideerde wijze aangetoond kunnen worden.

### 2.1 Onderzoeksvragen

Identificeren en kwantificeren van TCP isomeren in de cockpitlucht van KLM Boeing 737 toestellen, tijdens de vlucht, en het identificeren en kwantificeren van deze stoffen in de cockpit op een opstelplaats, bij inschakeling van alléén de Auxiliary Power Unit (APU).

Het onderzoek richt zich op het identificeren en kwantificeren van de volgende vijf TCP isomeren (zie ook hoofdstuk 1):

- Tri(o,o,o)cresylfosfaat, (T(o,o,o)CP);
- Tri(m,m,m)cresylfosfaat, (T(m,m,m)CP);
- Tri(m,m,p)cresylfosfaat, (T(m,m,p)CP);
- Tri(m,p,p)cresylfosfaat, (T(m,p,p)CP);
- Tri(p,p,p)cresylfosfaat, (T(p,p,p)CP).

Er is specifiek gekozen voor de vijf bovengenoemde isomeren, omdat de overige isomeren niet verkrijgbaar zijn als kalibratiestandaard. Ook in de literatuur is geen methode beschreven die in staat is om alle tien de isomeren te analyseren.

Huidig gepubliceerd onderzoek richt zich voornamelijk op de neurotoxische tri-ortho isomeer. Op basis van deze vijf commercieel beschikbare kalibratiestandaarden heeft TNO Applied Environmental Chemistry (TNO-AEC) een gevalideerde meetmethode opgezet, waardoor er een zuiver beeld ontstaat over de aanwezigheid van deze isomeren naast de triortho isomeer.

### 2.2 Condities in het onderzoek

- Metingen worden verricht op de volgende Boeing 737's:
  - Boeing 737-700, metingen op heen-en terugvlucht
  - Boeing 737-800, metingen op heen-en terugvlucht
  - Boeing 737-900, metingen op heen- en terugvlucht
  - Boeing 737-700 en 800, metingen APU op een opstelplaats
- Na overleg met betrokkenen is besloten tot een steekproef van negen vliegtuigen op een totale vloot van 46 vliegtuigen.
- De beschikbaar gestelde Boeing toestellen dienen minimaal twee cycli te hebben gevlogen na onderhoud.
- De metingen starten vanaf plaatsnemen in de cockpit van de vliegers voor de vlucht bij het inschakelen van één van de motoren en het uitschakelen van beide motoren op de bestemming.
- Meetapparatuur dient veilig gezekerd te worden en onzichtbaar te zijn voor de passagiers en geen belemmering voor een veilige vluchttuitvoering te vormen.
- Tijdens de metingen is één TNO onderzoeker gedurende de gehele vlucht aanwezig in de cockpit.

### **2.3 Reikwijdte van het onderzoek**

De in dit rapport vermelde resultaten geven een beeld van de aanwezigheid en concentratie van TCP's op het moment van het onderzoek in de verschillende KLM 737 cockpits.

Het onderzoek geeft een inventarisatie weer van de aanwezigheid en concentratie van TCP isomeren zoals gedetecteerd onder normale operationele condities.

Dit rapport gaat niet in op de gezondheidskundige betekenis van hetgeen aan TCP's gevonden is.

De gegevens van dit onderzoek kunnen als input dienen in vervolgtrajecten waarbij wel gezondheidskundige aspecten aan de orde komen.

## 3 Achtergrond

### 3.1 Toepassing van TCP's in olie binnen de luchtvaartsector

Organofosfaatesters waaronder TCP's worden vanwege hun goede geleidende, anti corrosieve en brandvertragende eigenschappen als additief in motorolie van vliegtuigen toegepast.

Tricresylfosfaat(TCP), is een organofosfaateter dat als additief in motorolie van vliegtuigen wordt toegepast. TCP concentraat is een lood reiniger waardoor effectief ontstekingsverstopping en andere negatieve effecten van het antiklop additief (tetraethyl lood) wordt tegengegaan. Antiklopmiddelen zijn in alle vliegtuig brandstoffen aanwezig. TCP werd reeds lange tijd geleden geïntroduceerd. Een van de meest opmerkelijke toepassingen van TCP was bijvoorbeeld in lange afstandsvliegtuigen aangedreven door zuigermotoren (R-3460 motoren) die zonder de toevoeging van TCP, zo werd gezegd, de lange afstand vliegpotentie nooit kon behalen [3].

Vanaf het moment dat TCP was geïntroduceerd als een additief in brandstoffen voor vliegtuig zuigermotoren (AVGAS), werd het snel goedgekeurd door motorenbouwers die een oplossing zochten voor het loodvervuilingsprobleem. Onder deze motorenbouwers bevonden zich Pratt & Whitney, Wright Aeronatical en Air Cooled Motors (Franklin).

Maxwell Smith omschrijft in zijn werk over vliegtuig brandstoffen het volgende: "Van alle toevoegingen blijkt TCP het meest effectief te zijn bij het minimaliseren van de aangroei van afzetting bij de bougies. Gedurende vele jaren zijn er zeer uitgebreide testen uitgevoerd om de doeltreffendheid ervan te bewijzen en eventuele bijwerkingen te weerleggen." [4].

Naast de toevoeging in brandstoffen, heeft TCP ook zijn weg gevonden als additief in enkele toegepaste vloeistoffen en technische oliën.

De concentratie TCP in TCP houdende producten varieert, zo beveelt Alcol aan om 1 oz. (0,03 L) per 10 gallon (ca 39 L) product "TCP Fuel Treatment", dat zelf ca. 10-15% TCP bevat, toe te passen (ofwel een concentratie TCP van 0,01%). Terwijl bijvoorbeeld de turbineolie Mobil Jet Oil II 1-3% TCP bevat. Volgens van Netten wordt in het algemeen tot 3% TCP in straalmotoren smeermiddelen toegepast [5].

Zoals bekend kan TCP voorkomen in tien verschillende isomeren van TCP (ortho, meta en para) en het is niet altijd bekend uit de datasheets van het product wat de isomere samenstelling van de olie is. Vaak geven datasheets (MSDS) niet aan dat de olie TCP bevat. Zo blijkt bijvoorbeeld uit het onderzoek van Havermans, Houtzager en Jacobs dat de Mobil Jet Oil II vier verschillende isomeren bevat: meta-meta-para; meta-meta-meta; meta-para-para en para-para-para [6].

### 3.2 Luchtkwaliteit in vliegtuigen

Wereldwijd zijn diverse studies verricht om de kwaliteit van de binnenlucht in vliegtuigen te verbeteren voor zowel de vliegers, cabine personeel en passagiers. Hoewel op basis van de studie van het 'National Research Council' door Murawski en Witkowski in 2002 [7] geconcludeerd werd dat deze binnenlucht vergelijkbaar is met binnenlucht aanwezig in kantoren en woningen, zijn wezenlijke verschillen aanwezig, omdat in een cabine bijvoorbeeld een hogere mensdichtheid gecombineerd wordt met een lagere luchtvochtigheid, verlaagde druk, en er een potentiaal aanwezig is voor blootstelling aan specifieke organisch chemische verbindingen. Zo kan de ECS een bron zijn van verontreinigingen wanneer bijvoorbeeld producten afkomstig van smeeroliën en/of hydraulische oliën in de ECS aanwezig zijn. In het speciale geval via ongecontroleerde verontreinigde bleed air emissies, een 'fume-event' genoemd. Dergelijke incidenten komen volgens Murawski en Witkowski statistisch gezien slechts 0,08% van alle vluchten voor [7]. In 1999 rapporteerde van Netten dat er bij blootstelling van vliegtuigolie / smeermiddelenproducten aan ca. 500 °C schadelijke stoffen vrij kunnen komen [8]. Walkinshaw toonde in 2005 aan dat er een verhoging van de totaal gemeten vluchtige organische koolwaterstoffen (TVOC) kan plaatsvinden en vergeleek de mate van verontreiniging met die van buitenlucht in drukke steden [9]. Opmerkelijk was dat hij wel inging op de concentratie toluëen, niet op bijvoorbeeld die van tricresylfosfaten, TCP's. Dit is mogelijk te wijten aan de door Walkinshaw toegepaste monsternamen en analyseprocedure.

Crump et al. publiceerden in 2011 hun werk gericht op de vaststellen van de binnenluchtkwaliteit in vliegtuigcabines waarbij luchtmonsters werden genomen op een dusdanige wijze dat naast een normale vlucht ook eventuele 'fume-events' zichtbaar zouden moeten worden [10]. Voor dit onderzoek werd de binnenlucht van een Boeing 757 cargo aircraft, Airbus A320/1, BAe 146 en airbus A319 gemonitord. De luchtmonsters werden onder ander op TCP geanalyseerd, waarbij alleen de T(o,o,o)CP isomeer afzonderlijk werd gemeld. Daarnaast werden enquêtes gehouden onder de bemanning en passagiers. Hieruit bleek dat er regelmatig een geur werd waargenomen tijdens de vlucht die gekarakteriseerd werd als bijvoorbeeld 'wc-geur, chloorgeur, de-icing geur en warm stof geur'. Analyseresultaten van de genomen binnenluchtmonsters toonde aan dat in meer dan 95% van de genomen monsters géén T(o,o,o)CP en andere TCP isomeren aangetoond kon worden. Het onderzoek doet geen melding van de analyse op overige isomeren, waarbij afgevraagd moet worden hoe zij dan komen tot het gehalte aan TCP in de lucht. Men concludeerde dat er tijdens het onderzoek, waarbij 100 vluchten werden gemonitord, er géén 'fume-events' hadden plaatsgevonden en er zodoende geen bewijs is geleverd om de gezondheid en veiligheidsstandaarden en richtlijnen aan te scherpen. Feitelijk levert het werk van Crump et al. conclusies over de luchtkwaliteit van de binnenlucht van vliegtuigen onder reguliere vluchtomstandigheden.

Onderzoek van Lamb et al. (2012) toonde een ander resultaat [11]. Op basis van onderzoek met veegmonsters in 17 vliegtuigen, 5 luchthaven auto's en 2 kantoren werd geconcludeerd dat de concentratie TCP in veegmonsters, die in de cabines van de vliegtuigen waren genomen, hoger was dan op de andere bemonsterde locaties. Echter zij concludeerden op basis van aanvullend onderzoek dat dit verschil niet meer waarneembaar was. Op basis van de veegmonsters berekende

men dat de concentratie TCP, op de oppervlakten in de cabines, varieerde van 2,0 tot 3,9 ng/cm<sup>2</sup>. Hierbij moet worden opgemerkt dat slechts in 4 van de 14 monsternames TCP boven de detectielimiet (LOD) werd aangetoond. Tijdens het totale onderzoek werd géén T(o,o,o)CP aangetoond. Het werk gaat niet in hoe de totale concentratie TCP berekende en of er één of meerdere isomeren hiervoor verantwoordelijk zijn.

Roesenberger et al. vonden tijdens 26 gemonitorde vluchten, waarbij in totaal 90 luchtmonsters werden genomen, dat slecht in 15% van de monsters T(o,o,o)CP aantoonbaar was (2-65 ng/m<sup>3</sup>) waarbij het gemiddelde 8 ng/m<sup>3</sup> bedroeg [12]. Zij synthetiseerde vooraf o.a. de mono- en diortho TCP isomeren om in hun analysemethode op te kunnen nemen en op basis van de zuiverheid van de gesynthetiseerde stoffen werd de analysemethode geverifieerd. Op basis van de gemonitorde vluchten werd geconcludeerd dat de concentratie aan TCP gemiddeld over 38 vluchten 59 ng/m<sup>3</sup> (minimum 11 ng/m<sup>3</sup> en maximum 217 ng/m<sup>3</sup>) waarbij de hoogste waarden tijdens TOC (red: klimvlucht) werden waargenomen (gemiddeld 103 ng/m<sup>3</sup> met als maximum 246 ng/m<sup>3</sup>).

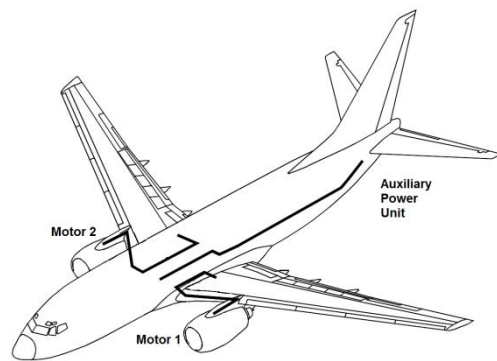
Door het afbreken van een vlucht in Zweden vanaf Stockholm/Bromma werd door Statens Haverikommision (SHK) onderzoek verricht naar de oorzaak ervan, omdat de commander vlieger zijn taak niet meer kon uitoefenen. Gesuggereerd werd dat mogelijke verontreinigingen in de cabine een oorzaak zou zijn. Naast medisch onderzoek werd ook het toestel uitvoerig onderzocht, en er bleek dat er geen sprake kon zijn van de aanwezigheid van T(o,o,o)CP en SHK concludeerde dat TCP verontreiniging uitgesloten was [13]. Solbu et al. toonden TCP in de cabine van een vliegtuig aan. Ditmaal in een situatie waarvan de motorolie lekte en in het luchtsysteem kwam. De gevonden concentratie aan TCP bleek significant hoger te zijn dan in het geval er geen motor olie lekt [14]. Dit resultaat toont aan dat bij een 'fume-events' TCP als contaminant in de lucht van de cabine zal komen. Havermans et al. simuleerden het effect van een 'fume-event' door TCP-bevattende jet-olie te verhitten (ca. 350 °C) en de damp te leiden in een gecontroleerde omgeving (cabine simulatie). Zij concludeerden dat de TCP isomeren die emitteren tijdens de gesimuleerde 'fume-event' in gelijke fracties aanwezig zullen zijn als dat zij in de olie zitten. Dus de verhouding van de TCP isomeren in de binnenlucht zal moeten correleren met die van de toegepaste olie [6].

Op basis van bovenstaande onderzoeken blijkt dat TCP in de cabines, dus zowel in de cockpit als in de passagiersruimte, kan voorkomen. Dit voornamelijk als een gevolg van een 'fume-event', echter andere oorzaken zijn niet uit te sluiten. Alléén tijdens het onderzoek van Solbu is gedurende de onderzoeken daadwerkelijk tijdens 'fume-event' gemeten. Omdat tijdens de overige onderzoeken er geen 'fume-events' hebben plaatsgevonden kan worden gesteld dat de geconstateerde concentraties aan TCP waargenomen zijn tijdens normale operationele vluchten. Op basis van de gerefereerde onderzoeken blijkt dat de hoogst waargenomen gemiddelde concentraties TCP over een gehele vlucht ca. 59 ng/m<sup>3</sup> bedroeg.

### 3.3 Toegepaste olie in KLM Boeing toestellen

Voor de KLM Boeing 737 worden twee soorten motorolie gebruikt.

- Voor de beide hoofdmotoren wordt BP Turbo Oil 2197 toegepast. Volgens het veiligheidsinformatieblad (Versie 2, 15 oktober 2013) bevat de olie 1 - 2,5% aan tricresylfosfaat. In dit veiligheidsblad staat niet welke TCP isomeren voorkomen [15].
- Voor de APU wordt BP Turbo Oil 2380 toegepast. Volgens het veiligheidsinformatieblad (versie 3, 15 oktober 2013) bevat de olie 2,5 tot kleiner dan 3% aan tricresylfosfaat. Ook hier is in het veiligheidsinformatieblad niet aangegeven welke TCP isomeren voorkomen [16].



