

**Ursachen von Verschmutzungen
an Wand-, Gewölbe- und Fensterflächen in der
Pfarrkirche St. Audomar, Kölner Str. 3
in Frechen**

Auftraggeber:	Kath. Kirchengemeinde St. Audomar Herr C. Kastenholz Kölner Str. 3 50226 Frechen
Gegenstand/Objekt:	Pfarrkirche St. Audomar Kölner Str. 3 50226 Frechen
Auftragseingang:	22.3.2011
Ortstermine:	22.03.2011 (Sachverständigentermin) 20.-21.6.2011 (SV-Termin, Probenahme) 26.09.2011 (SV-Termin, Darstellung Luftströmungen)
Messtechniker:	A. Becker
Projekt-Nr.:	11245
Sachverständiger:	Dr. rer.nat. L. Grün
Umfang des Berichtes:	8 Seiten
Anlage:	Prüfbericht 11245-1 bis -4, Video der Nebelausbreitung auf Anlagen-CD

1 Ausgangssituation und Aufgabenstellung

In der Kirche St. Audomar sind außergewöhnliche Verschmutzungen an Wand- und Fensterflächen sowie dem Gewölbe festzustellen. Die Ursachen und Auslöser dieser Verschmutzungen sollten untersucht werden. Die Verschmutzungen sind besonders stark im Bereich der Decken-/Wandübergänge und nehmen mit Verringerung der Höhe ab (s. Abb. 1 und 2).

Abb. 1: Schwarzfärbungen und Verschmutzungen im Seitenschiff (Südseite) vor der Marienkapelle

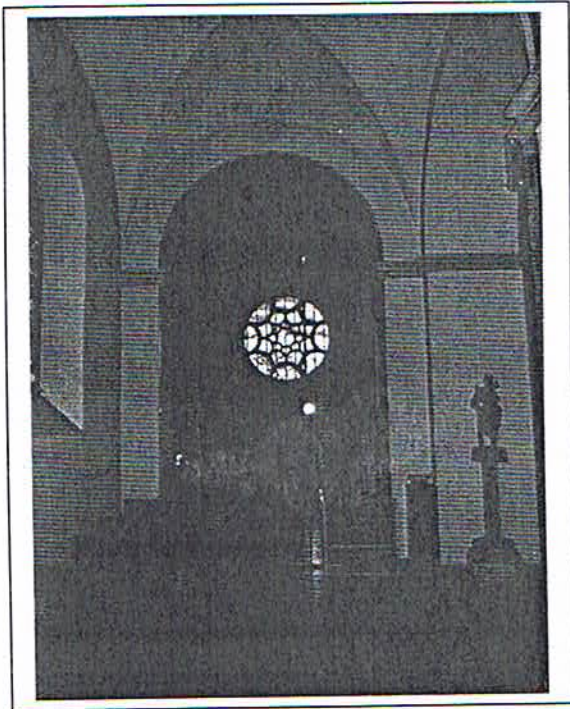
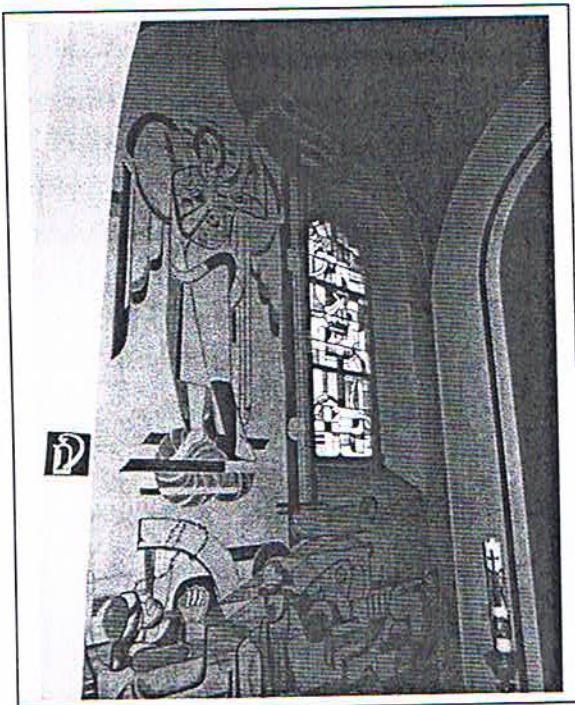


