

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungsbericht 201 95 311/02
UBA-FB 000510



**Entwicklung einer Prüfmethode
und Untersuchungen zur
Begrenzung von Emissionen aus
Druckern und Kopiergeräten im
Rahmen der Umweltzeichen-
vergabe**

von

**Dr. Oliver Jann
Jens Rockstroh
Dr. Olaf Wilke
Reinhard Noske
Doris Brödner
Uwe Schneider
Dr. Wolfgang Horn**

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM),
Berlin

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Diese TEXTE-Veröffentlichung kann bezogen werden bei

Vorauszahlung von 10,00 €

durch Post- bzw. Banküberweisung,
Verrechnungsscheck oder Zahlkarte auf das

Konto Nummer 4327 65 - 104 bei der
Postbank Berlin (BLZ 10010010)
Fa. Werbung und Vertrieb,
Ahornstraße 1-2,
10787 Berlin

Parallel zur Überweisung richten Sie bitte
eine schriftliche Bestellung mit Nennung
der **Texte-Nummer** sowie des **Namens**
und der **Anschrift des Bestellers** an die
Firma Werbung und Vertrieb.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr
für die Richtigkeit, die Genauigkeit und
Vollständigkeit der Angaben sowie für
die Beachtung privater Rechte Dritter.
Die in dem Bericht geäußerten Ansichten
und Meinungen müssen nicht mit denen des
Herausgebers übereinstimmen.

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 33 00 22
14191 Berlin
Tel.: 030/8903-0
Telex: 183 756
Telefax: 030/8903 2285
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet III 1.3
Dr. Brigitte Jacobs

Berlin, Oktober 2003

Berichts-Kennblatt

1. Berichtsnummer UBA-FB	2.	3.
4. Titel des Berichts Entwicklung einer Prüfmethode und Untersuchungen zur Begrenzung von Emissionen aus Druckern und Kopiergeräten im Rahmen der Umweltzeichenvergabe		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Dr. Oliver Jann, Jens Rockstroh, Dr. Olaf Wilke, Reinhard Noske, Doris Brödner, Uwe Schneider, Dr. Wolfgang Horn	8. Abschlußdatum 28.02.2003	
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Laboratorium IV.22 „Emission aus Materialien“, 12200 Berlin	9. Veröffentlichungsdatum	
	10. UFOPLAN-Nr. 201 95 311 / 02	
	11. Seitenzahl 159	
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt, Postfach 33 00 22, D-14191 Berlin	12. Literaturangaben 68	
	13. Tabellen und Diagramme 33	
	14. Abbildungen 79	
15. Zusätzliche Angaben Dem Bericht liegt das im Rahmen des Forschungsvorhabens entwickelte Prüfverfahren für die Bestimmung von Emissionen aus Hardcopygeräten im Anhang bei.		
16. Kurzfassung An neun verschiedenen Hardcopygeräten wurden in unterschiedlichen Emissionsmesskammern (zwei verschiedene 1 m³ - Kammern und eine 20 m³ - Kammer) in Kombination mit geeigneten Probenahme- und Analysenverfahren Untersuchungen zum Emissionsverhalten dieser Geräte hinsichtlich Staub, Ozon und VOC (TVOC) durchgeführt. Luftprobenahme und Analytik erfolgten für VOC mittels Tenax TA und anschließender Thermodesorption (TDS) in Verbindung mit GC / MS. Ozon wurde kontinuierlich bestimmt. Der Ozonanalysator arbeitete auf der Grundlage der flammenlosen Reaktion von Ozon mit Ethylen nach dem Prinzip der Chemilumineszenz. Die Staubbestimmung erfolgte gravimetrisch mittels Glasfaserfilter und Ultramikrowaage. Zusätzlich wurde die Partikelemission während des Druckbetriebes mit einem Partikelzähler bestimmt. Aufgrund der technischen Rahmenbedingungen standen nur kurze Druckzeiten von maximal 36 Minuten zur Verfügung. Um die Gleichgewichtskonzentration in der Prüfkammer zu erreichen, wurde die Luftaustauschrate in den 1 m³ - Kammern auf n = 4,0 bis 4,7 pro Stunde erhöht. Zusätzlich zur Prüfung in den Emissionsmesskammern sind verschiedene Papiere mittels Direkt - TDS sowie unterschiedliche Toner mittels Headspaceprobenahme in Kombination mit GC / MS hinsichtlich ihres Emissionsverhaltens untersucht worden. Für die untersuchten Geräte wurden Emissionsraten ermittelt. Sie betrugen für TVOC 0,41 bis 22,4 mg pro Stück und Stunde, für Ozon kleiner 0,02 bis 4,6 mg pro Stück und Stunde sowie für Staub 0,10 bis 7,63 mg pro Stück und Stunde. Verglichen mit Frischfaserpapier wurden bei den Untersuchungen mit Recyclingpapier deutlich höhere SVOC - Konzentrationen nachgewiesen. Im Ergebnis der Untersuchungen wurde ein Prüfverfahren entwickelt, das die Basis für Emissionsmessungen im Rahmen der Umweltzeichen RAL –UZ 62, RAL –UZ 85 sowie des neuen RAL –UZ 114 für Multifunktionsgeräte darstellt.		
17. Schlagwörter Emissionen, VOC, Ozon, Staub, Hardcopygeräte, Drucker, Kopierer, Emissionsmesskammer, Umweltzeichen		
18. Preis	19.	20.