**Figuur 1** Locaties motoren en APU [17].

### 3.4 Airconditioning systeem in Boeing 737 toestellen

#### 3.4.1 *Bleed-air*

Bleed-air is buitenlucht die via de motoren binnenkomt en in drukkamers wordt gecompriëerd. Door de compressie in de hoofdmotoren wordt de buitenlucht opgewarmd van ca. -60 °C tot temperaturen oplopend van 350 tot 500 °C. Een gedeelte van de bleed-air wordt naar het Environmental Control System (ECS) geleid en vormt de basis van de gehele luchthuishouding van het vliegtuig, d.w.z. cockpit, cabine en laadruimte. De nog hete bleed-air wordt daartoe afgekoeld. Dit gebeurt met buitenlucht (Ram air) via een eerste warmtewisselaar. In een tweede warmtewisselaar wordt de lucht verder afgekoeld tot ca. -20 °C. De relatief droge lucht wordt, via warmtewisselaars, opgewarmd tot de gevraagde temperatuur in de cockpit en cabine. Bleed-air kan stoffen uit de smeermotorolie of uit vloeistoffen/olie vanuit de hydraulische mechanieken bevatten. Wanneer dit tot zichtbare vervuiling leidt wordt er gesproken over mist (Engels: fume). De contaminatie aan stoffen in de bleed-air kan in zowel gas als druppelvorm voorkomen bij volgende situaties tijdens normale operatie:

- Tijdens grondoperaties kunnen uitlaatgassen van naburige vliegtuigen of producten van 'de-icing' de luchtcirculatie binnen komen.
- Mechanische defecten aan afsluitingen tussen natte en droge kant in de compressors.
- Bij onderhoud kunnen reservoirs voor olie en vloeistoffen te vol worden gegoten of vloeistoffen lekken langs de reservoirs.

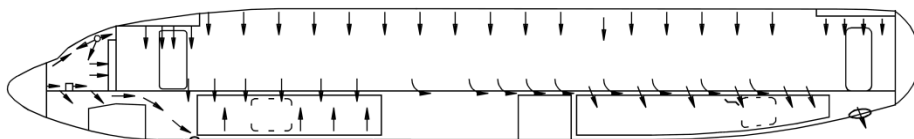
- Bij onverwacht hoge temperatuur regimes als gevolg van constructies van afsluitingen.

Indien vloeistof lekkage in het compressie gedeelte van de hoofdmotoren plaatsvindt, kan door de hoge heersende temperatuur (een deel van) de vloeistof verdampen. Tijdens de afkoeling met Ram air zullen veel van de gassen weer condenseren en aerosolen vormen. Een andere bron van contaminatie is de mogelijkheid dat de motorolie pyrolyse ondergaat. Hoe en in welke mate oliën worden ontbonden ('decomposition') is voor een groot deel nog onduidelijk. Dit komt omdat door de zeer hoge stroomsnelheden en hoge temperaturen in de bovenstroomse bleed-air, metingen hiernaar moeilijk zijn uit te voeren (pyrolyzed engine oil and/or hydraulic fluids).

### 3.4.2 *Luchthuishouding van de cockpit*

Bij de Boeing 737 wordt de luchttoevoer naar de cockpit, in tegenstelling tot cabinelucht, niet gerecirculeerd. De instroom van verse lucht verloopt via verschillende toevoeropeningen in de cockpit:

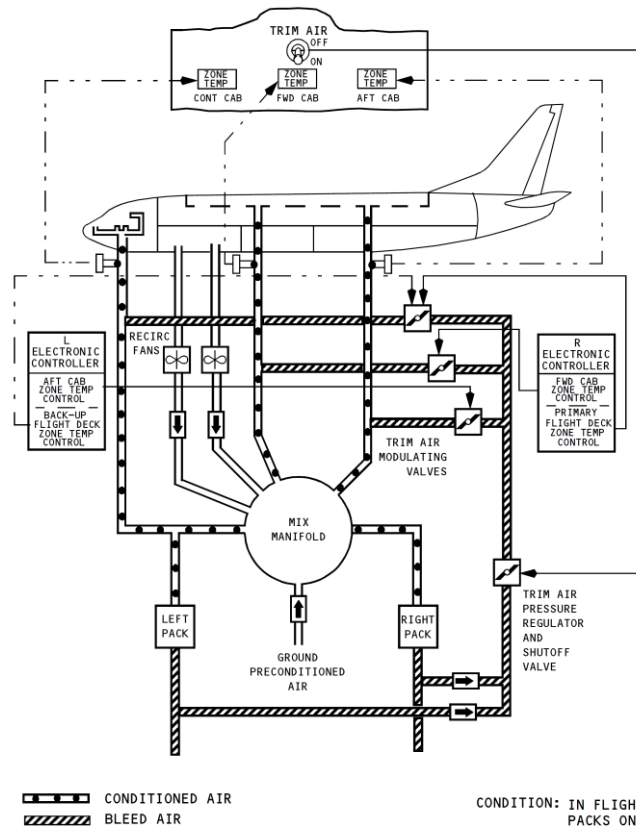
- Toevoeropeningen aan onderkant langs de cockpitvensters voor ontwaseming van de vensters
- Roosters links en rechts aan de zijkanten van de cockpit op kniehoogte van de zitposities
- Regelbare toevoeropeningen in het plafond achter de zitplaats van de vliegers



**Figuur 2** Luchthuishouding in het toestel [17].

Er is geen speciale afvoer of afvoerduet constructie in de cockpit om de ingeblazen lucht af te voeren. De afvoer van de lucht verloopt hoofdzakelijk via de panelen van de besturingssystemen en wordt hierbij gebruikt om de elektrische besturingssystemen te koelen.





**Figuur 3** Voorbeeld van de airconditioning distributie (schema B737-800/900) [17].

De aanvoer van bleed-air naar de cockpit voor een Boeing type 737-700 verloopt vanaf de linker motor (motor 1), via de linker Pack zonder tussenkomst van de rechter motor (motor 2). De cabine daarentegen verkrijgt de bleed-air via een mix manifold van zowel de linker en rechter (via linker en rechter Pack).

Voor de Boeing 737-800 en 900 geldt vrijwel hetzelfde principe echter hier kan de bleed-air indien nodig voor operationele condities een mengsel zijn vanuit motor 1 en 2 (linker en rechter Pack).

### 3.5 Normstelling voor TCP's

Tricresylfosfaten bestaan uit 10 isomeren, waarvan vijf TCP isomeren in dit project zijn onderzocht op hun voorkomen in de lucht van de cockpit. De keuze hiervoor heeft te maken met de thans aanwezige gevalideerde analysemethoden en het ontbreken van deugdelijke commerciële kalibratiestandaarden. Onder de te onderzoeken TCP isomeren bevindt zich triorthocresylfosfaat, T(o,o,o)CP, omdat bekend is dat voor deze stof is gesteld dat zij neurotoxisch is.

Op basis van de beschikbare toxiciteitsdata is voor T(o,o,o)CP een gezondheidskundige limietwaarde afgeleid van  $100.000 \text{ ng/m}^3$  ( $0,1 \text{ mg/m}^3$ ). Deze waarde is afgeleid door de American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH, op basis van zeer beperkte epidemiologische gegevens bij werknemers. Deze waarde is overgenomen door de Occupation and Safety & Health Administration, OSHA. [18]

In onderstaande tabel 1 staan de huidige limietwaarden voor T(o,o,o)CP weergegeven. Deze gegevens zijn gebaseerd op de databank gegevens afkomstig van Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) [19].

Tabel 1 Internationale gezondheidskundige limietwaarden voor de werkplek.

Component	Tricresyl fosfaat (ortho isomeer) casnr 78-30-8	
	8 uur gemiddelde blootstelling ng/m <sup>3</sup>	15 minuten gemiddelde blootstelling ng/m <sup>3</sup>
Land		
Oostenrijk	100.000	200.000
België	100.000	-
Denemarken	100.000	200.000
Frankrijk	100.000	-
Hongarije	100.000	-
Polen	100.000	300.000
Spanje	100.000	-
Zwitserland	100.000	-
Engeland	100.000	300.000
Singapor	100.000	-
USA (NIOSH)	100.000	-
USA (OSHA)	100.000	-

## 4 Meetvluchten

### 4.1 Selectie van Boeing 737 meetvluchten

Voor het meetonderzoek naar TCP's in de lucht van de cockpit zijn in totaal tien (retour)vluchten onderzocht. Van de 10 (retour)vluchten betrof het vier Boeing 737's van de variant 700, drie van de variant 800 en drie van variant 900.

In tabel 2 staan de meetvluchten weergegeven met de daarbij behorende datum, bestemming, registratie en subtype.

Er is gekozen voor vluchten met een zo lang mogelijk vluchtduur. Dit om een zo lang mogelijke meetduur te hebben en daarmee het te bemeten lucht volume te vergroten. Door een groter te bemonsteren luchtvolume is een betere determinatie van een aanwezige concentratie mogelijk.

Tabel 2 Uitgevoerde meetvluchten.

Datum	KL / bestemming	Registratie	Subtype
21-okt-13	1575/76 ATH	PH-BXM	800
25-okt-13	1373/74 OTP	PH-BGG	700
28-okt-13	1575/76 ATH	PH-BXU	800
30-okt-13	1575/76 ATH	PH-BXP	900
31-okt-13	1575/76 ATH	PH-BXN	800
2-nov-13	1699/17 MAD	PH-BGD	700
4-nov-13	1575/76 ATH	PH-BXP	900
6-nov-13	1575/76 ATH	PH-BGF	700
9-nov-13	1141/42 OSL	PH-BGE	700
14-nov-13	1597/98 FCO	PH-BXS	900

In het meetprogramma was de uitvoering voorzien voor 9 (retour)meetvluchten met negen verschillende toestellen van de verschillende varianten.

Door een plotselinge vliegtuigwissel is registratie PH-BXP twee keer in het meetprogramma opgenomen, één keer op 30 oktober 2013 en één keer op 4 november 2013. Daarom is op 14 november 2013 een extra vlucht in het onderzoek opgenomen voor een Boeing 737-900 met registratie PH-BXS om de oorspronkelijk geplande variatie in te bemonsteren vliegtuigen te kunnen handhaven.

### 4.2 Onderhoudstatus geselecteerde Boeing 737's

Voor het meetprogramma is afgesproken om representatieve steekproef te houden onder verschillende Boeing 737's rekening houdend met de onderhoud status van de te onderzoeken vliegtuigen.

Overeengekomen is dat erop toegezien wordt dat de metingen random plaats zullen vinden met betrekking tot onderhoudstatus, dus niet alleen vliegtuigen die net twee stretches hebben gevlogen. Aangezien meer blootstelling te verwachten is in vliegtuigen met oudere motoren en vliegtuigen die vlak vóór onderhoud zitten, is erop toegezien dat met name deze toestellen in het onderzoek zijn betrokken.

Er zijn geen vliegtuigen opgenomen die net uit onderhoud kwamen.

In de onderstaande tabel 3 staan voor elke registratie de volgende gegevens vermeld:

1. De laatste A-inspectie (kleine onderhoudsbeurt welke elke 500 uur plaatsvindt) en C-inspectie (grote onderhoudsbeurt welke elke 5000 uur plaatsvindt) voorafgaand aan de meetvlucht.
2. Het aantal vlieguren van de betreffende motoren.

Uit de gegevens blijkt dat aan de onderzoekseisen is voldaan: de motoren hebben voldoende operationele bedrijfsuren en zijn niet onlangs uit onderhoud gekomen.

Tabel 3 Onderhoudsgegevens van de onderzochte Boeing 737's.

Datum TNO meting	KL/ Bestemming	Registratie Type	Datum A-inspectie	Datum C-inspectie	Motor 1		Motor 2	
					Serienr	Draaiuren	Serienr	Draaiuren
21-10-2013	1575/76 ATH	PH-BXM 800	2-10-2013	19-12-2012	876521	7955	876576	8966
11-11-2013	APU meting	PH-BXM 800	2-10-2013	19-12-2012	Installatie APU	24-5-2013	Draaiuren	413
25-10-2013	1373/74 OTP	PH-BGG 700	24-9-2013	12-10-2012	896872	11722	896875	11722
11-11-2013	APU meting	PH-BGG 700	24-9-2013	12-10-2012	Installatie APU	17-2-2009	Draaiuren	3465
28-10-2013	1575/76 ATH	PH-BXU 800	15-8-2013	13-1-2013	892850	21559	892851	21559
30-10-2013	1575/76 ATH	PH-BXP 900	31-8-2013	23-1-2013	888110	5458	888629	2420
4-11-2013	1575/76 ATH	PH-BXP 900	31-8-2013	23-1-2013	888110	5458	888629	2420
31-10-2013	1575/76 ATH	PH-BXN 800	25-7-2013	13-4-2013	875757	10614	876575	7489
2-11-2013	1699/1700 MAD	PH-BGD 700	10-9-2013	28-3-2012	897250	6572	896651	12771
6-11-2013	1575/76 ATH	PH-BGF 700	19-9-2013	6-5-2012	896747	13255	896750	13255
9-11-2013	1141/42 OSL	PH-BGE 700	8-8-2013	30-4-2012	896713	13538	896714	13538
14-11-2013	1597/1598 FCO	PH-BXT 900	3-9-2013	6-2-2013	876368	5559	890821	31031

## 5 Uitvoering onderzoek

### 5.1 Strategie monsterneming

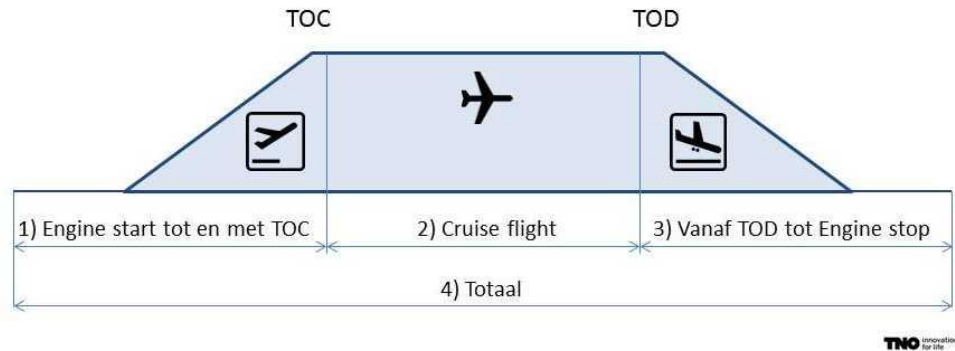
Voor het onderzoek naar het voorkomen van TCP's in de lucht van de cockpit is een meetstrategie gekozen met als doel inzicht te verkrijgen in aanwezigheid en concentraties van TCP's in de lucht van de cockpit, voor de verschillende vluchtfasen. Voorwaarde hierbij is dat vooraf goed gedefinieerd wordt, wanneer een monsterneming start en eindigt.

Gedurende de meetvluchten zijn vier tijdframes gedefinieerd. De belangrijkste motivatie voor het kiezen van deze tijdspannen is inzicht in TCP emissies tijdens de verschillende fasen van een meetvlucht. Belangrijk hierbij is, dat er voldoende luchtvolume wordt bemonsterd om zeer lage concentraties aan TCP's in de lucht te kunnen detecteren.

De gedefinieerde tijdframes zijn:

1. Frame 1 is de periode van het starten van van de motoren tot en met het bereiken van de Top of Climb (de klimvlucht). Het starten van de motoren is een duidelijk te definiëren moment binnen het uitvoeren van de vlucht. Op dat moment zijn alle deuren en ramen gesloten en is de externe verstoring van de cockpitlucht beperkt. Na het bereiken van de TOC zal de meting gestopt worden en wordt de volgende meting ingezet. De vlieger zal aangeven wanneer TOC bereikt is. Deze tijdspanne zal zo'n half uur, tot drie kwartier in beslag nemen.
2. Frame 2 is de periode van de kruisvlucht. De meting zal gedurende de gehele periode tot aan de geplande Top of Decent (TOD) worden uitgevoerd. Deze tijdsspanne is afhankelijk van de totale vluchtduur. Er zijn relatief lange routes gekozen, daardoor is deze periode van minimaal één uur tot twee uur gebleken.
3. Frame 3 is de tijdspanne vanaf TOD (overgang van de kruisvlucht naar een daalvlucht) tot aan het moment dat het toestel de parkeerpositie op de opstelplaats bereikt heeft en de motoren worden stopgezet. Deze tijdspanne zal vergelijkbaar zijn aan de duur voor de klimvlucht, ca. 30 tot 45 minuten.
4. Frame 4 omhelst de meting gedurende de gehele vlucht vanaf het moment van "start motoren" tot de volledige stilstand op de VOP. Deze duur behelst de drie voornoemde tijdframes.