Abb. 2: Verschmutzungen im Seitenschiff (Nordwest)



2 Vorgehensweise

Am 20.06.2011 wurden die Flächen inspiziert und Proben für chemische und mikroskopische Analysen entnommen. Die labortechnischen Untersuchungen sind in den Prüfberichten 11245-1 und 11245-4 dokumentiert. Darüber hinaus wurden die Feinstaub-Massenkonzentrationen (PM_{2,5}) sowie die Partikelgrößen und die Partikelanzahlkonzentrationen im Kirchenschiff, in der Marien-Kapelle und der Außenluft gemessen (s. Prüfberichte 11245-3 und -4).

3 Ergebnisse der Untersuchungen

3.1 Chemische Analyse der schwarzen Ablagerungen

Von den Fensterflächen im Seitenschiff (Südseite) wurde eine Wischprobe entnommen und die Ablagerungen chemisch analysiert. Die Analyse ergab ein Spektrum an schwerflüchtigen organischen Verbindungen, das sich von typischen Innenraumspektren deutlich unterscheidet. Als Hauptkomponenten wurden Palmitinsäure, Stearinsäure und Myristinsäure nachgewiesen. Darüber hinaus waren polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, wie z.B. Phenanthren, Fluoranthren und Pyren nachweisbar (s. Prüfbericht 11245-1). Es handelt sich um Komponenten, die auf das Abbrennen von Kerzen in dem Kircheninnenraum zurückzuführen sind. Schwerflüchtige Verbindungen wie z.B. Phthalate oder Lösemittelkomponenten auf Glykolbasis, die von einigen Fachleuten als die Auslöser des Phänomens der Schwärzungen an Wand- und Deckenflächen („fogging-aktive“ Substanzen) angesehen werden, waren in dem schwarzen Oberflächenfilm nur in Spuren nachzuweisen. Die Konzentration dieser Stoffe korreliert nicht mit der Intensität der Schwarzfärbung an der Bauteilfläche.

3.2 Mikroskopische Untersuchungen

Von verschmutzten Fensterflächen wurden mit Hilfe von Klebefilmen Oberflächenkontaktproben gewonnen und mikroskopisch im Durchlicht untersucht.

Bei der Probenahme war festzustellen, dass sich der schwarze Schmutzbelag mit Hilfe der Klebefolie gut von glatten Oberflächen ablösen lässt. Unter dem Mikroskop werden Agglomerate von vielen sehr kleinen Partikeln sichtbar (opake Partikeln mit geometrischem Durchmesser < 1 µm, s. Prüfbericht 11245-4).

3.3 Feinstaub- und Partikelmessungen

Aufgrund der Ergebnisse der Feinstaub- und Partikelmessungen in der Kirche (s. Prüfberichte 11245-2 und -3) ist festzustellen, dass die Partikelabscheidungen nicht in Zusammenhang stehen mit einem außergewöhnlichen Partikeleintrag von außen. Die Luft innerhalb der Kirche wies deutlich höhere Feinstaubkonzentrationen als die Außenluft auf. Die im Kirchenraum gemessenen Feinstaubkonzentrationen (PM_{2,5}) liegen mit 23 µg/m³ (Kapelle) und 22 µg/m³ (Kirchenraum vor Altar) nur minimal unterhalb des von der WHO 2006 vorgeschlagenen Zielwertes für Feinstaub (PM_{2,5}) von 25 µg/m³. Gemäß einer EU-Richtlinie ist dieser Wert ab 2015 als Grenzwert in der Umgebungsluft (Außenluft) einzuhalten. Die Ad-Hoc-Arbeitsgruppe Innenraumluftrichtwerte der Innenraumluft-hygienekommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesbehörden hat in einer Stellungnahme darauf hingewiesen, dass derzeit geeignete Bewertungsmaßstäbe für die Bewertung von Feinstaubbelastungen aus innenraumspezifischen Quellen fehlen. Solange noch keine gültige Bewertung in Form von Richt- oder Grenzwerten möglich ist, sollte vorsorglich nach dem Minimierungsprinzip verfahren werden („Gesundheitliche Bedeutung von Feinstaub in der Innenraumluft“. Bundesgesundheitsbl- Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz 51, S. 1370-1378, 2008).

