

**INSTITUT WAW — Bibliothek —**  
Wasserversorgung, Abwassertechnik  
Abfalltechnik und Raumheizung  
Technische Universität Darmstadt  
Petersenstraße 13, 61287 Darmstadt  
TEL. 0 61 51/16 36 59 + 16 27 48  
FAX 0 61 51/16 37 58

W. A. R. — Bibliothek  
Inv.-Nr. D 12650

10 HLU 252

## EMISSIONEN ORGANISCH-CHEMISCHER VERBINDUNGEN AUS ZIVILEN FLUGZEUGTRIEBWERKEN

von

Dipl.-Ing. Walter Eickhoff

HESSISCHE LANDESANSTALT FÜR UMWELT

Dezernat 6.2; Luftreinhaltung/Emissionen

Ludwig-Mond-Str.33, 34121 Kassel

Oktober 1998

Berichtsdatum: 1. Oktober 1998

Bibliothek Wasser und Umwelt  
(TU Darmstadt)



61596348

## 2 Inhaltsverzeichnis

Seite

1 VORWORT.....	1—3
2 INHALTSVERZEICHNIS .....	2—3
3 ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....	3—6
4 DANKSAGUNGEN.....	4—8
5 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	5—9
6 GLOSSAR.....	6—10
<b>KAPITEL 1 PROBLEMATIK DER EMISSIONMESSUNG UND AUFGABENSTELLUNG .....</b>	<b>7—11</b>
<b>7 EINLEITUNG .....</b>	<b>7—11</b>
<b>8 PROBLEMATIK DER EMISSIONSMESSUNG .....</b>	<b>8—12</b>
8.1 PROBLEMATIK DER ABGASBEPROBUNG IN EINER TRIEBWERKSSTANDLAUFEINRICHTUNG (PRÜFSTAND) .....	8—13
8.1.1 ANFORDERUNGEN AN DIE PROBENAHEME.....	8—14
<b>9 AUFGABENSTELLUNG .....</b>	<b>9—15</b>
<b>KAPITEL 2 UNTERSUCHUNGSGEGENSTAND UND QUALITATIVE UNTERSUCHUNG .....</b>	<b>10—17</b>
<b>10 UNTERSUCHTE TRIEBWERKE.....</b>	<b>10—17</b>
10.1 TRIEBWERKSTANDLAUFEINRICHTUNG .....	10—17
10.2 TRIEBWERKE.....	10—20
10.2.1 Triebwerke CF6-50 E2 / C2 .....	10—20
10.2.2 Triebwerke CFM-INTERNATIONAL CFM 56 - 3 B1/B2/C .....	10—25
10.3 TEST-PROCEDURES .....	10—32
10.4 FÜR DIE PRÜFPROZEDUR EINGESETZTER KRAFTSTOFF.....	10—34
<b>11 PROBENAHEMEMODALITÄTEN FÜR DIE DISKONTINUIERLICHE MESSUNG .....</b>	<b>11—36</b>
11.1 EINGESETZTE PROBENAHEMESONDEN .....	11—38
11.2 MISCHAPPARATUR.....	11—39
11.3 SORPTIONSEINRICHTUNGEN.....	11—41
11.4 PROBENAHEMEPUMPEN UND PROBENGASMENGENMESSUNG .....	11—44
11.5 ADAPTION DES MESS-TECHNISCHEN EQUIPMENTS AM TRIEBWERKS-PRÜFSTAND .....	11—47
<b>12 ANALYTISCHE METHODEN.....</b>	<b>12—49</b>
12.1 VERFAHRENTWICKLUNG .....	12—49
12.1.1 Sorption an ausgewählten Sorbentien.....	12—49
12.1.1.1 XAD-2.....	12—49
12.1.1.2 Tenax TA .....	12—49
12.1.1.3 Carbosieve SIII .....	12—49
12.1.2 Elution mit verschiedenen Lösemitteln .....	12—50
12.1.3 Fraktionierung der Eluate .....	12—52
12.1.3.1 Untersuchungsgegenstand .....	12—52
12.1.3.2 Chemikalien .....	12—52
12.1.3.3 Geräte .....	12—52
12.1.3.4 Vorgehensweise .....	12—52
12.1.3.5 Analysenbedingungen.....	12—53
12.1.4 GC/MS-Untersuchungen zur qualitativen Identifikation, Massenspektrogramme, Bedingungen, Gerät.....	12—53
12.1.5 Thermische Desorption, Bedingungen, Gerät .....	12—55
12.1.5.1 Probenvorbereitung:.....	12—55