In figuur 4 staan de tijdframes schematisch weergegeven.

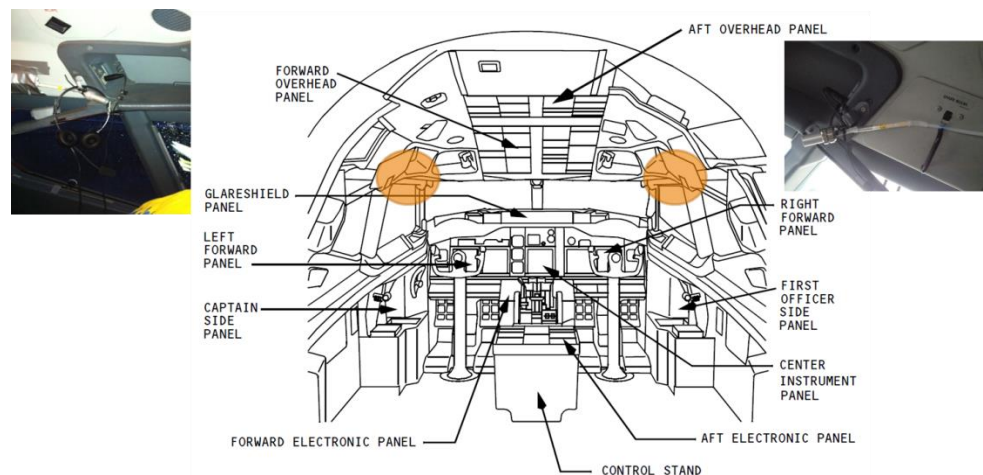


**Figuur 4** Tijdframes van de monsternemingen gedurende de gehele vlucht.

## 5.2 Luchtmetingen

Voor het nemen van de luchtmonsters is gesteld dat de hoeveelheid aan handelingen voor de metingen géén belemmering mag zijn voor de vliegveiligheid en daarmee de uitvoering van de operationele werkzaamheden van de vliegers tijdens de gehele vlucht. Er hebben zich ten tijde van de metingen geen operationele bijzonderheden voorgedaan.

Om de blootstellingsconcentraties aan TCP's voor de vliegers vast te stellen, zijn de monsternemers aan beide zijden van de cockpit gepositioneerd nabij de zitplaats van de vliegers. Figuur 5 geeft de monsternamelocatie schematisch weer.



**Figuur 5** Schematische weergave van de monsternamelocaties in de cockpit. Bron: Boeing.

De afstand van de plaats van de monsternemers ten opzichte van de ademzone van beide vliegers bedraagt circa 20-30 cm. Naar gelang de positie van beide stoelen welke afhankelijk is van de gekozen zitpositie van de vliegers, bedraagt de afstand tussen de monsternemer en de ademzone circa 30-40 cm.

Er is niet gekozen voor een positie van de monsternemers op de personen zelf. De reden hiervoor is, dat gedurende één meetvlucht meerdere malen per tijdseenheid debieten worden gemeten om de juiste aanzuigsnelheid in L/min vast

te stellen. Voor één meetvlucht betekend dit 12 tot 14 debietmetingen. Naast het vaststellen van de debieten wordt per meetvlucht één monsternemer twee keer verwisseld: bij aanvang van de kruisvlucht en op TOD. Monsterneming op de vlieger zelf zou zodoende de operationele werkzaamheden van de vlieger kunnen beïnvloeden.

De toegepaste monsternemers zijn voorzien van een glasvezelfilter in combinatie met een Chromosorb 106 adsorptiebuis. De monsternemers zijn via teflon slangen gekoppeld aan een luchtpomp die actief lucht aanzuigt door de monsternemer. De pompen zijn voorzien van een elektronische datalogger die het volume, debiet en de tijd registreert en opslaat. Tijdens de monsterneming zijn de pompen op gezette tijden gecheckt met behulp van een gekalibreerde elektronische debietmeter, dit om de ingestelde flow van de pompen te meten bij de heersende cockpitdruk. De heersende cabine (en daarmee cockpit) druk varieert immers gedurende de (klim en daal)vlucht. Om voor deze drukveranderingen te kunnen compenseren is de actuele luchtdruk en luchtflow van belang.

### 5.3 Veegmonsters

Vóór en na de vlucht werden op luchthaven Schiphol veegmonsters genomen van het glareshield van de cockpit. De veegmonsters zijn bedoeld om een indruk te krijgen van depositie van TCP's op dit oppervlak van het glareshield welk historisch is neergeslagen in voorgaande vluchten. Anderzijds kan er een indruk worden verkregen van mogelijke neerslag van depositie op het glareshield afkomstig van één retourvlucht. De samenstelling van de gevonden TCP's in de veegmonsters dienen naast het vaststellen van de vervuilingsgraad van de cockpit als referentie van hetgeen wordt gevonden aan TCP's in de luchtmonsters.

Per veegmonsters werden twee tissues gebruikt, bevochtigd met schoon Milli-Q-water (ultra schoon demi-water) waarmee het oppervlak van het glareshield is schoongeveegd. Uitdrukkelijk is niet gekozen voor een organisch oplosmiddel omdat daarmee de aard van het kunststofoppervlak kan worden aangetast. Het is bekend dat kunststoffen organofosfaatesters kunnen bevatten. Het gaat dus om makkelijk losliggend stof of aanslag dat zonder veel moeite en kracht opgenomen kan worden door aanraking. De resultaten van de veegmonsters zijn uitgedrukt in een concentratie in  $\text{ng/cm}^2$  glareshield oppervlak.

### 5.4 Traceerbaarheid, transport en opslag monsters

Voorafgaand aan elke meetvlucht zijn de filters, adsorptiebuisen en veegmonsters bij TNO in Utrecht voorzien van unieke traceerbare monstercodes. De registratie van de monstercodes en omschrijving zijn vervolgens opgeslagen in een speciaal daarvoor ontwikkeld dossiersysteem. Na afronding van elke meetvlucht zijn de adsorptiebuisen voorzien van afsluitdoppen en de filters opgeborgen in een daarvoor bestemde cassette en afgeschermd van licht getransporteerd. Na aankomst in het laboratorium van TNO in Utrecht zijn de monsters tot aan de opwerking en analyse opgeslagen in een vrieskast bij  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

## 5.5 Metingen in de olie

De gehalten van de vijf TCP isomeren in de BP oliën zijn bepaald door de olie te verdunnen met dichloormethaan en vervolgens te analyseren met behulp van gaschromatografie gekoppelde massaspectrometer (GC/MS). Van de gevonden gehalten aan TCP isomeren is de relatieve samenstelling van de TCP isomeren vastgesteld van de oliën. Van de beide oliën zijn controle monsters gemaakt, die gedurende de gehele analytische procesgang zijn mee geanalyseerd in elke afzonderlijke analyse run.

## 5.6 Opwerking en analyse

De filters en adsorptiebuizen zijn voorafgaand aan de extractie voorzien van een interne standaard TPhP-d15. De extractie is uitgevoerd met behulp van Accelerated Solvent Extraction met dichloormethaan.

De verkregen extracten zijn geconcentreerd met behulp van een rotatieverdamer tot circa 2-4 ml. Voorafgaand aan de laatste concentratiestap is tetrachloornaftaleen (TCN) toegevoegd als injectiestandaard. De extracten zijn kwantitatief overgebracht in een glazen buis en verder geconcentreerd met behulp van stikstof tot een exact eindvolume van 100 microliter. De verkregen extracten zijn vervolgens geanalyseerd met behulp van Gaschromatografie gekoppeld aan een massa gevoelige detector in Single Ion Mode (SIM). Identificatie geschiedt op basis van retentietijd en de overeenkomstige massa's van de afzonderlijke TCP's. Kwantificering geschiedt op basis van de interne standaardmethode ten opzichte van een externe kalibratiemix van TCP isomeren.

## 5.7 Kwaliteitsborging analyse

### 5.7.1 Normen voor de bepaling van TCP's in lucht en luchtstof

Zowel Europees binnen de European Committee for Standardisation (CEN) als mondiaal binnen de International Standardisation Organisation (ISO) zijn momenteel geen geconsolideerde normen voor de monsterneming-en analyse van organofosfaten in lucht en luchtstof. Binnen ISO TC146 Air Quality, Subcommittee 6, "Indoor Air", is momenteel een norm in voorbereiding voor de bepaling van een groot aantal vluchtige, semi vluchtige en niet vluchtige organofosfaatesters in lucht waaronder TCP's . De norm voorziet vooralsnog niet in de analyse van de verschillende isomeren van TCP's.

Binnen Europa zijn ook andere onderzoeksinstituten die onderzoek uitvoeren naar organofosfaatesters in lucht en stof. Op dit moment zijn er geen Europese interlaboratorium gegevens. Voorts passen verschillende instituten verschillende methoden toe die niet altijd even goed zijn beschreven in de literatuur. Daarnaast zijn deze verschillende onderzoeksmethodieken niet ten opzichte van elkaar statistisch geëvalueerd.

TNO-AEC hebben op basis van de vijf commercieel beschikbare TCP-kalibratie isomeren een gevalideerde meetmethode opgezet, waardoor er een zuiver beeld ontstaat over de aanwezigheid van deze isomeren naast de triortho isomeer.



### 5.7.2 *Kwaliteitsborging analyses van de meetvluchten*

Gegeven de situatie dat er geen Internationaal gevalideerde en geaccepteerde meetmethode voorhanden is, is door TNO een validatieonderzoek uitgevoerd naar circa 21 verschillende organofosfaat testers, waaronder de 5 isomeren van TCP. Van elk afzonderlijke organofosfaat tester zijn de prestatiekenmerken bepaald voor lineariteit, herhaalbaarheid, reproduceerbaarheid en terugvinding, en daarmee de totale meetonzekerheid van de methode. De volledige validatie is beschreven door Makarem–Akhlaghi en Houtzager in TNO rapport 2013 R11572 [2]. De prestatiekenmerken van de meetmethode zijn vastgesteld volgens NEN 7777, "Norm, Milieu en voedingsmiddelen - Prestatiekenmerken van meetmethoden" [20].

Voor de kwaliteitsborging van dit project, zijn ten behoeve van het gehele analyse traject tussen elke analyse serie (2 meetvluchten) de voorkolom, liner en septum van de GasChromatograaf vervangen. In elke analyse serie zijn de volgende kwaliteitsstappen ingebouwd:

- Blanco procedure monster bestaande uit reagentia en blanco filter die in de gehele procesgang meegaan van opwerking tot aan analyse
- Controle monster bestaande uit een verdunde oplossing van BP olie 2197.
- Controle monster bestaande uit een verdunde oplossing van BP olie 2380.
- Controle monster van een filter waaraan een lage concentratie aan TCP isomeren is toegevoegd (0,79 - 5,6 ng/filter)
- Controle monster van een filter waaraan een hoge concentratie aan TCP isomeren is toegevoegd (40 - 282 ng/filter)

De tijd tussen binnenkomst van de monsters en de experimentele opwerking hiervan, is zo kort mogelijk gehouden, en bedroeg minimaal 1 dag en maximaal 3 dagen.

### 5.7.3 *Verwerking van de meetgegevens*

De analyseresultaten van de luchtmonsters zijn in verschillende stappen verwerkt tot een concentratie in nanogram per kubieke meter ( $\text{ng}/\text{m}^3$ ) bemonsterde lucht. De geanalyseerde extracten zijn berekend in een absolute concentratie uitgedrukt in ng per monster. Correctie van de resultaten heeft plaatsgevonden voor de terugvinding van de interne- en injectiestandaard. Vervolgens zijn de verkregen waarden gecorrigeerd voor de resultaten gevonden in de laboratoriumprocedure blanco's. Met behulp van de bemonsterde volumina is de concentratie berekend uitgedrukt in  $\text{ng}/\text{m}^3$  bemonsterde lucht.

## 6 Resultaten en discussie

### 6.1 Meetresultaten

Voor het gehele project zijn de volgende aantallen metingen en analyses uitgevoerd:

Lucht- en veegmonsters (104 metingen)

- luchtmetingen in de cockpits
- veegmonsters glareshield van de cockpits
- luchtmetingen APU in de cockpits

Kwaliteitsborgende metingen (68 metingen)

- controle monsters olie BP2197
- controle monsters olie BP2380
- controle monsters filter + additie van lage concentraties TCP's
- controle monsters filter + additie van hoge concentratie TCP's
- laboratorium procedure blanco's
- transport blanco's

De resultaten van deze metingen worden in dit hoofdstuk behandeld.

### 6.2 Luchtmetingen

In tabel 4 staan de meetgegevens weergegeven van de luchtmetingen in de cockpit voor alle gemaakte vluchten. De resultaten staan weergegeven als de som van de gemeten TCP isomeren, uitgedrukt in nanogram per kubieke meter lucht ( $\text{ng/m}^3$ ). De volledige resultaten van de afzonderlijke TCP isomeren staan weergegeven in de bijlage 2 en 3.

Tabel 4 Resultaten  $\Sigma$  TCP's in de luchtmetingen van de cockpit. Door een plotselinge vliegtuigwissel is registratie PH-BXP twee keer in het meetprogramma opgenomen, Daarom is op 14 november 2013 een extra vlucht in het onderzoek opgenomen voor een Boeing 737-900.

Registratie subtype	Vlucht datum	KL/bestemming	Klim-vlucht	Kruis-vlucht	Daal-vlucht	Totale vlucht
			ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>
PH-BGG-700	25-10-2013	KL1373/OTP	<	2,9	<	<
		KL1374/AMS	<	<	2,2	1,3
PH-BGD-700	2-11-2013	KL1699/MAD	<	7,2	22	12
		KL1700/AMS	16	7,0	1,3	5,2
PH-BGF-700	6-11-2013	KL 1575 /ATH	<	<	<	<
		KL 1576 /AMS	<	<	<	<
PH-BGE-700	9-11-2013	KL1141/OSL	<	<	<	<
		KL1142/AMS	<	<	<	<
PH-BXM-800	21-10-2013	KL1575/ATH	155	0,53	25	2,9
		KL1576/AMS	3,1	0,55	1,4	0,27
PH-BXU-800	28-10-2013	KL1575 ATH	4,6	5,2	7,8	0,59
		KL1576/AMS	<	<	4,2	0,68
PH-BXN-800	31-10-2013	KL1575 ATH	1,9	0,78	<	<
		KL1576/AMS	<	<	<	7,7
PH-BXP-900	30-10-2013	KL1575/ATH	7,2	17	66	<
		KL1576/AMS	8,8	<	<	<
PH-BXP-900	4-11-2013	KL1575 ATH	<	<	11	<
		KL1576/AMS	1,8	<	<	<
PH-BXT-900	14-11-2013	KL1597/FCO	<	<	<	32
		KL1598/AMS	<	0,80	4,3	<
		<b>Minimum</b>	<b>1,8</b>	<b>0,53</b>	<b>1,3</b>	<b>0,27</b>
		<b>maximum</b>	<b>155</b>	<b>17</b>	<b>66</b>	<b>32</b>
		<b>gemiddelde</b>	<b>25</b>	<b>4,7</b>	<b>15</b>	<b>6,9</b>
		<b>mediaan</b>	<b>5,9</b>	<b>2,9</b>	<b>6,0</b>	<b>2,9</b>

(<: gemeten waarde is kleiner dan de detectielimiet)

In tabel 5 staan de meetgegevens weergegeven van de luchtmetingen in de cockpit van een Boeing 737-700 en 800 op het platform bij de Maintenance Hal 2, tijdens gebruik van de APU. De APU metingen zijn verricht gedurende 30 minuten.

De metingen zijn uitgevoerd op één zelfde wijze als voor de metingen op de 10 vluchten. De resultaten in de tabel staan weergegeven als de som van de gemeten TCP isomeren, uitgedrukt in nanogram per kubieke meter lucht (ng/m<sup>3</sup>).

Tabel 5 Resultaten APU metingen in de cockpit.