Die Anzahl der Partikel mit aerodynamischem Durchmesser zwischen 0,5 µm und 2 µm sind in der Kapelle und im Kircheninnenraum im Vergleich zur Außenluft signifikant erhöht (s. Prüfbericht 11245-3).

3.4 Luftströmungen

Zur Klärung der Frage, ob – trotz vorhandener Glastrennwände nennenswerte Mengen partikelbelasteter Luft aus der Kapelle in den Kirchenraum einströmen können, wurde in der Kapelle ein Theaternebel ausgebracht und überprüft, ob es zu einer Ausbreitung des Nebels in den Kirchenraum kommt. Die Ergebnisse der Untersuchungen wurden auf einem Video dokumentiert (s. Anlagen-CD). Es wurde festgestellt, dass über die Spalten zwischen den Glaselementen die Luft in den Kirchenraum austritt (s. Abb. 3 und 4).

In der Kapelle wurde eine Abluftanlage installiert (Volumenstromrate: ca. 100-180 m³/h). Die Luft strömt im unteren Bereich der Glastrennwände durch vorhandene Spalten vom Kirchenraum in die Kapelle. In Höhen über 2,5 m ändert sich die Strömungsrichtung. Durch die Spalten tritt hier Luft aus der Kapelle in den Kirchenraum über. Ca. 60 Minuten nach Ausbringen des Nebels in der Kapelle war eine Verteilung des Nebels im gesamten Kirchenraum zu beobachten (s. Abb.5).

Abb. 3: Nebelaustritt aus der Marienkapelle in das Kirchenschiff (Deckenanschluss der Glastrennwand)

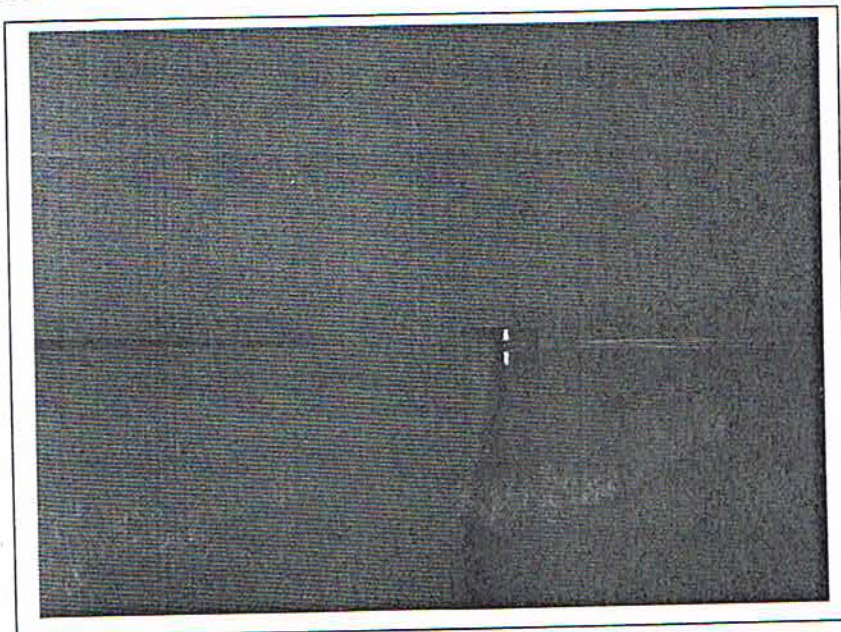


Abb. 4: Aufsteigender Theaternebel (Aufnahme von der Orgelplattform)