12.1.5.2 TDS-Bedingungen: .....	12—55
12.1.5.2.1 Gerätebezeichnung:.....	12—55
12.1.5.3 Temperaturprogramm: .....	12—56
12.1.5.4 KAS-Bedingungen:.....	12—56
12.1.5.4.1 Gerätebezeichnung:.....	12—56
12.1.5.5 Temperaturprogramm: .....	12—56
12.1.6 GC-Untersuchungen, Chromatogramme, Bedingungen, Geräte .....	12—56
12.1.6.1 Anwendungsbereich.....	12—56
12.1.6.2 Kurzbeschreibung des Verfahrens.....	12—56
12.1.6.3 Sorptionseinrichtung zur Probenahme .....	12—56
12.1.6.4 Geräte zur Analyse.....	12—57
12.1.6.5 Chemikalien und Lösungen, Kalibrierlösungen.....	12—57
12.1.6.6 Lösungen.....	12—57
12.1.6.7 Herstellung der Chlorbenzollösung (ISTD) .....	12—57
12.1.6.8 Eichpunkte aus Stammlösung (Kalibrierlösung).....	12—58
12.1.6.9 Betriebsmittel zum Betrieb des GC .....	12—58
12.1.6.10 Probenaufbereitung .....	12—58
12.1.6.11 Analytische Bestimmung für GC HP 5890 Serie II plus: .....	12—58
12.1.6.11.1 Trennsäule:.....	12—58
12.1.6.11.2 Gasflüsse: .....	12—58
12.1.6.12 Geräteparameter:.....	12—58
12.1.6.12.1 Einspritzblock .....	12—58
12.1.6.12.2 Ofen.....	12—59
12.1.6.12.3 Detektor.....	12—59
12.1.6.13 Auswertung der Chromatogramme .....	12—59
12.1.6.13.1 Integrationsparameter .....	12—59
12.1.6.14 Qualitative und quantitative Zuordnung der Meßsignale .....	12—59
12.1.6.15 Berechnen des Ergebnisses.....	12—59
12.1.6.15.1 Qualitative Auswertung.....	12—59
12.1.6.15.2 Quantitative Auswertung.....	12—59
12.1.6.15.2.1 Externer Standard .....	12—60
12.1.6.15.2.2 Interner Standard.....	12—60
12.1.7 Festphasenextraktion zur Untersuchung von Kerosin .....	12—61
12.1.7.1 Prinzip der Festphasenextraktion.....	12—62
12.1.7.2 Beschreibung des Flugzeugkraftstoffs Kerosin.....	12—62
12.1.7.3 Arbeitsanweisung.....	12—62
12.1.7.3.1 Geräte, Chemikalien und Lösemittel .....	12—62
12.1.7.3.1.1 Geräte .....	12—62
12.1.7.3.1.1.1 Geräte für die Probenvorbereitung:.....	12—62
12.1.7.3.1.1.2 Geräte für die Festphasenextraktion:.....	12—63
12.1.7.3.1.2 Chemikalien und Adsorbentien .....	12—63
12.1.7.3.1.3 Lösemittel.....	12—63
12.1.7.3.2 Probenaufarbeitung .....	12—63
12.1.7.4.1 Probenvorbereitung.....	12—63
12.1.7.4.2 Festphasenextraktion.....	12—64
12.1.7.4.2.1 Eigenschaften der ausgewählten Festphasen.....	12—64
12.1.7.4.3 Durchführung der Festphasenextraktion .....	12—64
12.1.7.4.3.1 Konditionierung der Festphasen-Säule: .....	12—64
12.1.7.4.3.1.1 PROBENAUFGABE: .....	12—65
12.1.7.4.3.1.2 Elution:.....	12—65
12.1.7.4.4 Wiederverwendung der Festphase.....	12—66
12.1.7.4.5 Analyse am Gaschromatograph ( GC/FID ).....	12—67
12.1.7.5 Qualitätsüberprüfung der Festphasenextraktion.....	12—68
12.1.7.5.1 Elutionskurven .....	12—68
12.1.7.6 Wiederfindung in den Standardgemischen .....	12—69
12.1.7.7 Ergebnisse der Kerosinanalytik .....	12—71
12.1.7.7.1 Bestimmung einer Kerosinprobe von JET A1 .....	12—71
12.1.7.7.1.1 Kerosinprobe.....	12—71
12.1.7.7.1.2 Identifizierung der Kerosinfraktionen am GC/MS .....	12—71