Code TNO	52013185-08 APU800 BXM Cockpit links	52013185-09 APU800 BXM Cockpit rechts	52013185-11 APU700 BGG Cabine links	52013185-12 APU700 BGG Cabine rechts
datum	11-11-2013	11-11-2013	11-11-2013	11-11-2013
Registratie	PH-BXM-800	PH-BXM-800	PH-BGG-700	PH-BGG-700
Eenheid	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>
Tri (o,o,o,-)cresylfosfaat	<	<	<	<
Tri (m,m,m)-cresylfosfaat	<	<	<	<
Tri(m,m,p)-cresylfosfaat	<	<	<	<
Tri(m,p,p)-cresylfosfaat	<	<	<	<
Tri(p,p,p)-cresylfosfaat	<	<	<	<
Σ TCP isomeren				

(<: gemeten waarde is kleiner dan de detectielimiet)

De resultaten geven de concentratie niveaus weer van de som TCP's in de lucht van de cockpit waaraan de vliegers worden blootgesteld.

Voor alle metingen geldt dat T(o,o,o)CP niet in de lucht van de cockpit wordt aangetoond.

Van de in totaal 84 luchtmetingen worden in 37 monsters concentraties aan TCP's gevonden en in 47 gevallen worden geen TCP's in de lucht aangetroffen.

De concentratie range van de som TCP's in de lucht van de cockpit varieert en bedraagt minimaal 0,5 ng/m<sup>3</sup> tot maximaal 155 ng/m<sup>3</sup>. De gemeten waarde van 155 ng/m<sup>3</sup> wordt gevonden bij het taxiën en opstijgen tot aan kruishoogte voor de Boeing 737-800 met registratie PH-BXM op de vlucht van Athene naar Amsterdam.

Uit het totaal van de luchtmetingen blijkt dat gemiddeld de hoogste concentraties worden gevonden bij taxiën tot en met het stijgen tot aan kruishoogte (TOC, tijdsframe 1) en bij aanvang van de daling tot aan de vliegtuig opstelplaats (TOD, tijdsframe 3) met respectievelijk 25 en 15 ng/m<sup>3</sup>. Gezien de totale meetonzekerheid van de meetmethode (34%), zijn de concentraties tussen TOD en TOC niet significant verschillend van elkaar.

De concentratieniveaus die zijn gemeten tijdens de kruishoogte liggen gemiddeld lager dan voor de klim en daalvlucht en bedraagt gemiddeld 4,7 ng/m<sup>3</sup>. De concentratie tijdens kruisvlucht verschilt significant met de concentraties gevonden bij de tijdframes van de TOC en TOD.

Uit de resultaten blijkt, dat over de totale vluchtperiode de concentraties TCP in de meeste metingen lager zijn dan voor de afzonderlijke tijdframes TOC, TOD en kruishoogte. Dit is te verklaren, doordat er uitmidding plaatsvindt van (piek) concentraties gedurende de tijd doordat een totale vlucht langer is dan voor de afzonderlijke tijdframes TOC, TOD en kruishoogte.

Ook blijkt dat voor die gemeten concentraties waarvan verwacht mag worden dat er een relatie is tussen de kortdurende metingen (TOC, TOD en kruishoogte) en de meting over de totale vlucht, deze er niet altijd zijn.

De gemeten concentraties van TCP's in de luchtmonsters van de linker en rechter monsternemer bleken regelmatig van elkaar te verschillen. Twee hypothesen zijn hiervoor mogelijk:

1. De positie waar de luchtmonsters zijn genomen.
  - De positie van de linker monsternemer. Deze is dichtbij een grote regelbare 'lucht' uitstroomopening dat aan drie zijden geopend was.
  - De positie van de rechter monsternemer was nabij een kleine 'lucht' uitstroomopening voorzien van een verstelbare nozzle, waarmee de richting gevarieerd kan worden.
  - De afstand tussen de rechter monsternemer en de rechter 'lucht' uitstroomopening is korter dan de afstand tussen de linker monsternemer en de nozzle.
2. Mogelijke discontinue emissie vanuit de ducts  
In de ducts kunnen stof en andere deeltjes accumuleren.  
Deze (gesedimenteerde) deeltjes kunnen mogelijk vanuit de rechter en of de linker duct ongecontroleerd loslaten. Hierdoor kunnen deze (stof)deeltjes, al dan niet verontreinigd, verplaatsen naar de 'lucht' uitstroomopeningen.  
Dit kan tot gevolg hebben een discontinue emissie van deeltjes uit het airconditioning systeem die mogelijk sporen van TCP bevatten.

Beide hypothesen dienen nader bestudeerd te worden om de verschillen in gevonden concentraties te verklaren.

### 6.3 Veegmonsters

In tabel 6 staan de meetgegevens weergegeven van de veegmonsters genomen van de bovenkant van het totale oppervlak van het glareshield van de cockpit voor alle gemaakte vluchten. De resultaten in de tabel staan weergegeven als de som van de gemeten TCP isomeren, uitgedrukt in nanogram per vierkante centimeter.

Tabel 6 Resultaten  $\Sigma$  TCP's in de veegmonsters genomen van de bovenkant oppervlak van het glareshield van de cockpit

Registratie subtype	Vlucht datum	KL/bestemming	dashboard oppervlak	
			voor de vlucht ng/cm <sup>2</sup>	na de retour vlucht ng/cm <sup>2</sup>
PH-BGG-700	25-10-2013	KL1373/74 OTP/AMS	0,023	-
PH-BGD-700	2-11-2013	KL1699/1700 MAD/AMS	0,066	0,048
PH-BGF-700	6-11-2013	KL 1575/76 ATH/AMS	0,017	0,012
PH-BGE-700	9-11-2013	KL1141/42 OSL/AMS	0,020	0,045
PH-BXM-800	21-10-2013	KL1575/76 ATH/AMS	0,054	0,076
PH-BXU-800	28-10-2013	KL1575/76 ATH/AMS	0,023	0,003
PH-BXN-800	31-10-2013	KL1575/76 ATH/AMS	0,044	0,074
PH-BXP-900	30-10-2013	KL1575/76 ATH/AMS	0,028	0,039
PH-BXP-900	4-11-2013	KL1575/76 ATH/AMS	0,032	0,079
PH-BXT-900	14-11-2013	KL1597/98 FCO/AMS	0,050	0,044
		<b>min</b>	<b>0,017</b>	<b>0,003</b>
		<b>max</b>	<b>0,066</b>	<b>0,079</b>
		<b>gemiddelde</b>	<b>0,036</b>	<b>0,047</b>
		<b>mediaan</b>	<b>0,030</b>	<b>0,045</b>

- Terugvlucht is niet bemonsterd, door snelle wisseling crew waren meetkoffers inmiddels van boord

De veegmonsters die zijn genomen voorafgaand aan de vluchten geven de historische depositie of afzetting weer, waarmee TCP's neerslaan op het oppervlak van het glareshield. De veegmonsters zijn met tissues, bevochtigd met water, werd genomen en dus uitdrukkelijk niet met organisch oplosmiddel. Het gaat om makkelijk losliggend stof of aanslag dat zonder veel moeite en kracht opgenomen kan worden via handen en materialen zoals mouwen van kleding, en andere zaken die wel eens bovenop een glareshield worden neergelegd.

Uit de resultaten blijkt dat er nauwelijks verschil zit in de veegmonsters van voor de vlucht ten opzichte van veegmonsters bij terugkomst op Schiphol in Amsterdam. Gemiddeld worden voor beide veegmonsters een concentratie gemeten van 0,04 en 0,05 ng/cm<sup>2</sup>. Op basis van de totale meetonzekerheid mag worden gesteld dat de gevonden concentraties niet significant van elkaar verschillen. Kennelijk is er een aanslag of stof depositie ontstaan op het oppervlak van het glareshield dat relatief makkelijk opneembaar is. Het geeft aan dat in de cockpit ophoping kan plaatsvinden van stof dat TCP's bevat.

TCP's zijn typische stoffen die door hun relatief lage dampspanning het vermogen hebben om te hechten aan stof en daarmee accumuleren via stofafzetting in de ducts naar- en van de ECS (het airconditioning systeem).

#### 6.4 Analyse van de toegepaste motorolie

Volgens het veiligheidsinformatieblad (Versie 2, 15 oktober 2013) bevat BP Turbo Oil 2197 1 - 2,5% aan TCP's. Deze olie wordt toegepast in de beide hoofdmotoren. BP Turbo Oil 2380 bevat volgens het veiligheidsinformatieblad (Versie 3, 15 oktober 2013) 2,5 tot kleiner dan 3% aan TCP's [15, 16]. In totaal zijn van beide oliën 12 analyses uitgevoerd.

In tabel 7 en 8 staan de gemiddelde gevonden gehalten van TCP's in BP Turbo Oil 2197 en BP Turbo Oil 2380 weergegeven.

Tabel 7 Resultaten TCP isomeren in BP Turbo Oil 2197. RSDR staat voor de standaardafwijking van de reproduceerbaarheid, en cv staat voor de variatiecoëfficiënt.

eenheid	BP Turbo Oil 2197		
	Gemiddelde % (m/m)	RSDR % (m/m)	cv %
Tri (o,o,o,)-cresylfosfaat	<	<	
Tri (m,m,m)-cresylfosfaat	0,20	0,02	9%
Tri(m,m,p)-cresylfosfaat	0,57	0,05	9%
Tri(m,p,p)-cresylfosfaat	0,76	0,05	6%
Tri(p,p,p)-cresylfosfaat	0,19	0,02	10%
$\Sigma$ TCP isomeren	1,71	0,08	5%
Gehalte vlgns leverancier	1-2,5		

(<: gemeten waarde is kleiner dan de detectielimiet)

Tabel 8 Resultaten TCP isomeren in BP Turbo Oil 2380. RSDR staat voor de standaardafwijking van de reproduceerbaarheid, en cv staat voor de variatiecoëfficiënt.

eenheid	BP Turbo Oil 2380		
	Gemiddelde % (m/m)	RSDR % (m/m)	cv %
Tri (o,o,o,)-cresylfosfaat	<	<	
Tri (m,m,m)-cresylfosfaat	0,44	0,08	19%
Tri(m,m,p)-cresylfosfaat	1,06	0,22	21%
Tri(m,p,p)-cresylfosfaat	0,89	0,17	20%
Tri(p,p,p)-cresylfosfaat	0,23	0,04	18%
$\Sigma$ TCP isomeren	2,62	0,51	20%
Gehalte vlgns leverancier	2,5-3,0		

(<: gemeten waarde is kleiner dan de detectielimiet)

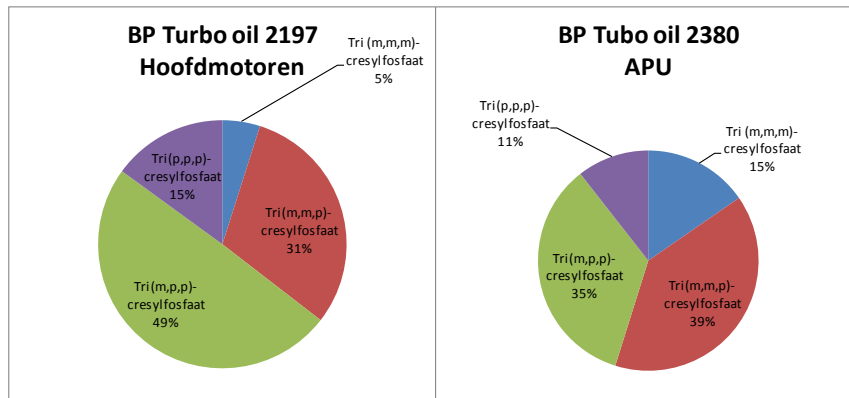
In onderstaande tabel 9 staan de gehalten van de afzonderlijke TCP isomeren uitgedrukt in procenten van het totaal van de samenstelling van de beide oliën.

Tabel 9 Samenstellingspercentages van de twee onderzochte oliën.

Omschrijving eenheid	BP Turbo oil 2197 Samenstelling %	BP Turbo oil 2380 Samenstelling %
Tri (o,o,o)-cresylfosfaat	<	<
Tri (m,m,m)-cresylfosfaat	5	15
Tri (m,m,p)-cresylfosfaat	31	39
Tri (m,p,p)-cresylfosfaat	49	35
Tri (p,p,p)-cresylfosfaat	15	11
$\Sigma$ TCP isomeren	100	100

(<: gemeten waarde is kleiner dan de detectielimiet)

In figuur 6 zijn de percentages van de verschillende TCP isomeersamenstellingen grafisch weergegeven.



**Figuur 6** Samenstelling van de TCP isomeren in % van het totaal.

Uit de resultaten van de olie analyses blijkt dat de BP Turbo Oil 2197 en 2380 dezelfde TCP isomeren bevat maar van elkaar verschillen zowel in de verhouding van samenstelling en de gehalten van de verschillende TCP isomeren. De gemeten waarden van de som TCP's liggen binnen de opgegeven traject waarden van de leverancier.

Op basis van de analyse van beide BP Turbo Oils zijn 4 van de 5 onderzochte TCP isomeren aangetoond. De chromatogrammen van de beide oliën vertonen naast de 4 pieken van de aangetoonde isomeren, géén andere pieken die op basis van massa zouden kunnen duiden op aanwezigheid van andere TCP isomeren.



## 6.5 Correlatie berekeningen van de samenstelling aan TCP isomeren tussen lucht, veeg en oliemonsters.

De Pearson correlaties zijn bepaald tussen de samenstellingen van de TCP isomeren zoals gevonden in de veeg-en luchtmonsters, nieuwe Turbo Oil 2197 en 2380, en gebruikte Turbo Oil 2197.

De relaties tussen de samenstellingen van de verschillende monsters is berekend op basis van de resultaten van vier TCP isomeren: tri(m,m,m)cresylfosfaat, tri(m,m,p)cresylfosfaat, tri(m,p,p)cresylfosfaat, en tri(p,p,p)cresylfosfaat. In die gevallen waar één van de vier TCP isomeren beneden de detectielimiet valt is voor de berekening een waarde gehanteerd van 70% van de detectiegrens. Voor de berekening zijn de concentraties van de vier TCP isomeren omgerekend als een percentuele verhouding van de totale TCP samenstelling. Omdat de correlaties berekend zijn op basis van maar vier punten (vier TCP isomeren) zijn de meeste resultaten statistisch niet significant ( $p > 0.1$ ). Statistisch significant zijn alleen die resultaten die een hoge correlatie laten zien ( $r > 0.9$ ). De berekende correlaties zijn getoetst aan de criteria (statistische voorwaarden) zoals vermeldt in onderstaande tabel 10.

Tabel 10 Toegepaste correlatie criteria.