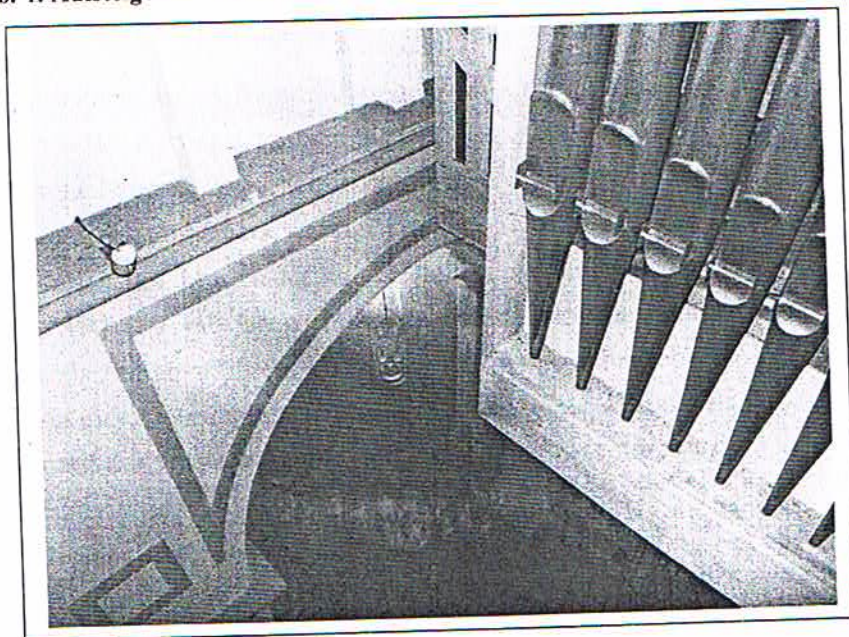
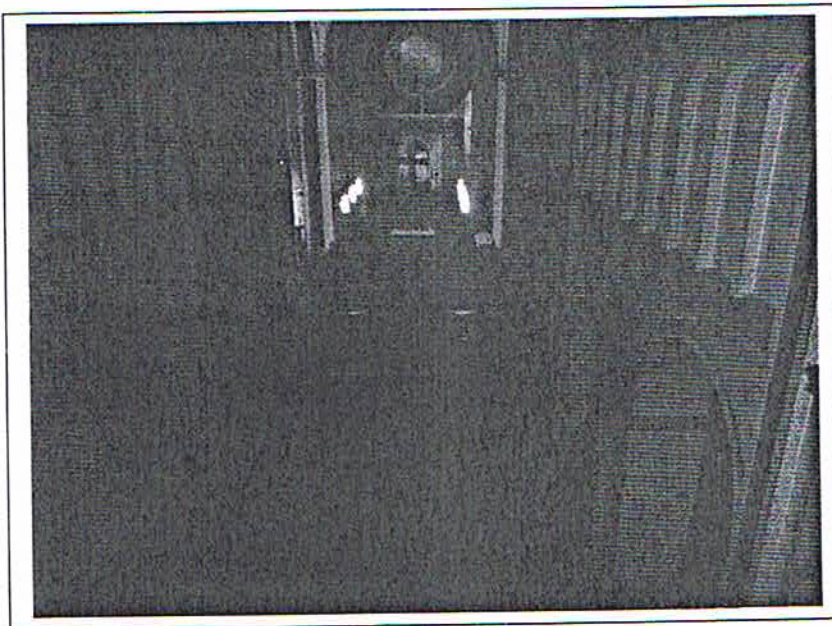


Abb. 5: Verteilung des Nebels im gesamten Kirchenraum nach ca. 60 Minuten



4 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Das Schadensbild (Schwarzfärbungen/Verschmutzungen) an Bauteilflächen im Kircheninnenraum ist auf eine Abscheidung von Partikeln zurückzuführen, die als Emissionen beim Abbrennen von Opferkerzen in der Marien-Kapelle von St. Audomar auftreten. Nach Auskunft des Auftraggebers werden pro Tag zwischen 200-300 Opferkerzen abgebrannt. Die im Bereich der Marien-Kapelle installierte Abluftanlage mit einem Volumenstrom zwischen 100-180 m³ ist nicht ausreichend, um die beim Kerzenabbrand freigesetzten Partikelasten abzuführen. Der durch den Anlagenbetrieb erzeugte Unterdruck reicht nicht aus, um eine Übertragung in den Kirchenraum zu verhindern.