12.1.7.7.1.3 Blindwert der Festphasenextraktion .....	12—72
12.1.7.7.2 Quantifizierung der Kerosinprobe .....	12—73
12.1.7.8 Exemplarische Ergebnisse der Kerosin-Analytik zur Überprüfung des Verfahrens.....	12—74
12.1.7.8.1 Ergebnisse der Kerosinprobe JET A1 (16.05.97) .....	12—74
12.1.7.8.2 Vergleich mit Literaturwerten von [Schlatter et al.] .....	12—75
12.1.7.8.3 ANHANG - Chromatogramme .....	12—77
<b>13 KONTINUIERLICHE MESSWERTERFASSUNG.....</b>	<b>13—80</b>
13.1 DIFFERENZDRUCKMESSUNG IM RAHMEN DER ZULUFT- UND ABGASGESCHWINDIGKEITSERMITTLUNG .....	13—80
13.2 TEMPERATURMESSUNG IN DER AUßENLUFT UND IM ABGAS VON TRIEBWERKEN.....	13—82
13.3 LUFTDRUCK UND FEUCHTEGEHALT DER AUßENLUFT, FEUCHTEGEHALT DES ABGASES VON TRIEBWERKEN.....	13—82
13.4 MESSUNG VON NO <sub>x</sub> .....	13—83
13.5 MESSUNG VON SO <sub>2</sub> .....	13—83
13.6 MESSUNG VON CO.....	13—84
13.7 MESSUNG VON CO <sub>2</sub> .....	13—84
13.8 MESSUNG VON O <sub>2</sub> .....	13—85
13.9 VOC-MESSUNG IN DER AUßENLUFT UND IM ABGAS VON TRIEBWERKEN .....	13—85
13.10 EINSATZ ZERTIFIZIERTER PRÜFGASE .....	13—86
13.11 MEBGASAUFBEREITUNG.....	13—86
13.12 DATENFERNÜBERTRAGUNG KONTINUIERLICH ERMITTELTEN MESSWERTE .....	13—87
<b>14 ERMITTLUNG DISKRETER STOFFGRUPPEN.....</b>	<b>14—91</b>
<b>15 FREMDVERGABEN.....</b>	<b>15—92</b>
<b>16 EINSATZ EINES KONTINUIERLICH ARBEITENDEN OPTISCHEN MEBVERFAHRENS.....</b>	<b>16—93</b>
<b>17 HINTERHERFAHRTEN BEIM TAXIBETRIEB.....</b>	<b>17—96</b>
<b>18 ERGEBNISSE DER QUALITATIVEN UNTERSUCHUNGEN.....</b>	<b>18—101</b>
18.1 Aufklärungsquote bezogen auf VOC .....	18—123
18.2 Diskussion .....	18—125
<b>KAPITEL 3 QUANTITATIVE UNTERSUCHUNGEN .....</b>	<b>19—127</b>
<b>19 QUANTITATIVE UNTERSUCHUNG VON TRIEBWERKSABGASEN .....</b>	<b>19—127</b>
19.1 KONTINUIERLICH ERMITTELTE ABGASKOMPONENTEN .....	19—127
19.2 DISKONTINUIERLICH ERMITTELTE ORGANISCH-CHEMISCHE STOFFE .....	19—131
19.2.1 Triebwerke CF6-50 E2/C2 und CFM56-3 .....	19—131
19.2.2 Massenstrombetrachtung .....	19—137
19.3 DISKRET ERMITTELTE ABGASKOMPONENTEN .....	19—138
<b>20 ANALYSE DES EINGESETZTEN KEROSINS .....</b>	<b>20—151</b>
<b>21 EMISSIONEN ORGANISCHER VERBINDUNGEN AUS DIESELMOTOREN .....</b>	<b>21—153</b>
<b>22 DISKUSSION DER UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE.....</b>	<b>22—160</b>