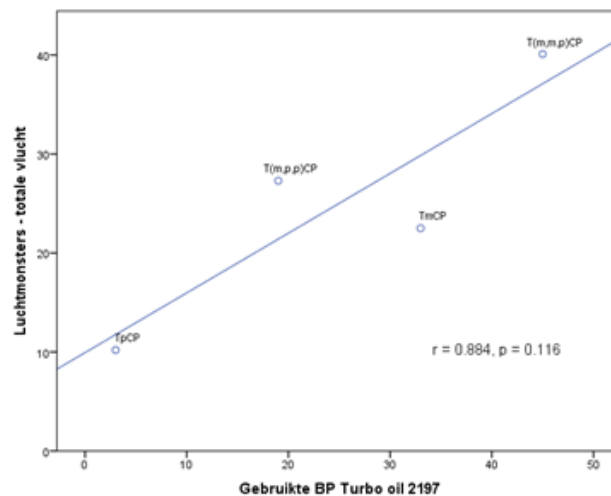
	Correlatie r
Laag	$r < 0,4$
matig	$0,4 < r < 0,7$
Hoog	$0,7 < r < 0,9$
Zeer hoog	$r > 0,9$
	Significantie p
Niet significant	$p > 0,1$
Significant	$p < 0,1$

De resultaten van de correlatieberekeningen van de TCP isomeersamenstellingen tussen de verschillende monsters zijn als volgt:

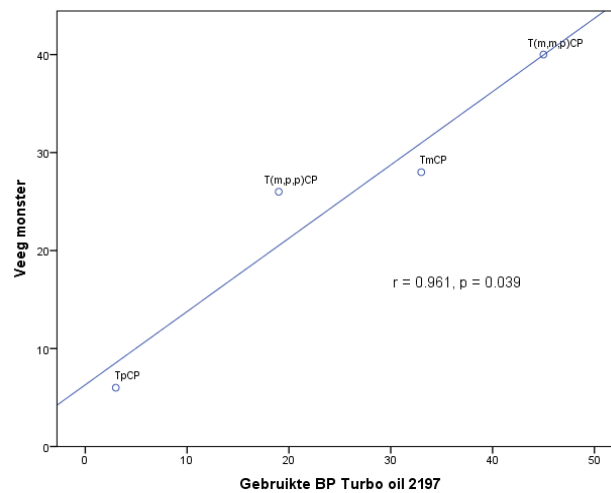
1. Luchtmonsters van de cockpit vertonen onderling een significant hoge correlatie ( $r > 0.9$ ,  $p < 0.1$ ).
2. Veegmonsters van het glareshield van de cockpit vertonen onderling een significant hoge correlatie ( $r \geq 0.9$ ,  $p \leq 0.1$ ).
3. Lucht- en veegmonsters vertonen onderling een significant hoge correlatie ( $r \geq 0.9$ ,  $p \leq 0.1$ ).
4. BP Turbo Oil 2197 en 2380 vertonen een hoge correlatie ( $r=0.87$ ) maar is niet significant ( $p>0.1$ ).
5. Niet gebruikte BP Turbo Oil 2380 correleert hoog met lucht- en veegmonsters van de cockpits ( $0.79 < r < 0.94$ ,  $0.06 < p < 0.21$ ).
6. Niet gebruikte BP Turbo Oil 2197 correleert matig met lucht- en veeg monsters en is niet significant ( $0.38 < r < 0.66$ ,  $0.34 < p < 0.62$ ).
7. Gebruikte BP Turbo Oil 2197 correleert zeer hoog met veegmonsters genomen in de cockpit ( $r = 0,961$ ,  $p = 0,039$ ).
8. Gebruikte BP Turbo Oil 2197 correleert hoog met luchtmonsters genomen in de cockpit ( $0.859 < r < 0.952$ ,  $0.048 < p < 0.141$ ).

Opmerkelijk is dat de correlaties tussen veeg- en luchtmonsters met de ongebruikte (nieuwe) BP Turbo Oil 2380 hoger zijn dan voor de ongebruikte (nieuwe) BP Turbo Oil 2197. Echter indien correlaties worden berekend tussen de veeg- en luchtmonsters met die van (oude) gebruikte BP Turbo Oil 2197 dan is er wel degelijk een correlatie te vinden. Dit zou kunnen inhouden dat de toegepaste BP 2197 gedurende het gebruik onderhevig is aan veranderingen in de verhoudingen van de verschillende TCP isomeren.

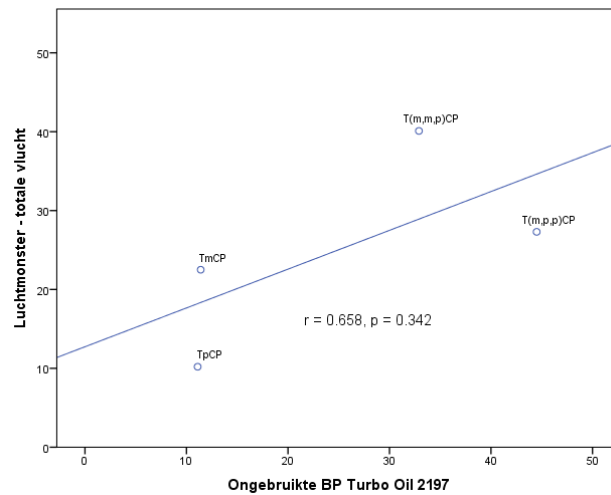
In de onderstaande voorbeeld grafieken (figuren 7a tot en met 7c) staan de correlaties weergegeven van de gebruikte (oude) en niet gebruikte (nieuwe) BP Turbo Oil 2197 versus lucht- en veegmonsters.



**Figuur 7a** Correlatie tussen de gebruikte BP Turbo oil 2197 en de genomen luchtmonsters op basis van de TCP isomeersamenstelling.



**Figuur 7b** Correlatie tussen de gebruikte BP Turbo oil 2197 en de genomen veegmonsters op basis van de TCP isomeersamenstelling.



**Figuur 7c** Correlatie tussen de ongebruikte BP Turbo oil 2197 en de genomen luchtmonsters (totale vlucht) op basis van de TCP isomeersamenstelling.

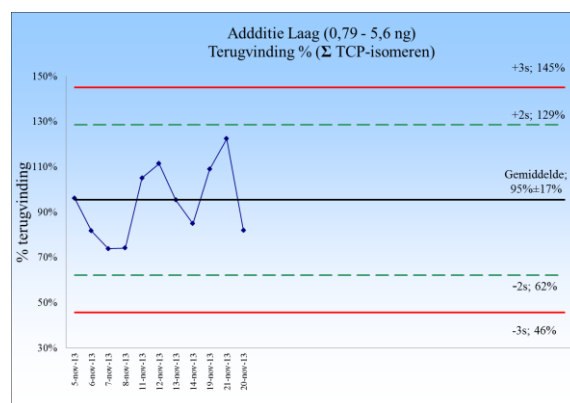
## 6.6 Kwaliteitsborging

### 6.6.1 Controle monsters met additie van TCP's

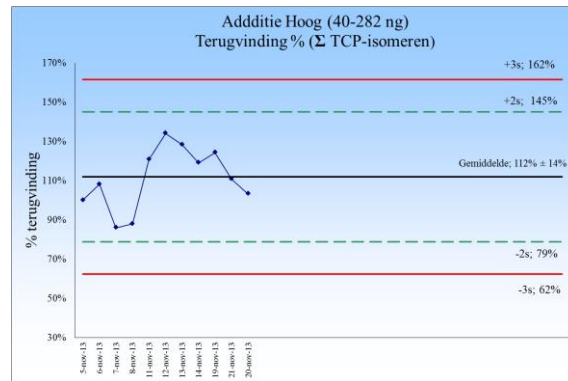
In de gehele analytische procesgang van het nemen van monsters, de opwerking hiervan en de analyses zijn kwaliteitsborgende stappen ingebouwd om de totale analytische performance te bewaken. Voor deze kwaliteitsborging zijn in totaal 64 analyses uitgevoerd.

Van de resultaten van de controle monsters filter + additie van lage concentraties TCP's en van de controle monsters filter + additie van hoge concentratie TCP's zijn de terugvindingen berekend van de afzonderlijke TCP isomeren, en uitgezet als som TCP's in controlekaarten.

In de figuren 8 en 9 staan grafisch de meetgegevens van de additie monsters, uitgedrukt in een terugvindingspercentage van de geaddeerde som aan TCP isomeren.



**Figuur 8** Terugvinding in procenten van de som TCP isomeren voor additie met een laag concentratieniveau.



**Figuur 9** Terugvinding in procenten van de som TCP isomeren voor additie met een hoog concentratieniveau.

Uit de resultaten blijkt dat op een laag concentratieniveau de gemiddelde terugvinding aan som TCP isomeren 95% bedraagt met een standaardafwijking van 17%. Voor de additiemonsters op een hoog concentratieniveau bedraagt de gemiddelde terugvinding aan som TCP isomeren 112% met een standaardafwijking van 14%.

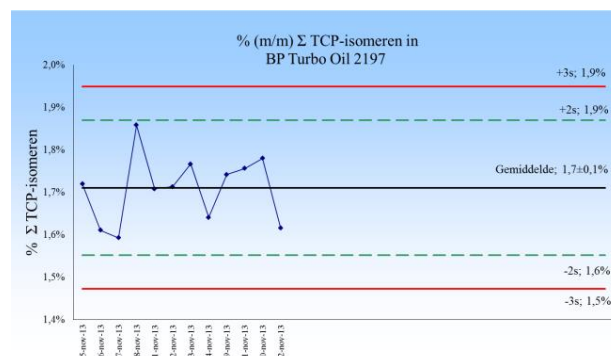
Uit de controle kaarten is op te maken dat voor de analyse resultaten geldt dat alle gemeten waarden binnen de 2s-grens liggen. Hiermee voldoen de controlemonsters aan het 95% betrouwbaarheidsinterval bij een normale verdeling.

De additie monsters zijn op verschillende dagen (tijdsframe van 4 weken) door twee verschillende analisten bereid, opgewerkt en geanalyseerd. Op basis van de resultaten van deze controle monsters is een totale meetonzekerheid U bepaald. De totale meetonzekerheid varieert per component en bedraagt gemiddeld 38% bij een laag additieniveau (0,79 - 5,6 ng) en 44% bij een hoog additieniveau (40 - 282 ng).

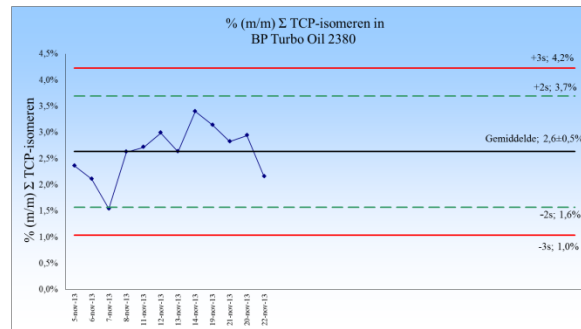
#### 6.6.2 Controle monsters BP Turbo Oil 2197 en 2380

Van de resultaten van de controle monsters olie BP2197 en 2380 zijn de terugvindingen berekend van de afzonderlijke TCP isomeren, en uitgezet als som TCP's in controle kaarten.

In de figuren 10 en 11 staan grafisch de meetgegevens van de beide oliën, uitgedrukt in een massa percentage totaal TCP's voor de beide oliën.



**Figuur 10** Massa % totaal TCP's in BP Turbo Oil 2197.



**Figuur 11** Massa % totaal TCP's in BP Turbo Oil 2380.

Uit de resultaten (figuren 10 en 11) blijkt dat de gemeten totale massa (%) aan TCP's in BP Turbo Oil 2197 1,7 % bedraagt met een standaardafwijking van 0,1%. Volgens opgave van de leverancier van de olie ligt het gehalte aan TCP's tussen 1-2,5%.

Voor BP Turbo Oil bedraagt de gemeten totale massa (%) aan TCP's 2,6% met een standaardafwijking van 0,5%. Volgens opgave van de leverancier van de BP Turbo Oil 2380 ligt het gehalte aan TCP's tussen 2,5 en kleiner dan 3%.

### 6.6.3 Procedure- en transportblanco's

De resultaten van de procedure- en transportblanco's staan weergegeven in tabel 11, uitgedrukt in minimale en maximale waarden en het gemiddelde van de blanco's over 11 waarnemingen.

Tabel 11 Resultaten procedure blanco's en transportblanco's, uitgedrukt in ng/monster. Min is de minimale gemeten waarde per stof, max de maximale gemeten waarde per stof. RSDR staat voor de standaardafwijking van de reproduceerbaarheid, en cv staat voor de variatiecoëfficiënt.

Procedure blanco	min	max	gemiddelde	RSDR	CV
eenheid	ng/monster	ng/monster	ng/monster		%
Tri (o,o,o,)-cresylfosfaat	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tri (m,m,m)-cresylfosfaat	0,06	0,41	0,14	0,11	75
Tri(m,m,p)-cresylfosfaat	0,06	0,65	0,19	0,18	83
Tri(m,p,p)-cresylfosfaat	0,05	0,49	0,15	0,12	78
Tri(p,p,p)-cresylfosfaat	0,00	0,13	0,02	0,04	223
Transportblanco	min	max	gemiddelde	RSDR	CV
eenheid	ng/monster	ng/monster	ng/monster		%
Tri (o,o,o,)-cresylfosfaat	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Tri (m,m,m)-cresylfosfaat	0,00	2,03	0,34	1,01	177
Tri(m,m,p)-cresylfosfaat	0,00	3,53	0,57	0,71	163
Tri(m,p,p)-cresylfosfaat	0,00	2,49	0,44	0,19	254
Tri(p,p,p)-cresylfosfaat	0,00	0,62	0,08		

Uit de resultaten kan worden afgeleid dat de gemeten blanco procedure waarden voor de afzonderlijke TCP isomeren minimaal beneden de detectielimiet van de meetmethoden liggen tot maximaal 0,65 ng per monster.

Voor de transportblanco's liggen de maximale waarden voor de afzonderlijke TCP isomeren hoger dan voor de gemeten waarden van de procedureblanco's. Dit geeft aan dat er ten opzichte van de procedureblanco's meer contaminatie optreedt.

De resultaten van de monsters zijn niet gecorrigeerd voor de waarden gevonden in de transportblanco's die zijn meegegaan tijdens de vlucht. Deze waarden geven aan wat de vervuilingsgraad is aan TCP's van de omgeving waar de luchtmonsters zijn genomen aangevuld met verontreinigingen afkomstig van externe bronnen anders dan die van de luchtmetingen. Feitelijk geeft een transportblanco aan hoe schoon of vervuild de omgeving is waarin de monsterneming plaatsvindt aangevuld met de externe invloeden die afkomstig zijn van het transport vanaf de meetlocatie tot aan binnenkomst in het laboratorium. In geen geval kan een uitspraak worden gedaan over de mogelijke vervuiling in de transportblanco's en de relatie hiervan met gemeten concentraties in de lucht. Dit is de reden dat transportblanco's niet kunnen worden gebruikt voor correctie van de meetresultaten. Voor de correctie van de meetresultaten zijn wel de laboratorium procedureblanco's gebruikt.

#### 6.6.4 *Relatie onderhoudsgegevens en TCP concentratie*

Op basis van de door de opdrachtgever aangereikte onderhoudsgegevens is getracht een vergelijk te maken tussen een aantal gegevens waaronder de onderhoudsgegevens en de tijdens het onderzoek bepaalde aanwezigheid van TCP isomeren. Om dit vergelijk te maken zijn in tabel 12 vereenvoudigde waarden opgenomen. Zo is als vereenvoudiging van de concentratie TCP de gemiddelde concentratie over de gehele vlucht per stretch per toestel genomen.

Voor het olieconsumptie is het gemiddelde van de afgelopen 3 maanden van de beide motoren toegepast en voor het aantal bedrijfsuren van de motoren is het gemiddelde aantal bedrijfsuren van motor 1 en motor 2 genomen.

Op basis van tabel 12 zijn een aantal correlatiestudies verricht te weten:

1. Het olieconsumptie en TCP concentratie,
2. Het olieconsumptie en jaar in dienst name,
3. Het olieconsumptie en motor draaiuren,
4. De TCP concentratie en jaar in dienst name,
5. De TCP concentratie en motor draaiuren.

Tabel 12 Overzicht van de vluchtgegevens, inspectiedata, motorendata en olieconsumptie over drie maanden van de toestellen die in het onderzoek betrokken zijn geweest.