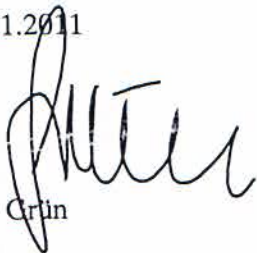
Aufgrund der vorliegenden Untersuchungsbefunde kommt der Unterzeichner zu folgenden Empfehlungen:

1. Die Spalten zwischen Glaselementen und Wänden, die in einer Höhe über 2,5 m vorhanden sind, sollten luftdicht verschlossen werden. Durch diese Maßnahme wird der Strömungsquerschnitt reduziert und die Nachströmgeschwindigkeit im Bereich der verbleibenden Spalten erhöht. Gleichzeitig wird der Austritt von partikelebelasteter Luft beim Öffnen der Zugangstür reduziert.
2. Der Abluftvolumenstrom der in der Marien-Kapelle installierten Abluftanlage ist zu gering. Die Messergebnisse haben ergeben, dass die PM_{2,5} Konzentrationen nur geringfügig unterhalb des WHO-Richtwertes von 25 µg/m³ liegen. Nach der unter (1) empfohlenen Abdichtung der Kapelle ist mit einem Feinstaub- und Partikelanstieg innerhalb der Kapel-

le und einer Überschreitung dieses Richtwertes zu rechnen. Die Abluftanlage sollte sicherstellen können, dass nach den Abdichtungsmaßnahmen die PM_{2,5}-Konzentrationen unterhalb des Richtwertes von 25 µg/m³ bleiben. Außerdem trägt diese Maßnahme auch dazu bei, dass die Verschmutzung an den Wänden innerhalb der Kapelle nicht ansteigt. Nach Einschätzung des Unterzeichners wäre der Abluftvolumenstrom so einzustellen, dass innerhalb der Kapelle eine Luftwechselrate zwischen 3-5 erreicht wird.

Die Frage, ob darüber hinausgehend Maßnahmen zu treffen sind, die eine Verschmutzung der Kirchenfenster verhindern, kann derzeit nicht eingeschätzt werden. Der Unterzeichner empfiehlt, jeweils ein Fenster mit Vorsatzscheibe innen und ein Fenster mit Vorsatzscheiben außen unmittelbar nach der Durchführung der oben empfohlenen Maßnahmen von außen und innen reinigen zu lassen. Nach einer kompletten Winterperiode sollten die Partikelablagerungen auf den Oberflächen des Fensterglases (außen und innen) verglichen werden. Zur quantitativen Beurteilung des Grades der Verschmutzung könnten die vom Unterzeichner verwendeten Verfahren (s. Prüfbericht 11245-1 und 11245-4) verwendet werden. Auf der Grundlage der Ergebnisse dieser Untersuchungen kann dann beurteilt werden, welche Art der Fenstereinbauten und welche Glasflächen dabei stärker zur Verschmutzung neigen und welcher Reinigungsaufwand sich daraus ergibt.

Köln, den 12.11.2011



Dr. rer. nat. L. Grün

Prüfbericht:

**Schwerflüchtige organische Verbindungen (SVOC)
und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)
an schwarz verfärbten Innenraumoberflächen**

[Pfarrkirche St. Audomar]

PRÜFBERICHT 11245 -1 vom 19.07.2011

Auftraggeber:	Kath. Kirchengemeinde St. Audomar Herr C. Kastenholz Kölner Str. 3 50226 Frechen
Gegenstand / Objekt:	Pfarrkirche St. Audomar Kölner Str. 3 50226 Frechen
Auftragseingang:	22.03.2011
Ortstermin (Probenahme):	20.06.2011
Messtechniker:	Dr. rer. nat. L. Grün
Projekt-Nr.:	11245
Analyse:	Fremdlabor
Umfang des Berichtes:	6 Seiten
Anlage:	-

Auftragsbeschreibung / Vorbemerkungen

Die eco-LUFTQUALITÄT + RAUMKLIMA GmbH wurde beauftragt, in o.g. Objekt Wischproben an schwarz verfärbten Innenraumbooberflächen zu entnehmen und auf schwerflüchtige organische Verbindungen (SVOC) und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) zu untersuchen.