Report Cover Sheet

1. Report No. UBA-FB	2.	3.
4. Report Title Development of a test method and investigations for determining emissions from printers and copiers in the framework of the German Environmental Label		
5. Autor(s), Family Name(s), First Name(s) Dr. Oliver Jann, Jens Rockstroh, Dr. Olaf Wilke, Reinhard Noske, Doris Brödner, Uwe Schneider, Dr. Wolfgang Horn	8. Report Date 28.02.2003	
6. Performing Organisation (Name, Address) Federal Institute for Materials Research and Testing Laboratory IV.22 „Emission from Materials“, 12200 Berlin	9. Publication Date	
	10. UFOPLAN-Ref. No. 201 95 311 / 02	
	11. No. of Pages 159	
7. Sponsoring Agency (Name, Address) Umweltbundesamt, Postfach 33 00 22, D-14191 Berlin	12. No. of Reference 68	
	13. No. of Tables, Diagrams 33	
	14. No. of Figures 79	
15. Supplementary Notes The testing method for the determination of emissions from hardcopy devices developed within the framework of the research project is enclosed in the report's appendix.		
16. Abstract The emission behaviour with regard to dust, ozone and VOC (TVOC) of nine different hardcopy devices in combination with suitable air sampling and analysis procedures was investigated in different emission test chambers (two different 1 m ³ - chambers and one 20 m ³ - chamber). Air sampling and analysis for VOC were done by means of Tenax TA and subsequent thermal desorption (TDS) in connection with GC / MS. Ozone was determined continuously. The ozone analyser worked on the basis of the flame rid reaction of ozone with ethylene according to the principle of chemiluminescence. The dust determination was done gravimetrically by means of glass fibre filter and an ultra micro - balance. Additional the particle emission during the printing process was measured with a particle counter. The general technical conditions of the tested hardcopy devices were the reason for short printing times with a maximum of 36 minutes. In order to achieve the equilibrium concentration in the test chambers the air exchange rate in the 1 m ³ - test chambers had to be increased to a value of n = 4,0 to 4,7 per hour. Additional to the examination of the hardcopy devices in the emission test chambers different papers were investigated by means of direct - TDS and different toners were tested by means of head space sampling in combination with GC / MS. For the examined hardcopy devices emission rates were determined. The emission rates for TVOC ranged from 0,41 to 22,4 mg per piece and hour, for ozone from less than 0,02 to 4,6 mg per piece and hour and for dust from 0,10 to 7,63 mg per piece and hour. The comparison between recycling paper and paper produced from primary fibres showed in general higher SVOC emissions from recycling paper. As the result of the investigations a test method for the determination of emissions from hardcopy devices was developed. This test method is the basis for emission tests in the framework of the German Award of the Environmental Label for office devices RAL -UZ 62, RAL -UZ 85 and the new RAL -UZ 114 for multifunctional devices.		
17. Keywords Emissions, VOC, Ozone, Dust, Hardcopy devices, Printers, Copiers, Emission test chamber, Environmental Label		
18. Price	19.	20.

Umweltforschungsplan
des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit

Förderkennzeichen (UFOPLAN) 201 95 311 / 02

Entwicklung einer Prüfmethode und Untersuchungen zur Begrenzung von Emissionen aus Druckern und Kopiergeräten im Rahmen der Umweltzeichenvergabe

von

Dr. Oliver Jann, Jens Rockstroh,
Dr. Olaf Wilke, Reinhard Noske, Doris Brödner, Uwe Schneider, Dr. Wolfgang Horn

Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)
Laboratorium IV.22, Emission aus Materialien