Datum TNO meting	KL/ Bestemming	Registratie Type	Datum A-inspectie	Datum C-inspectie	Motor 1		Motor 2		Airframe leeftijd	Motor uren gem	concentratie totaal max	olie verbruik gemiddeld 3mnd
					Serienr	viereguren	Serienr	viereguren				
21-10-2013	1575/76 ATH	PH-BXM 800	2-10-2013	19-12-2012	876521	7955	876576	8966	2000	8460,5	2,9	0,184
11-11-2013	APU meting	PH-BXM 800	2-10-2013	19-12-2012	Installatie APU	24-5-2013	Draaiuren	413	2000	8460,5	0,3	0,184
25-10-2013	1373/74 OTP	PH-BGG 700	24-9-2013	12-10-2012	896872	11722	896875	11722	2009	11722	1,3	0,174
11-11-2013	APU meting	PH-BGG 700	24-9-2013	12-10-2012	Installatie APU	17-2-2009	Draaiuren	3465	2009	11722	<	0,174
28-10-2013	1575/76 ATH	PH-BXJ 800	15-8-2013	13-1-2013	892850	21559	892851	21559	2006	21559	0,7	0,15
30-10-2013	1575/76 ATH	PH-BXP 900	31-8-2013	23-1-2013	888110	5458	888629	2420	2006	21559	0,6	0,15
4-11-2013	1575/76 ATH	PH-BXP 900	31-8-2013	23-1-2013	888110	5458	888629	2420	2001	3939	<	0,158
31-10-2013	1575/76 ATH	PH-BXN 800	25-7-2013	13-4-2013	875757	10614	876575	7489	2001	3939	<	0,158
2-11-2013	1699/1700 MAD	PH-BGD 700	10-9-2013	28-3-2012	897250	6572	896651	12771	2001	3939	<	0,16
6-11-2013	1575/76 ATH	PH-BGF 700	19-9-2013	6-5-2012	896747	13255	896750	13255	2001	3939	<	0,16
9-11-2013	1141/42 OSL	PH-BGE 700	8-8-2013	30-4-2012	896713	13538	896714	13538	2000	9051,5	7,7	0,22
14-11-2013	1597/1598 FCO	PH-BXT 900	3-9-2013	6-2-2013	876368	5559	890821	31031	2000	9051,5	<	0,22
									2008	9671,5	12	0,174
									2008	9671,5	5,2	0,174
									2008	13255	<	0,181
									2008	13255	<	0,181
									2008	13538	<	0,173
									2008	13538	<	0,173
									2004	18295	32	0,128
									2004	18295	<	0,128

Uit de berekeningen blijkt dat interpretatie voor meerdere uitleg mogelijk is. Bijvoorbeeld dat, bij de aanname dat alle factoren even zwaar wegen, een verhoogd motorolie verbruik geen duidelijke relatie met een verhoging van TCP isomeer concentratie in de cockpit levert (studie 1). Hierbij is de kwadratische correlatiecoëfficiënt,  $R^2 = 0,00004$ .

Een goede correlatie kenmerkt zich bij een  $R^2 = 1$ . Ofwel, er is géén goede gecorreleerde relatie aanwezig tussen het motorolieverbruik en de concentratie TCP isomeren in de cockpit aanwezig. Ook voor de overige studies (2 t/m 5) blijken geen goede correlaties gevonden te zijn. Hierdoor kunnen geen uitspraken gedaan worden over de onderlinge relaties. Eén van de oorzaken is het hebben van een te beperkte dataset (slechts 12 vluchten, 3 maanden registratie van het olieconsumptie). Daarnaast is geen relatie aanwezig tussen het olieconsumptie en het jaar van de indienstname (airframe leeftijd), omdat in het onderhoudsregime de motoren los gezien worden van het airframe. De directe relatie tussen het aantal draaiuren van de motoren en de airframe leeftijd staan dus los van elkaar.

## 7 Conclusies

In het kader van het onderzoek naar de aanwezigheid en concentratie van TCP isomeren in de cockpits van KLM Boeing 737 toestellen tijdens normale operationele condities, is de opdracht geformuleerd om inzicht te krijgen op de volgende onderzoeksvragen.

- Identificeren en kwantificeren van TCP isomeren in de cockpitlucht van KLM Boeing737 toestellen tijdens normale operationele condities.
- Identificeren en kwantificeren van TCP isomeren in de cockpitlucht van KLM Boeing 737 toestellen op een opstelplaats, bij inschakeling van alléén de Auxiliary Power Unit (APU).
- Het identificeren en kwantificeren van de volgende vijf TCP isomeren:
  - tri(o,o,o)cresylfosfaat, (T(o,o,o)CP),
  - tri(m,m,m)cresylfosfaat, (T(m,m,m)CP),
  - tri(m,m,p)cresylfosfaat, (T(m,m,p)CP),
  - tri(m,p,p)cresylfosfaat, (T(m,p,p)CP),
  - tri(p,p,p)cresylfosfaat, (T(p,p,p)CP).

Uit de resultaten van het onderzoek kunnen de volgende 22 conclusies worden getrokken.

### Algemeen:

- 1) TNO heeft naar eigen zicht en kunde het onderzoek onafhankelijk en ongehinderd kunnen uitvoeren.
- 2) Op basis van (zintuigelijke) waarnemingen kan gesteld worden dat bij geen enkele meetvlucht fume events of andere bijzonderheden, noch operationele verstoringen hebben plaatsgevonden.

### TCP in de toegepaste olie:

- 3) BP Turbo Oil 2197 en 2380 bevatten vier van de vijf onderzochte TCP isomeren, te weten tri(m,m,m)cresylfosfaat, tri(m,m,p)cresylfosfaat, tri(m,p,p)cresylfosfaat, en tri(p,p,p)cresylfosfaat.
- 4) De chromatogrammen van de beide oliën vertonen naast de vier pieken van de aangetoonde isomeren, géén andere pieken die op basis van massa zouden kunnen duiden op aanwezigheid van andere TCP isomeren.
- 5) Het vastgestelde massapercentage van TCP in het aangeleverde monster BP-2197 bedroeg 1,7%. Deze waarde komt overeen met hetgeen BP in de datasheet vermeldt: 1 - 2,5%.
- 6) Het vastgestelde massapercentage TCP in het aangeleverde monster BP-2380 bedroeg 2,6%. Deze waarde komt overeen met hetgeen BP in de datasheet vermeldt: 2,5 < 3%.

### TCP in de cockpitlucht:

- 7) Van de in totaal 80 luchtmetingen werden in 43 metingen géén meetbare concentraties aan TCP in de lucht aangetroffen.
- 8) Van de in totaal 80 luchtmetingen werden in 37 metingen concentraties aan TCP isomeren in de lucht gevonden.
- 9) In het geval waarden werden gevonden varieerde de som TCP isomeren, in de lucht van de cockpit van de laagst bepaalde waarde van 0,5 ng/m<sup>3</sup> tot



de hoogst bepaalde waarde van  $155 \text{ ng/m}^3$  (met een gemiddelde over alle vluchten van  $6,9 \text{ ng/m}^3$ ).

- 10) Gedurende klim- en daalvlucht werden hogere concentraties aan TCP isomeren waargenomen dan tijdens kruisvlucht.
- 11) De gemeten waarden van de TCP isomeren bij alléén APU operatie op de VOP liggen allen beneden de detectiegrens van de toegepaste analysemethode.

#### TCP in veegmonsters:

- 12) De gemeten waarden van de som TCP isomeren in de veegmonsters varieerde van minimaal  $0,01$  tot maximaal  $0,06 \text{ ng/cm}^2$ . Hiermee werd bevestigd dat de onderzochte stoffen neerslaan op het glareshield.

#### Correlaties:

- 13) De samenstelling van de TCP isomeren in de veegmonsters correleren met de TCP isomeersamenstelling in de luchtmonsters.
- 14) De samenstelling van de veeg- en luchtmonsters vertonen een lage correlatie met samenstelling van de ongebruikte motorolie (BP-2197).
- 15) De samenstelling van de veeg- en luchtmonsters correleert met samenstelling van de gebruikte motorolie (BP-2197).
- 16) De samenstelling van de veeg- en luchtmonsters vertonen een hoge correlatie met de ongebruikte APU-olie (BP-2380).

#### Triorthocresylfosfaat:

- 17) In de BP Turbo Oil 2197 (hoofdmotoren) is triorthocresylfosfaat, T(o,o,o)CP, niet in een concentratie boven de detectiegrens van de toegepaste analysemethode is aangetroffen.
- 18) In de BP Turbo Oil 2380 (APU) is triorthocresylfosfaat, T(o,o,o,)CP, niet in een concentratie boven de detectiegrens van de toegepaste analysemethode is aangetroffen
- 19) In de luchtmonsters is triorthocresylfosfaat, T(o,o,o)CP, niet in een concentratie boven de detectiegrens van de toegepaste analysemethode is aangetroffen.
- 20) In de veegmonsters is triorthocresylfosfaat, T(o,o,o)CP, niet in een concentratie boven de detectiegrens van de toegepaste analysemethode is aangetroffen.

#### Overig:

- 21) Het is aannemelijk dat de emissie in de cockpit van deeltjes welke TCP-isomeren kunnen bevatten discontinu was. Dit fenomeen dient nader bestudeerd te worden.
- 22) Door een te beperkte dataset is er geen correlatiebepaling mogelijk voor:
  - a. Olieverbruik en TCP concentratie;
  - b. Olieverbruik en motordraaiuren;
  - c. TCP concentratie en jaar in dienst name toestel;
  - d. TCP concentratie en motordraaiuren.

## 8 Literatuur

1. Rechtbank\_Amsterdam, *Vonnis in kort geding van 18 september 2013*, in *zaak C/13/547894 / KG ZA 13-1016 HJ/PV2013*, de Rechtbank: Amsterdam.
2. Makarem-Akhlaghi, A.H. and M.M.G. Houtzager, *De bepaling van organofosfaatesters (OPE's) in luchtmonsters m.b.v. ASE extractie en GCMS*, 2013, TNO-AEC: Utrecht.
3. Anoniem, *4536 manual*, 2009, Alcol Precision aviation products: San Antonio: [http://www.alcorinc.com/images/products/4536\\_manual.pdf](http://www.alcorinc.com/images/products/4536_manual.pdf).
4. Smith, M., *Aviation Fuels*, ed. I. 978-0854290925. Vol. ISBN 978-0854290925. 1970, Henley-on-Thames: G.T. Foulis & Co Ltd, ISBN 978-0854290925.
5. Anoniem, *TCP Fuel Treatment*, 2013, Alcol Precision aviation products: San Antonio: <http://www.alcorinc.com/index.php/products/tcp-fuel-additive-qt/>.
6. Havermans, J.B.G.A., M.J.H. Houtzager, and P. Jacobs, *incident response monitoring technologies for aircraft cabin*. Submitted and accepted by ASHRAE Transactions, 2013.
7. Murawski, J. and C. Witkowski, *Comments on Aircraft Air Quality*, A.-C. National Research Council Committee on Air Quality in Passenger Cabins of Commercial Aircraft. Association of Flight Attendants, Editor 2001.
8. van Netten, C., *Multi-elemental analysis of jet engine lubricating oils and hydraulic fluids and their implication in aircraft air quality incidents*. Science of the Total Environment, 1999. 229(1): p. 125-129.
9. Walkinshaw, D.S., *Passenger aircraft ventilation system design challenges and solutions*, 2005, Indoor Air Technologies Inc.
10. Crump, D., P. Harrison, and C. Walton, *Aircraft Cabin Air Sampling Study*, in *Part 1 of the Final Report 2011*, Cranfield University, Cranfield Ref No YE29016V: Cranfield, UK.
11. Lamb, J., et al., *Cabin Air – surface residue study report*, 2012, Institute of Occupational Medicine, report TM/11/06: Edinburgh.
12. Rosenberger, S., S. Netz-Piepenbrink, and R. Wrbitzky, *Untersuchungen zum Vorkommen von Mono- und Diortho-Trikresylphosphaten in der Innerraumlufth von Flugzeugen*. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft, 2013. 4: p. 73.
13. Bäckstrand, J. and S. Christensen, *Incident on 2 February 2012 involving the aircraft SE-DSX after take-off from Bromma Airport, Stockholm County*, in *Final Report RL 213 10e2013*, SHK, Statens haverikommission: Stockholm, Sweden.
14. Solbu, K., et al., *Organophosphates in aircraft cabin and cockpit air – method development and measurements of contaminants*. Journal of Environmental Monitoring, 2011. 13: p. 1393-1403.
15. BP2197, *Veiligheidsinformatieblad BP Turbo Oil 2197 (452218-US08)*, in [http://msdspds.bp.com/usds/amersdsf.nsf/Files/5B161A378A7C8C9580257C0700527B80/\\$File/242540BP%20Turbo%20Oil%202197.pdf](http://msdspds.bp.com/usds/amersdsf.nsf/Files/5B161A378A7C8C9580257C0700527B80/$File/242540BP%20Turbo%20Oil%202197.pdf), B. Smeermiddelen, Editor 2013: Rotterdam.
16. BP2380, *Veiligheidsinformatieblad BP Turbo Oil 2380 (452219-US08)*, in [http://msdspds.bp.com/usds/amersdsf.nsf/Files/DF2154FAD6B4C8D080257C07005279AA/\\$File/242523BP%20Turbo%20Oil%202380.pdf](http://msdspds.bp.com/usds/amersdsf.nsf/Files/DF2154FAD6B4C8D080257C07005279AA/$File/242523BP%20Turbo%20Oil%202380.pdf), B. Smeermiddelen, Editor 2013: Rotterdam.
17. anoniem, *737-600/-700/-800/-900 Operations Manual*, in *Document Number D6-27370-TBC2002*, The Boeing Company: Chicago, Illinois.

18. OSHA. *Chemical Sampling Information - Triorthocresyl Phosphate*. 2013 6 decemberf 2013]; Available from: <http://www.osha.gov/index.html>.
19. IFA. *Gefahrstoffdatenbanken*. 2013 [cited 2013; Available from: <http://www.dguv.de/ifa/Gefahrstoffdatenbanken/Expositionsdatenbank-MEGA/index.jsp>.
20. NEN, *NEN 7777+C1:2012 nl in Milieu en voedingsmiddelen - Prestatiekenmerken van meetmethoden*2011, Nederlandse Normalisatie Instituut: Delft.

## 9 Verantwoording en ondertekening

Naam en adres van de opdrachtgever:

KLM Flight Operations  
T.a.v. De heer B. De Vries  
Amsterdamseweg 55  
1182 GP Amstelveen

Dit rapport kwam tot stand met medewerking van:

Drs. R.J. Van Delft (Applied Environmental Chemistry)  
Ing. J.A.D. van Renesse Van Duivenbode (Applied Environmental Chemistry)  
Mw. Ing. W.C. Hijman (Applied Environmental Chemistry)  
Mw. Ing. H. Makarem Akhlaghi (Applied Environmental Chemistry)

Periode waarin het onderzoek heeft plaatsgehad:

Oktober - december 2013

Drs. ing. J.G.H. Bos  
Tweede lezer

Ondertekening:

Autorisatie vrijgave:

~~Ing. M. M.G. Houtzager~~  
Projectleider

~~Dr. L.A. van de Kuil~~  
Researched Manager

## Bijlage 1 Detectiegrenzen

Tabel 1 Minimale (min) en maximale (max) berekende detectielimieten afzonderlijke TCP isomeren voor de verschillende gemeten tijdframes van de vluchten en de APU metingen. Deze detectielimiet is afhankelijk van het volume lucht dat is bemonsterd.