1 Vorgehensweise/Prüfverfahren

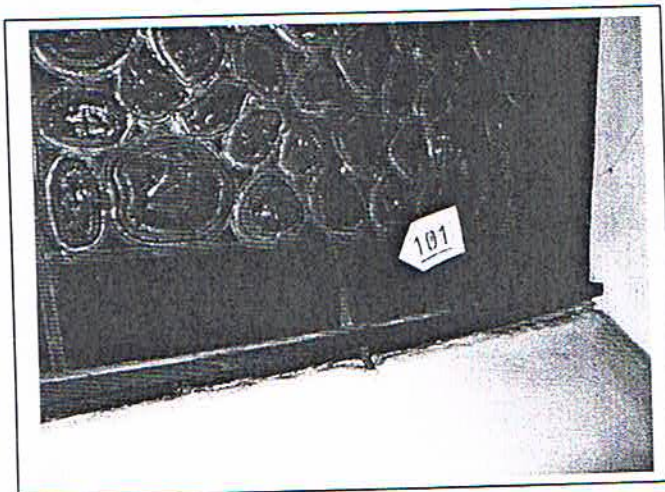
Nach Zugabe eines internen Standards (Dibutylmaleinat) wird die Wischprobe mit einer Mischung aus hochreinem Aceton und n-Hexan extrahiert. Das Extrakt wird aufkonzentriert und mittels Kapillargaschromatographie gekoppelt mit einem niederauflösenden Massenspektrometer (HRGC/LRMS) im Scan-Modus über den jeweils angegebenen Massenbereich und in einem Elutionsbereich von ca. C11 bis C33 analysiert. Die Identifizierung der nachzuweisenden Substanzen erfolgt durch Massenspektrenvergleich mit der NIST62-Bibliothek (National Institute of Standards & Technology) und einer hauseigenen Bibliothek. Gegebenenfalls erfolgt eine Quantifizierung gegen externe Standards.

Zur Bestimmung der PAK wurden der Probe vor der Extraktion zudem fünf deuterierte PAK (Naphthalin, Acenaphthen, Phenanthren, Chrysen und Perylen) als interne Standards zugegeben. Die gaschromatographische Analyse des aufkonzentrierten Extraktes erfolgt nach Zugabe von 1-Bromnaphthalin als Recovery-Standard auf einer 60 m langen Kapillarsäule in Verbindung mit einem niederauflösenden Massenspektrometer (HRGC/LRMS) auf mindestens zwei charakteristischen Massenspuren je Substanz. Die Quantifizierung erfolgt direkt über die Isotopenverdünnungsmethode gegen die deuterierten internen Standards.

2 Ergebnisse

2.1 Fenster, Seitenschiff Süd

Materialart:	Wischproben mit hochreinem Vlies
Probenbezeichnung:	11245-2006-101
Entnahmestelle:	s. Bild



PRÜFBERICHT 11245 -1 vom 19.07.2011

Ergebnisse SVOC:

Wischprobe (Cyclohexan/Aceton-Extrakt)