IM AUFTRAG
DES UMWELTBUNDESAMTES

Juni 2003

Inhaltsverzeichnis

1	VORBEMERKUNGEN	4
2	EINLEITUNG.....	5
2.1	Hintergrund und Aufgabenstellung.....	5
2.2	Innenraumlufthqualität	8
2.3	Bestehende Prüfvorschriften zur Bestimmung von Emissionen aus Hardcopygeräten.....	15
2.4	Theoretische Betrachtungen	16
3	METHODEN / GERÄTE	21
3.1	Emissionsmesskammern.....	21
3.2	Klima.....	29
3.3	Staub	30
3.4	Ozon	34
3.5	VOC.....	36
3.6	Materialuntersuchungen	41
4	VORGEHENSWEISE	45
4.1	Geräte und Verbrauchsmaterial	45
4.2	Durchgeführte Untersuchungen	48
5	ERGEBNISSE DER EMISSIONSMESSUNGEN	52
5.1	Allgemeines	52
5.2	Voruntersuchungen	52
5.3	Hauptuntersuchungen	53
6	UNTERSUCHUNGEN FÜR DIE ENTWICKLUNG DES PRÜFVERFAHRENS	72
6.1	Klima.....	72
6.2	Papier	75
6.3	Toner	76
6.4	Untersuchungen zum Alterungsverhalten ausgewählter Geräte	80
6.5	Vergleich der Messungen in unterschiedlichen Prüfkammern	82

6.6	Einfluss der Anzahl gedruckter Blätter auf die Emissionsraten.....	84
6.7	Vergleich unterschiedlicher Berechnungsmethoden der SER_{TVOC}	86
6.8	Partikelzählung.....	87
7	RUNDVERSUCHE	90
7.1	VOC-, Staub- und Ozonemissionsmessungen	90
7.2	Toneranalysen.....	93
8	DISKUSSION UND SCHLUSSFOLGERUNGEN	95
9	REALRAUMSZENARIO	99
10	ZUSAMMENFASSUNG	103
11	QUELLENVERZEICHNIS	107
12	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	112
13	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	113
14	TABELLENVERZEICHNIS	116
15	ANHANG.....	117
15.1	Zusammenstellung aller Messergebnisse für Ozon, Staub und TVOC	117
15.2	Ausgewählte Klimakurven	120
15.3	Ozonkurven	125
15.4	Vorlage zur Linearisierung der Graustufen in Vorbereitung der Druckvorlage	126
15.5	Druckvorlage 5 % Flächendeckung, schwarz	127
15.6	Abbildungen der verwendeten Analysengeräte	128
15.7	Vertreter des Expertenkreises.....	130
15.8	Prüfverfahren für Hardcopygeräte.....	132

1 Vorbemerkungen

Das diesem Bericht zugrundeliegende Forschungsvorhaben wurde im Auftrag des Umweltbundesamtes mit Mitteln des Umweltforschungsplanes als Teilprojekt im Rahmen des Themas „Machbarkeitsstudien für neue Umweltzeichen nach ISO 14024 [12] zu ausgewählten Produktgruppen“ gefördert.

Fragen zum Emissionsverhalten von Hardcopygeräten und Schlussfolgerungen für ein Prüfverfahren, sowie die Zwischenergebnisse des Vorhabens wurden in drei Sitzungen eines projektbegleitenden Expertenkreises diskutiert und vorgestellt. Dem Expertenkreis, der in Abhängigkeit vom Themenschwerpunkt im engeren oder weiteren Kreis tagte, gehörten vorwiegend Vertreter von verschiedenen Forschungs- bzw. Prüfeinrichtungen, Geräteherstellern sowie des Umweltbundesamtes an. Die Mitarbeiter in diesem Expertenkreis werden im Kapitel 15.7 im Anhang namentlich aufgeführt.

Den Mitarbeitern des projektbegleitenden Expertenkreises soll an dieser Stelle für die konstruktive Begleitung des Projektes gedankt werden. Dieser Dank gilt auch den Firmen, die im Rahmen des Projektes Geräte und Verbrauchsmaterial zur Verfügung gestellt haben.

2 Einleitung

2.1 Hintergrund und Aufgabenstellung

Für Menschen, die sich zum überwiegenden Teil ihres Lebens in Innenräumen, wie Wohn- und Schlafräumen, Büros, Schulen und Kindergärten aufhalten, hat die Qualität der Luft, die sie dort atmen, besondere Bedeutung.

Zur Verbesserung der Innenraumluftqualität ist es notwendig, Erkenntnisse über die Beiträge einzelner Emissionsquellen zu gewinnen und Emissionen gezielt zu vermindern. Zu den wesentlichen Emissionsquellen gehören insbesondere in Innenräumen eingesetzte Produkte, wie Ausstattungsmaterialien, Bauprodukte, Möbel, Drucker und Kopierer. Eine Bestimmung des Emissionsverhaltens dieser in Innenräumen eingesetzten Produkte muss unter standardisierten Messbedingungen in Emissionsmesskammern oder -zellen erfolgen.