Omschrijving Eenheid	Detectielimieten van de gekozen tijdframes								APU metingen	
	Start tot TOC		Kruishoogte		TOD tot stop		Totale vlucht		min ng/m <sup>3</sup>	max ng/m <sup>3</sup>
	min ng/m <sup>3</sup>	max ng/m <sup>3</sup>	min ng/m <sup>3</sup>	max ng/m <sup>3</sup>	min ng/m <sup>3</sup>	max ng/m <sup>3</sup>	min ng/m <sup>3</sup>	max ng/m <sup>3</sup>		
Tri (o,o,o)-cresylfosfaat	1,2	4,0	0,5	2,6	1,4	5,0	0,30	0,75	1,9	2,1
Tri (m,m,m)-cresylfosfaat	1,1	3,7	0,46	2,4	1,3	4,6	0,28	0,70	1,7	2,0
Tri(m,m,p)-cresylfosfaat	0,42	1,4	0,17	0,91	0,48	1,7	0,11	0,26	0,65	0,74
Tri(m,p,p)-cresylfosfaat	0,85	2,8	0,35	1,9	0,98	3,5	0,21	0,53	1,3	1,5
Tri(p,p,p)-cresylfosfaat	1,8	6,1	0,75	4,0	2,1	7,6	0,46	1,1	2,9	3,2

## Bijlage 2 Resultaten Luchtmetingen

Tabel 1 Resultaten luchtmetingen 1575/ATH, PH-BXM-800, 21-10-2013

Code TNO	13185-20	13185-21	13185-22	13185-23
KL/bestemming	1575/Ath	1575/Ath	1575/Ath	1575/Ath
datum	21-10-2013	21-10-2013	21-10-2013	21-10-2013
Registratie	PH-BXM-800	PH-BXM-800	PH-BXM-800	PH-BXM-800
Omschrijving	Start tot TOC	Steady state	TOD tot stop	Totale vlucht
eenheid	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>
Tri (o,o,o,-)cresylfosfaat	<	<	<	<
Tri (m,m,m)-cresylfosfaat	<b>50</b>	<	<b>8,5</b>	<b>0,75</b>
Tri(m,m,p)-cresylfosfaat	<b>61</b>	<b>0,53</b>	<b>9,6</b>	<b>1,0</b>
Tri(m,p,p)-cresylfosfaat	<b>35</b>	<	<b>7,4</b>	<b>1,1</b>
Tri(p,p,p)-cresylfosfaat	<b>9,2</b>	<	<	<
<b>Σ TCP isomeren</b>	<b>155</b>	<b>0,53</b>	<b>25</b>	<b>2,9</b>

(<: gemeten waarde is kleiner dan de detectielimiet)

Tabel 2 Resultaten luchtmetingen 1576/AMS, PH-BXM-800, 21-10-2013

Code TNO	13185-26	13185-27	13185-28	13185-29
KL/bestemming	1576/AMS	1576/AMS	1576/AMS	1576/AMS
datum	21-10-2013	21-10-2013	21-10-2013	21-10-2013
Registratie	PH-BXM-800	PH-BXM-800	PH-BXM-800	PH-BXM-800
Omschrijving	Start tot TOC	Steady state	TOD tot stop	Totale vlucht
eenheid	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>
Tri (o,o,o,-)cresylfosfaat	<	<	<	<
Tri (m,m,m)-cresylfosfaat	<	<	<	<
Tri(m,m,p)-cresylfosfaat	<b>3,1</b>	0,55	<b>1,4</b>	<b>0,27</b>
Tri(m,p,p)-cresylfosfaat	<	<	<	<
Tri(p,p,p)-cresylfosfaat	<	<	<	<
<b>Σ TCP isomeren</b>	<b>3,1</b>	<b>0,55</b>	<b>1,4</b>	<b>0,27</b>

(<: gemeten waarde is kleiner dan de detectielimiet)

Tabel 3 Resultaten luchtmetingen 1373/OTP, PH-BGG-700, 25-10-2013

Code TNO	52013185-33	52013185-34	52013185-35	52013185-36
KL/bestemming	1373/OTP	1373/OTP	1373/OTP	1373/OTP
datum	25-oct-2013	25-oct-2013	25-oct-2013	25-oct-2013
Registratie	PH-BGG-700	PH-BGG-700	PH-BGG-700	PH-BGG-700
Omschrijving	Start tot TOC	Steady state	TOD tot stop	Totale vlucht
Eenheid	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>
Tri (o,o,o,)-cresylfosfaat	<	<	<	<
Tri (m,m,m)-cresylfosfaat	<	<b>0,89</b>	<	<
Tri(m,m,p)-cresylfosfaat	<	<b>1,2</b>	<	<
Tri(m,p,p)-cresylfosfaat	<	<b>0,86</b>	<	<
Tri(p,p,p)-cresylfosfaat	<	<	<	<
<b>Σ TCP isomeren</b>	<	<b>2,9</b>	<	<

(&lt;: gemeten waarde is kleiner dan de detectielimiet)

Tabel 4 Resultaten luchtmetingen 1374/AMS, PH-BGG-700, 25-10-2013

Code TNO	52013185-39	52013185-40	52013185-41	52013185-42
KL/bestemming	1374/AMS	1374/AMS	1374/AMS	1374/AMS
datum	25-oct-2013	25-oct-2013	25-oct-2013	25-oct-2013
Registratie	PH-BGG-700	PH-BGG-700	PH-BGG-700	PH-BGG-700
Omschrijving	Start tot TOC	Steady state	TOD tot stop	Totale vlucht
Eenheid	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>
Tri (o,o,o,)-cresylfosfaat	<	<	<	<
Tri (m,m,m)-cresylfosfaat	<	<	<	<
Tri(m,m,p)-cresylfosfaat	<	<	<b>0,84</b>	<b>0,65</b>
Tri(m,p,p)-cresylfosfaat	<	<	<b>1,4</b>	<b>0,62</b>
Tri(p,p,p)-cresylfosfaat	<	<	<	<
<b>Σ TCP isomeren</b>	<	<	<b>2,2</b>	<b>1,3</b>

(&lt;: gemeten waarde is kleiner dan de detectielimiet)

Tabel 5 Resultaten luchtmetingen 1575/ATH, PH-BXU-800, 28-10-2013

Code TNO	52013185-46	52013185-47	52013185-48	52013185-49
KL/bestemming	KL1575/ATH	KL1575/ATH	KL1575/ATH	KL1575/ATH
datum	28-10-2013	28-10-2013	28-10-2013	28-10-2013
Registratie	PH-BXU-800	PH-BXU-800	PH-BXU-800	PH-BXU-800
Omschrijving	Start tot TOC	Steady state	TOD tot stop	Totale vlucht
Eenheid	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>
Tri (o,o,o,)-cresylfosfaat	<	<	<	<
Tri (m,m,m)-cresylfosfaat	<	<b>1,2</b>	<	<
Tri(m,m,p)-cresylfosfaat	<b>3,2</b>	<b>2,4</b>	<b>4,0</b>	<b>0,34</b>
Tri(m,p,p)-cresylfosfaat	<b>1,4</b>	<b>1,6</b>	<b>3,8</b>	<b>0,25</b>
Tri(p,p,p)-cresylfosfaat	<	<	<	<
<b>Σ TCP isomeren</b>	<b>4,6</b>	<b>5,2</b>	<b>7,8</b>	<b>0,59</b>

(&lt;: gemeten waarde is kleiner dan de detectielimiet)

Tabel 6 Resultaten luchtmetingen 1576/AMS, PH-BXU-800, 28-10-2013

Code TNO	52013185-52	52013185-53	52013185-54	52013185-55
KL/bestemming	KL1576/AMS	KL1576/AMS	KL1576/AMS	KL1576/AMS
datum	28-10-2013	28-10-2013	28-10-2013	28-10-2013
Registratie	PH-BXU-800	PH-BXU-800	PH-BXU-800	PH-BXU-800
Omschrijving	Start tot TOC	Steady state	TOD tot stop	Totale vlucht
eenheid	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>
Tri (o,o,o,)-cresylfosfaat	<	<	<	<
Tri (m,m,m)-cresylfosfaat	<	<	<	<
Tri(m,m,p)-cresylfosfaat	<	<	<b>2,4</b>	<b>0,68</b>
Tri(m,p,p)-cresylfosfaat	<	<	<b>1,8</b>	<
Tri(p,p,p)-cresylfosfaat	<	<	<	<
Σ TCP isomeren	<	<	<b>4,2</b>	<b>0,68</b>

(&lt;: gemeten waarde is kleiner dan de detectielimiet)

Tabel 7 Resultaten luchtmetingen 1575/ATH, PH-BXR-900, 30-10-2013

Code TNO	52013185-59	52013185-60	52013185-61	52013185-62
KL/bestemming	KL1575/ATH	KL1575/ATH	KL1575/ATH	KL1575/ATH
datum	30-oct-2013	30-oct-2013	30-oct-2013	30-oct-2013
Registratie	PH-BXR-900	PH-BXR-900	PH-BXR-900	PH-BXR-900
Omschrijving	Start tot TOC	Steady state	TOD tot stop	Totale vlucht
Eenheid	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>
Tri (o,o,o,)-cresylfosfaat	<	<	<	<
Tri (m,m,m)-cresylfosfaat	<	<b>4,4</b>	<b>17</b>	<
Tri(m,m,p)-cresylfosfaat	<b>2,8</b>	<b>8,0</b>	<b>22</b>	<
Tri(m,p,p)-cresylfosfaat	<b>4,4</b>	<b>4,9</b>	<b>27</b>	<
Tri(p,p,p)-cresylfosfaat	<	<	<	<
Σ TCP isomeren	7,2	17	66	<

(&lt;: gemeten waarde is kleiner dan de detectielimiet)

Tabel 8 Resultaten luchtmetingen 1576/AMS, PH-BXR-900, 30-10-2013

Code TNO	52013185-65	52013185-66	52013185-67	52013185-68 tube
KL/bestemming	1576/AMS	1576/AMS	1576/AMS	1576/AMS
datum	30-oct-2013	30-oct-2013	30-oct-2013	30-oct-2013
Registratie	PH-BXR-900	PH-BXR-900	PH-BXR-900	PH-BXR-900
Omschrijving	Start tot TOC	Steady state	TOD tot stop	Totale vlucht
eenheid	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>
Tri (o,o,o,)-cresylfosfaat	<	<	<	<
Tri (m,m,m)-cresylfosfaat	<	<	<	<
Tri(m,m,p)-cresylfosfaat	<b>1,4</b>	<	<	<
Tri(m,p,p)-cresylfosfaat	<b>7,4</b>	<	<	<
Tri(p,p,p)-cresylfosfaat	<	<	<	<
Σ TCP isomeren	<b>8,8</b>	<	<	<

(&lt;: gemeten waarde is kleiner dan de detectielimiet)



Tabel 9 Resultaten luchtmetingen 1575/ATH, PH-BXN-800, 31-10-2013

Code TNO	52013185-72	52013185-73	52013185-74	52013185-75 tube
KL/bestemming	KL1575 ATH	KL1575 ATH	KL1575 ATH	KL1575 ATH
datum	31-10-2013	31-10-2013	31-10-2013	31-10-2013
Registratie	PH-BXN-800	PH-BXN-800	PH-BXN-800	PH-BXN-800
Omschrijving	Start tot TOC	Steady state	TOD tot stop	Totale vlucht
Eenheid	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>
Tri (o,o,o,)-cresylfosfaat	<	<	<	<
Tri (m,m,m)-cresylfosfaat	<	<	<	<
Tri(m,m,p)-cresylfosfaat	<b>1,9</b>	<b>0,78</b>	<	<
Tri(m,p,p)-cresylfosfaat	<	<	<	<
Tri(p,p,p)-cresylfosfaat	<	<	<	<
<b>Σ TCP isomeren</b>	<b>1,9</b>	<b>0,78</b>	<	<

(&lt;: gemeten waarde is kleiner dan de detectielimiet)

Tabel 10 Resultaten luchtmetingen 1576/AMS, PH-BXN-800, 31-10-2013

Code TNO	52013185-78	52013185-79	52013185-80	52013185-81
KL/bestemming	KL1576/AMS	KL1576/AMS	KL1576/AMS	KL1576/AMS
datum	31-10-2013	31-10-2013	31-10-2013	31-10-2013
Registratie	PH-BXN-800	PH-BXN-800	PH-BXN-800	PH-BXN-800
Omschrijving	Start tot TOC	Steady state	TOD tot stop	Totale vlucht
eenheid	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>
Tri (o,o,o,)-cresylfosfaat	<	<	<	<
Tri (m,m,m)-cresylfosfaat	<	<	<	<b>1,8</b>
Tri(m,m,p)-cresylfosfaat	<	<	<	<b>3,5</b>
Tri(m,p,p)-cresylfosfaat	<	<	<	<b>2,3</b>
Tri(p,p,p)-cresylfosfaat	<	<	<	<
<b>Σ TCP isomeren</b>	<	<	<	<b>7,7</b>

(&lt;: gemeten waarde is kleiner dan de detectielimiet)

Tabel 11 Resultaten luchtmetingen 1699/MAD, PH-BGD-700, 02-11-2013

Code TNO	52013185-85	52013185-86	52013185-87	52013185-88
KL/bestemming	KL1699/MAD	KL1699/MAD	KL1699/MAD	KL1699/MAD
datum	2-nov-13	2-nov-13	2-nov-13	2-nov-13
Registratie	PH-BGD-700	PH-BGD-700	PH-BGD-700	PH-BGD-700
Omschrijving	Start tot TOC	Steady state	TOD tot stop	Totale vlucht
Eenheid	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>
Tri (o,o,o,)-cresylfosfaat	<	<	<	<
Tri (m,m,m)-cresylfosfaat	<	1,9	6,3	2,9
Tri(m,m,p)-cresylfosfaat	<	3,7	10	5,3
Tri(m,p,p)-cresylfosfaat	<	1,6	6,0	3,1
Tri(p,p,p)-cresylfosfaat	<	<	<	0,50
<b>Σ TCP isomeren</b>	<	<b>7,2</b>	<b>22</b>	<b>12</b>

(&lt;: gemeten waarde is kleiner dan de detectielimiet)

Tabel 12 Resultaten luchtmetingen 1700/AMS, PH-BGD-700, 02-11-2013

Code TNO	52013185-91	52013185-92	52013185-93	52013185-94
KL/bestemming	KL1700/AMS	KL1700/AMS	KL1700/AMS	KL1700/AMS
datum	2-nov-13	2-nov-13	2-nov-13	2-nov-13
Registratie	PH-BGD-700	PH-BGD-700	PH-BGD-700	PH-BGD-700
Omschrijving	Start tot TOC	Steady state	TOD tot stop	Totale vlucht
Eenheid	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>
Tri (o,o,o,-)cresylfosfaat	<	<	<	<
Tri (m,m,m)-cresylfosfaat	3,7	1,7	<	0,87
Tri(m,m,p)-cresylfosfaat	8,2	3,2	1,3	2,61
Tri(m,p,p)-cresylfosfaat	4,1	2,1	<	1,72
Tri(p,p,p)-cresylfosfaat	<	<	<	<
Σ TCP isomeren	16	7,0	1,3	5,2

(&lt;: gemeten waarde is kleiner dan de detectielimiet)

Tabel 13 Resultaten luchtmetingen 1575/ATH, PH-BXP-900, 04-11-2013

Code TNO	52013185-98	52013185-99	52013185-100	52013185-101
KL/bestemming	KL1575 ATH	KL1575 ATH	KL1575 ATH	KL1575 ATH
datum	4-11-2013	4-11-2013	4-11-2013	4-11-2013
Registratie	PH-BXP-900	PH-BXP-900	PH-BXP-900	PH-BXP-900
Omschrijving	Start tot TOC	Steady state	TOD tot stop	Totale vlucht
Eenheid	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>
Tri (o,o,o,-)cresylfosfaat	<2,1	<0,59	<2,5	<0,42
Tri (m,m,m)-cresylfosfaat	<2,0	<0,55	<b>3,1</b>	<0,39
Tri(m,m,p)-cresylfosfaat	<0,73	<0,20	<b>4,8</b>	<0,14
Tri(m,p,p)-cresylfosfaat	<1,5	<0,42	<b>2,8</b>	<0,30
Tri(p,p,p)-cresylfosfaat	<3,2	<0,90	<3,9	<0,64
Σ TCP isomeren	<	<	<b>11</b>	<

(&lt;: gemeten waarde is kleiner dan de detectielimiet)

Tabel 14 Resultaten luchtmetingen 1576/AMS, PH-BXP-900, 04-11-2013

Code TNO	52013185-104	52013185-105	52013185-106	52013185-107
KL/bestemming	KL1576/AMS	KL1576/AMS	KL1576/AMS	KL1576/AMS
datum	4-11-2013	4-11-2013	4-11-2013	4-11-2013
Registratie	PH-BXP-900	PH-BXP-900	PH-BXP-900	PH-BXP-900
Omschrijving	Start tot TOC	Steady state	TOD tot stop	Totale vlucht
eenheid	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>
Tri (o,o,o,-)cresylfosfaat	<2,2	<0,57	<2,1	<0,39
Tri (m,m,m)-cresylfosfaat	<2,0	<0,53	<1,9	<0,36
Tri(m,m,p)-cresylfosfaat	<b>1,8</b>	<0,19	<0,72	<0,13
Tri(m,p,p)-cresylfosfaat	<1,6	<0,40	<1,5	<0,28
Tri(p,p,p)-cresylfosfaat	<3,3	<0,86	<3,2	<0,59
Σ TCP isomeren	<b>1,8</b>	<	<	<