MS-Scanbereich: 35 - 550 m/e

Prüf Nr.: wi 811/11

AG (ProbeNr.): 11245-2006-101

5.500.000

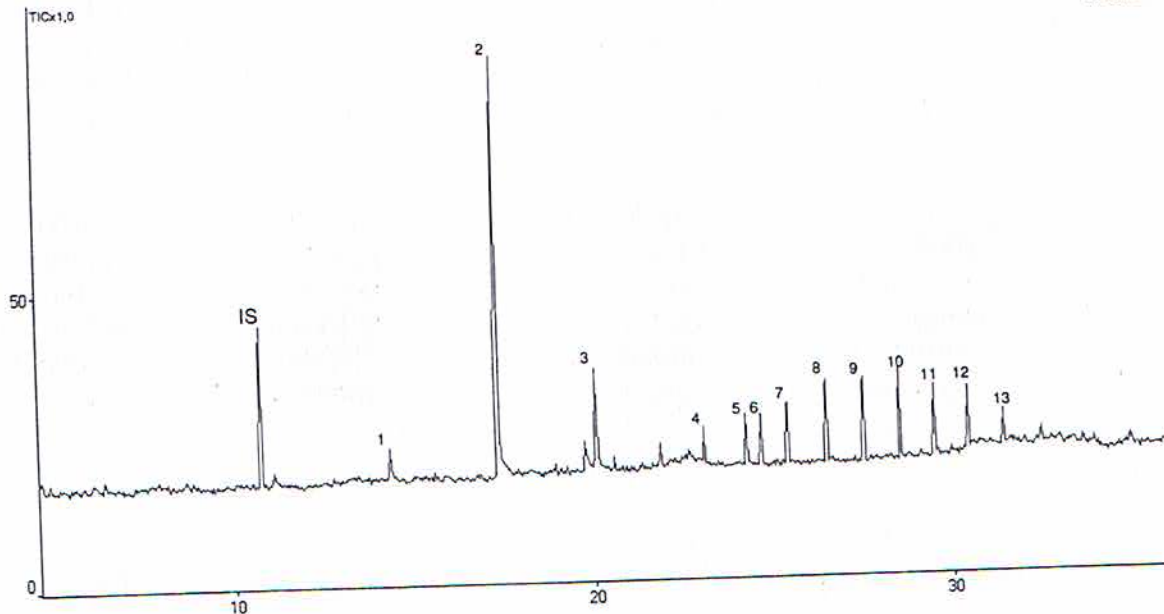


Tabelle Peakidentifizierung:

Nr.	Identifizierungsvorschlag	Rt ok
1	Myristinsäure	ja
2	Palmitinsäure	ja
3	Stearinsäure	ja
4	Tetracosan (n-C24)	ja
5	Pentacosan (n-C25)	ja
6	Di(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP)	ja
7	Hexacosan (n-C26)	ja
8	Heptacosan (n-C27)	ja
9	Octacosan (n-C28)	ja
10	Nonacosan (n-C29)	ja
11	triacontan (n-C30)	ja
12	Hentriacontan (n-C31)	ja
14	Dotriacontan (n-C32)	ja

Rt ok: zusätzlich über Retentionszeit abgesichert, Identifizierung kann somit als gesichert angesehen werden.
 Interner Standard: IS Dibutylmaleinat (Konz. bezogen auf Wischfläche = 292 µg/m²)

PRÜFBERICHT 11245-1 vom 19.07.2011

Ergebnisse SVOC (Fortsetzung):

Bezeichnung Code (AG)	Wischprobe 11245-2006- 101				Wischprobe		
Wischfläche (in m²)	0,12				wi 811/11	Blindwert	NWG
Prüf-Nr.	wi 811/11	Blindwert	NWG		wi 811/11	Blindwert	NWG
Konzentration von:	in µg/m²	in µg/m²	in µg/m²	Konzentration von:	in µg/m²	in µg/m²	in µg/m²
Undecan	n.u.	n.n.		Dimethylphthalat (DMP)	n.n.	n.n.	(<4,2)
Dodecan	n.n.	n.n.	(<3,3)	Diethylphthalat (DEP)	5,9	n.n.	(<4,2)
Tridecan	n.n.	n.n.	(<3,3)	Diallylphthalat (DAIP)	n.n.	n.n.	(<8,3)
Tetradecan	n.n.	n.n.	(<3,3)	Dipropylphthalat (DPP)	n.n.	n.n.	(<4,2)
Pentadecan	n.n.	n.n.	(<3,3)	Dimethylpropylphthalat (DMPP)	7,5	n.n.	(<5,8)
Hexadecan	n.n.	n.n.	(<3,3)	Dibutylphthalat (DBP)	9,9	n.n.	(<5,0)
Heptadecan	n.n.	n.n.	(<3,3)	Benzylbutylphthalat (BzBP)	n.n.	n.n.	(<5,0)
Octadecan	n.n.	n.n.	(<3,3)	Dicyclohexylphthalat (DCHP)	n.n.	n.n.	(<5,0)
Nonadecan	n.n.	n.n.	(<3,3)	Di(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP)	53	n.n.	(<6,7)
Eicosan	n.n.	n.n.	(<3,3)	Diisooctylphthalat (DOP)	n.n.	n.n.	(<6,7)
Heneicosan	4,7	n.n.	(<3,3)	Diisononyl- /Diisodecylphthalate	n.n.	n.n.	(<33)
Docosan	9,7	n.n.	(<3,3)	Tetradecanol	n.n.	n.n.	(<17)
Tricosan	16	n.n.	(<3,3)	Hexadecanol	n.n.	n.n.	(<17)
Tetracosan	26	n.n.	(<3,3)	Octadecanol	n.n.	n.n.	(<25)
Pentacosan	39	n.n.	(<3,3)	Caprylsäure (C8-Säure)	34	n.n.	(<25)
Hexacosan	52	n.n.	(<4,2)	Caprinsäure (C10-Säure)	n.n.	n.n.	(<33)
Heptacosan	70	n.n.	(<4,2)	Laurinsäure (C12-Säure)	81	n.n.	(<67)
Octacosan	80	n.n.	(<5,0)	Tridecansäure	n.n.	n.n.	(<67)
Nonacosan	85	n.n.	(<5,0)	Myristinsäure (C14-Säure)	178	n.n.	(<83)
Triacontan	74	n.n.	(<5,0)	Pentadecansäure	n.n.	n.n.	(<100)
Hentriacontan	61	n.n.	(<5,0)	Palmitinsäure (C16-Säure)	1780	n.n.	(<133)
Dotriacontan	40	n.n.	(<5,8)	Heptadecansäure	n.n.	n.n.	(<167)
Tritriacontan	28	n.n.	(<5,8)	Stearinsäure (C18-Säure)	460	n.n.	(<283)
Squalen	n.n.	n.n.	(<6,7)	Oelsäure (C18:1-Säure)	n.n.	n.n.	(<417)
Nicotin	n.n.	n.n.	(<8,3)	Identifizierte Verbindungen	3398	0,0	-