(&lt;: gemeten waarde is kleiner dan de detectielimiet)

Tabel 15 Resultaten luchtmetingen 1575/ATH, PH-BGF-700, 06-11-2013

Code TNO	52013185-111	52013185-112	52013185-113	52013185-114
KL/bestemming	KL 1575 /ATH	KL 1575 /ATH	KL 1575 /ATH	KL 1575 /ATH
datum	6-nov-13	6-nov-13	6-nov-13	6-nov-13
Registratie	PH-BGF-700	PH-BGF-700	PH-BGF-700	PH-BGF-700
Omschrijving	Start tot TOC	Steady state	TOD tot stop	Totale vlucht
Eenheid	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>
Tri (o,o,o,-)cresylfosfaat	<	<	<	<
Tri (m,m,m)-cresylfosfaat	<	<	<	<
Tri(m,m,p)-cresylfosfaat	<	<	<	<
Tri(m,p,p)-cresylfosfaat	<	<	<	<
Tri(p,p,p)-cresylfosfaat	<	<	<	<
Σ TCP isomeren	<	<	<	<

(&lt;: gemeten waarde is kleiner dan de detectielimiet)

Tabel 16 Resultaten luchtmetingen 1576/AMS, PH-BGF-700, 06-11-2013

Code TNO	52013185-117	52013185-118	52013185-119	52013185-120
KL/bestemming	KL 1576 /AMS	KL 1576 /AMS	KL 1576 /AMS	KL 1576 /AMS
datum	6-nov-13	6-nov-13	6-nov-13	6-nov-13
Registratie	PH-BGF-700	PH-BGF-700	PH-BGF-700	PH-BGF-700
Omschrijving	Start tot TOC	Steady state	TOD tot stop	Totale vlucht
Eenheid	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>
Tri (o,o,o,-)cresylfosfaat	<	<	<	<
Tri (m,m,m)-cresylfosfaat	<	<	<	<
Tri(m,m,p)-cresylfosfaat	<	<	<	<
Tri(m,p,p)-cresylfosfaat	<	<	<	<
Tri(p,p,p)-cresylfosfaat	<	<	<	<
Σ TCP isomeren	<	<	<	<

(&lt;: gemeten waarde is kleiner dan de detectielimiet)

Tabel 17 Resultaten luchtmetingen 1141/OSL, PH-BGE-700, 09-11-2013

Code TNO	52013185-124	52013185-125	52013185-126	52013185-127
KL/bestemming	KL1141/OSL	KL1141/OSL	KL1141/OSL	KL1141/OSL
datum	9-11-2013	9-11-2013	9-11-2013	9-11-2013
Registratie	PH-BGE-700	PH-BGE-700	PH-BGE-700	PH-BGE-700
Omschrijving	Start tot TOC	Steady state	TOD tot stop	Totale vlucht
Eenheid	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>
Tri (o,o,o,-)cresylfosfaat	<	<	<	<
Tri (m,m,m)-cresylfosfaat	<	<	<	<
Tri(m,m,p)-cresylfosfaat	<	<	<	<
Tri(m,p,p)-cresylfosfaat	<	<	<	<
Tri(p,p,p)-cresylfosfaat	<	<	<	<
Σ TCP isomeren	<	<	<	<

(&lt;: gemeten waarde is kleiner dan de detectielimiet)

Tabel 18 Resultaten luchtmetingen 1142/AMS, PH-BGE-700, 09-11-2013

Code TNO	52013185-130	52013185-131	52013185-132	52013185-133
KL/bestemming	KL1142/AMS	KL1142/AMS	KL1142/AMS	KL1142/AMS
datum	9-11-2013	9-11-2013	9-11-2013	9-11-2013
Registratie	PH-BGE-700	PH-BGE-700	PH-BGE-700	PH-BGE-700
Omschrijving	Start tot TOC	Steady state	TOD tot stop	Totale vlucht
eenheid	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>
Tri (o,o,o,-)cresylfosfaat	<	<	<	<
Tri (m,m,m)-cresylfosfaat	<	<	<	<
Tri(m,m,p)-cresylfosfaat	<	<	<	<
Tri(m,p,p)-cresylfosfaat	<	<	<	<
Tri(p,p,p)-cresylfosfaat	<	<	<	<
Σ TCP isomeren	<	<	<	<

(&lt;: gemeten waarde is kleiner dan de detectielimiet)

Tabel 19 Resultaten luchtmetingen KL1597/FCO, PH-BXT-900, 14-11-2013

Code TNO	52013185-137	52013185-138	52013185-139	52013185-140
KL/bestemming	KL1597/FCO	KL1597/FCO	KL1597/FCO	KL1597/FCO
datum	14-11-2013	14-11-2013	14-11-2013	14-11-2013
Registratie	PH-BXT-900	PH-BXT-900	PH-BXT-900	PH-BXT-900
Omschrijving	Start tot TOC	Steady state	TOD tot stop	Totale vlucht
Eenheid	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>
Tri (o,o,o,-)cresylfosfaat	<	<	<	<
Tri (m,m,m)-cresylfosfaat	<	<	<	<b>8,1</b>
Tri(m,m,p)-cresylfosfaat	<	<	<	<b>13</b>
Tri(m,p,p)-cresylfosfaat	<	<	<	<b>8,2</b>
Tri(p,p,p)-cresylfosfaat	<	<	<	<b>2,2</b>
Σ TCP isomeren	<	<	<	<b>32</b>

(&lt;: gemeten waarde is kleiner dan de detectielimiet)

Tabel 20 Resultaten luchtmetingen KL1598/AMS, PH-BXT-900, 14-11-2013

Code TNO	52013185-143	52013185-144	52013185-145	52013185-146
KL/bestemming	KL1598/AMS	KL1598/AMS	KL1598/AMS	KL1598/AMS
datum	14-11-2013	14-11-2013	14-11-2013	14-11-2013
Registratie	PH-BXT-900	PH-BXT-900	PH-BXT-900	PH-BXT-900
Omschrijving	Start tot TOC	Steady state	TOD tot stop	Totale vlucht
eenheid	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>	ng/m <sup>3</sup>
Tri (o,o,o,-)cresylfosfaat	<	<	<	<
Tri (m,m,m)-cresylfosfaat	<	<	<	<
Tri(m,m,p)-cresylfosfaat	<	<b>0,80</b>	<b>2,2</b>	<
Tri(m,p,p)-cresylfosfaat	<	<	<b>2,1</b>	<
Tri(p,p,p)-cresylfosfaat	<	<	<	<
Σ TCP isomeren	<	<b>0,80</b>	<b>4,3</b>	<

(&lt;: gemeten waarde is kleiner dan de detectielimiet)

## Bijlage 3 Resultaten veegmonsters

Tabel 1 Resultaten veegmonsters 1575/76 ATH, AMS, PH-BXM-800, 21-10-2013

Code TNO	52013185-25	52013185-31
KL/bestemming	KL1575/ ATH	KL1576/AMS
Datum	21-oct-13	21-oct-13
Registratie	PH-BXM-800	PH-BXM-800
Omschrijving	voor de vlucht	na de vlucht
Eenheid	ng/cm <sup>2</sup>	ng/cm <sup>2</sup>
Tri (o,o,o,-)cresylfosfaat	<	<
Tri (m,m,m)-cresylfosfaat	0,017	0,022
Tri(m,m,p)-cresylfosfaat	0,022	0,030
Tri(m,p,p)-cresylfosfaat	0,013	0,020
Tri(p,p,p)-cresylfosfaat	0,003	0,005
Σ TCP isomeren	0,054	0,076

(<: gemeten waarde is kleiner dan de detectielimiet)

Tabel 2 Resultaten luchtmetingen 1373/74 OTP, AMS, PH-BGG-700, 25-10-2013

Code TNO	52013185-38	52013185-44
KL/bestemming	KL1373/OTP	KL1374/AMS
datum	25-oct-2013	25-oct-2013
Registratie	PH-BGG-700	PH-BGG-700
Omschrijving	voor de vlucht	na de vlucht
eenheid	ng/cm <sup>2</sup>	ng/cm <sup>2</sup>
Tri (o,o,o,-)cresylfosfaat	<	** niet bemonsterd
Tri (m,m,m)-cresylfosfaat	0,007	
Tri(m,m,p)-cresylfosfaat	0,010	
Tri(m,p,p)-cresylfosfaat	0,006	
Tri(p,p,p)-cresylfosfaat	<	
Σ TCP isomeren	0,023	

(<: gemeten waarde is kleiner dan de detectielimiet)

\*\* Terugvlucht is niet bemonsterd, door snelle wisseling crew waren meetkoffers inmiddels van boord

Tabel 3 Resultaten veegmonsters 1575/76 ATH, AMS, PH-BXU-800, 28-10-2013

Code TNO	52013185-51	52013185-57
KL/bestemming	KL1575/ATH	KL1576/AMS
datum	28-okt-13	28-okt-13
Registratie	PH-BXU-800	PH-BXU-800
Omschrijving	voor de vlucht	na de vlucht
Eenheid	ng/cm <sup>2</sup>	ng/cm <sup>2</sup>
Tri (o,o,o)-cresylfosfaat	<	<
Tri (m,m,m)-cresylfosfaat	0,008	0,001
Tri(m,m,p)-cresylfosfaat	0,010	0,001
Tri(m,p,p)-cresylfosfaat	0,006	0,001
Tri(p,p,p)-cresylfosfaat	<	<
Σ TCP isomeren	0,023	0,003

(&lt;: gemeten waarde is kleiner dan de detectielimiet)

Tabel 4 Resultaten veegmonsters 1575/76 ATH, AMS, PH-BXR-900, 30-10-2013

Code TNO	52013185-64	52013185-70
KL/bestemming	KL1575/ATH	KL1576/AMS
datum	30-oct-2013	30-oct-2013
Registratie	PH-BXP-900	PH-BXP-900
Omschrijving	voor de vlucht	na de vlucht
Eenheid	ng/cm <sup>2</sup>	ng/cm <sup>2</sup>
Tri (o,o,o)-cresylfosfaat	<	<
Tri (m,m,m)-cresylfosfaat	0,007	0,009
Tri(m,m,p)-cresylfosfaat	0,011	0,015
Tri(m,p,p)-cresylfosfaat	0,008	0,012
Tri(p,p,p)-cresylfosfaat	0,002	0,003
Σ TCP isomeren	0,028	0,039

(&lt;: gemeten waarde is kleiner dan de detectielimiet)

Tabel 5 Resultaten veegmonsters 1575/76 ATH, AMS, PH-BXN-800, 31-10-2013

Code TNO	52013185-77	52013185-83
KL/bestemming	KL1575/ATH	KL1576/AMS
datum	31-okt-13	31-okt-13
Registratie	PH-BXN-800	PH-BXN-800
Omschrijving	voor de vlucht	na de vlucht
Eenheid	ng/cm <sup>2</sup>	ng/cm <sup>2</sup>
Tri (o,o,o)-cresylfosfaat	<	<
Tri (m,m,m)-cresylfosfaat	0,013	0,022
Tri(m,m,p)-cresylfosfaat	0,018	0,030
Tri(m,p,p)-cresylfosfaat	0,010	0,018
Tri(p,p,p)-cresylfosfaat	0,002	0,004
Σ TCP isomeren	0,044	0,074

(&lt;: gemeten waarde is kleiner dan de detectielimiet)

Tabel 6 Resultaten veegmonsters 1699/1700 MAD, AMS, PH-BGD-700, 02-11-2013

Code TNO	52013185-90	52013185-96
KL/bestemming	KL1699/MAD	KL1699/AMS
datum	2-nov-13	2-nov-13
Registratie	PH-BGD-700	PH-BGD-700
Omschrijving	voor de vlucht	na de vlucht
Eenheid	ng/cm <sup>2</sup>	ng/cm <sup>2</sup>
Tri (o,o,o)-cresylfosfaat	<	<
Tri (m,m,m)-cresylfosfaat	0,019	0,014
Tri(m,m,p)-cresylfosfaat	0,027	0,019
Tri(m,p,p)-cresylfosfaat	0,016	0,012
Tri(p,p,p)-cresylfosfaat	0,004	0,003
Σ TCP isomeren	0,066	0,048

(&lt;: gemeten waarde is kleiner dan de detectielimiet)

Tabel 7 Resultaten veegmonsters 1575/76 ATH, AMS, PH-BXP-900, 04-11-2013

Code TNO	52013185-103	52013185-109
KL/bestemming	KL1575/ATH	KL1576/AMS
datum	4-nov-13	4-nov-13
Registratie	PH-BXP-900	PH-BXP-900
Omschrijving	voor de vlucht	na de vlucht
Eenheid	ng/cm <sup>2</sup>	ng/cm <sup>2</sup>
Tri (o,o,o)-cresylfosfaat	<	<
Tri (m,m,m)-cresylfosfaat	0,009	0,022
Tri(m,m,p)-cresylfosfaat	0,013	0,031
Tri(m,p,p)-cresylfosfaat	0,009	0,021
Tri(p,p,p)-cresylfosfaat	0,002	0,005
Σ TCP isomeren	0,032	0,079

(&lt;: gemeten waarde is kleiner dan de detectielimiet)

Tabel 8 Resultaten veegmonsters 1575/76 ATH, AMS, PH-BGF-700, 06-11-2013

Code TNO	52013185-116	52013185-122
KL/bestemming	KL1575/ATH	KL1576/AMS
datum	6-nov-13	6-nov-13
Registratie	PH-BGF-700	PH-BGF-700
Omschrijving	voor de vlucht	na de vlucht
Eenheid	ng/cm <sup>2</sup>	ng/cm <sup>2</sup>
Tri (o,o,o)-cresylfosfaat	<	<
Tri (m,m,m)-cresylfosfaat	0,004	0,003
Tri(m,m,p)-cresylfosfaat	0,007	0,005
Tri(m,p,p)-cresylfosfaat	0,005	0,003
Tri(p,p,p)-cresylfosfaat	0,001	0,001
Σ TCP isomeren	0,017	0,012

(&lt;: gemeten waarde is kleiner dan de detectielimiet)

Tabel 9 Resultaten veegmonsters 1141/42 OSL, AMS PH-BGE-700, 09-11-2013

Code TNO	52013185-129	52013185-135
KL/bestemming	KL1141OSL	KL1142/AMS
datum	9-nov-13	9-nov-13
Registratie	PH-BGE-700	PH-BGE-700
Omschrijving	voor de vlucht	na de vlucht
Eenheid	ng/cm <sup>2</sup>	ng/cm <sup>2</sup>
Tri (o,o,o)-cresylfosfaat	<	<
Tri (m,m,m)-cresylfosfaat	0,006	0,013
Tri(m,m,p)-cresylfosfaat	0,008	0,019
Tri(m,p,p)-cresylfosfaat	0,005	0,011
Tri(p,p,p)-cresylfosfaat	0,001	0,002
Σ TCP isomeren	0,020	0,045

(&lt;: gemeten waarde is kleiner dan de detectielimiet)

Tabel 10 Resultaten veegmonsters 1597/98 FCO, AMS, PH-BXT-900, 14-11-2013

Code TNO	52013185-142	52013185-148
KL/bestemming	KL1597/FCO	KL1598/AMS
datum	14-nov-13	14-nov-13
Registratie	PH-BXT-900	PH-BXT-900
Omschrijving	voor de vlucht	na de vlucht
Eenheid	ng/cm <sup>2</sup>	ng/cm <sup>2</sup>
Tri (o,o,o)-cresylfosfaat	<	<
Tri (m,m,m)-cresylfosfaat	0,013	0,011
Tri(m,m,p)-cresylfosfaat	0,020	0,018
Tri(m,p,p)-cresylfosfaat	0,014	0,013
Tri(p,p,p)-cresylfosfaat	0,003	0,003
Σ TCP isomeren	0,050	0,044

(&lt;: gemeten waarde is kleiner dan de detectielimiet)