n.n. = nicht nachweisbar, d.h. die Gehalte liegen unterhalb der in der nebenstehenden Spalte angegebenen Nachweis-
grenze (NWG)

n.u. = nicht untersucht

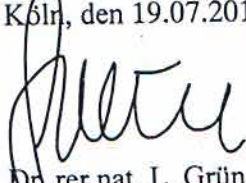
PRÜFBERICHT 11245 -1 vom 19.07.2011

Ergebnisse PAK:

Bezeichnung	Wischprobe				
Code (Auftraggeber)	11245-2006-101				
Wischfläche (in m²):	0,12				
Prüf-Nr.	wi 811/11	BG			
Konzentration von:	in µg/m²	in µg/m²	Konzentration von:	in µg/m²	in µg/m²
PAK (16 nach EPA):			weiterer PAK:		
Naphthalin	0,90	(<0,20)	1-Methylnaphthalin	0,16	(<0,13)
Acenaphthylen	n.b.	(<0,08)	2-Methylnaphthalin	0,44	(<0,13)
Acenaphthen	n.b.	(<0,08)	2-Methylphenanthren	1,17	(<0,13)
Fluoren	0,19	(<0,10)	Benzo(b)naphtho(21d)thiophen	0,86	(<0,13)
Phenanthren	7,9	(<0,12)	Benzo(c)phenanthren	0,31	(<0,10)
Anthracen	0,18	(<0,13)	Triphenylen	0,65	(<0,13)
Fluoranthren	5,6	(<0,10)	Benzo(e)pyren	0,86	(<0,12)
Pyren	2,6	(<0,12)	Perylen	n.b.	(<0,13)
Benzo(a)anthracen	0,60	(<0,10)			
Chrysen	2,7	(<0,13)	Summe PAK gesamt	29	
Benzo(b+j)fluoranthren	2,2	(<0,13)			
Benzo(k)fluoranthren	0,42	(<0,13)			
Benzo(a)pyren	0,31	(<0,12)			
Indeno(123cd)pyren	0,27	(<0,17)			
Dibenzo(ah)anthracen	n.b.	(<0,25)			
Benzo(ghi)perylene	0,30	(<0,12)			
Summe 16 EPA-PAK	24				

n.b. = nicht bestimmbar, d.h. die Gehalte liegen unterhalb der in der nebenstehenden Spalte angegebenen Bestimmungsgrenze (BG)
n.u. = nicht untersucht

Köln, den 19.07.2011



Dr. rer.nat. L. Grün
(Prüfleiter Messtechnik)

Hinweis:

Das Messergebnis bezieht sich auf das vorgegebene Ziel der Messung und die im Prüfbericht angeführten Randbedingungen. Eine auszugsweise Vervielfältigung und Veröffentlichung könnte den Inhalt verfälschen und bedarf der schriftlichen Genehmigung.

Im Bericht aufgeführte Rückstellproben werden - falls nicht anders vereinbart - 3 Monate aufbewahrt.

Prüfbericht:

Feinstaub (PM 2,5) - Massenkonzentration

in der Innenraumluft

[Pfarrkirche St. Audomar]

Juli 2011