Auf Basis des European - Collaborative - Action (ECA) - Reports Nr. 8 [17] wurde die Norm ENV-13419 Teil 1 und 2 [21], [22] für VOC - Emissionsprüfkammern beziehungsweise -zellen entwickelt. Ein leistungsfähiges Probenahme- und Analysenverfahren auf Basis der Tenaxprobenahme, anschließender Thermodesorption (TDS) und Analytik mittels Gaschromatographie (GC) / Massenspektroskopie (MS) bzw. GC / Flammenionisationsdetektion (FID) ist in DIN ISO 16000-6 [38] beschrieben. Beide Vorschriften ergänzen sich und ermöglichen die Bestimmung von VOC - Emissionen aus Materialien, wie Bauprodukten, aber grundsätzlich auch aus elektronischen Geräten. Dazu gehören sowohl Computer, als auch die unter dem Begriff „Hardcopygeräte“ zusammengefassten Drucker und Kopierer [66], [3].

Viele Produkte, die zur Vermeidung wesentlicher Umwelt- und Gesundheitsprobleme beitragen, können bereits mit dem Umweltzeichen (RAL - UZ), allgemein bekannt als „Blauer Engel“, gekennzeichnet werden. Die Nutzung des Zeichens ist freiwillig und muss vom Zeichennehmer beim RAL (Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V.) beantragt werden. Dabei ist die Einhaltung spezifischer Kriterien nachzuweisen.

Eine Begrenzung von stofflichen Emissionen, insbesondere flüchtigen organischen Verbindungen, ist bereits in mehreren Umweltzeichen festgelegt. Zu nennen sind hier RAL-UZ 38 für emissionsarme Produkte aus Holz und Holzwerkstoffen [44], RAL-UZ 76 für emissionsarme Holzwerkstoffplatten [47], RAL-UZ 12 a für schadstoffarme La-

cke [43], RAL-UZ 102 für emissionsarme Wandfarben [42] wie auch ein neues geplantes Umweltzeichen für emissionsarme Bodenbelagsklebstoffe und andere Verle-gewerkstoffe.

Auch für Bürodrukker und Kopierer gibt es bereits Umweltzeichenkriterien. Für Dru-cker gilt das RAL-UZ 85 [50], für Kopier das RAL-UZ 62 [46] und für Faxgeräte das RAL-UZ 95 [51]. Die aktuellen Vergabegrundlagen gelten seit 1998 und laufen noch bis Ende 2003. In den Vergabegrundlagen werden schon Anforderungen an das Emissionsverhalten gestellt, jedoch nur bezüglich Staub, Ozon und Styrol.

Die bisher gestellten Anforderungen waren zu überprüfen, insbesondere war die VOC - Emission, über die Styrolemission hinaus, in die Kriterien einzubeziehen. Zugleich sollte eine Charakterisierung über die Emissionsraten der Geräte an Stelle einer sich einstellenden Raumluftkonzentration möglich gemacht werden. Dieser An-satz der Charakterisierung der Geräte über Emissionsraten bildet auch die Basis des 2001 von der ECMA (European Computer Manufacturer Association) veröffentlichten ECMA - Standards 328 [18].

Die Notwendigkeit für ein vereinheitlichtes Prüfverfahren zur Bestimmung des Emis-sionsverhaltens von Hardcopygeräten ergab sich auch aus der in der letzten Zeit öf-fentlich geführten Diskussion über das Emissionsverhalten dieser Geräte [39], [40], [4], [5], [65], [63]. Eine Vergleichbarkeit veröffentlichter Messergebnisse war hierbei häufig nicht gegeben, da nach unterschiedlichen Verfahren gemessen wurde.

Im Rahmen der Überarbeitung der Umweltzeichenvergabegrundlagen für Drucker und Kopierer sowie der Schaffung des neuen Umweltzeichens für multifunktionale Geräte sollte eine geeignete Prüfmethode entwickelt werden, auf deren Basis sich auch Emissionsminderungspotentiale ableiten lassen. Die Basis waren hierbei neben dem ECMA-Standard 328 [18] die ENV 13419-1 [21] als Prüfkammernorm und ISO 16000-6 [38] für das Luftprobenahme- und Analysenverfahren.

Das in ENV 13419-1 [21] beschriebene Prüfkammerverfahren ist ursprünglich für die Ermittlung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen aus Bauprodukten entwickelt worden. Diese, wie auch andere innenraumrelevante Materialien werden üblicherweise über einen Zeitraum von 28 Tagen auf ihr Emissionsverhalten unter-sucht.

Für Hardcopygeräte steht aufgrund des begrenzten Vorrates von Betriebsmitteln, insbesondere des Papiers, nur eine sehr viel kürzere Untersuchungsdauer zur Verfügung. Sie liegt in der Größenordnung von wenigen Minuten bis zu maximal ein oder zwei Stunden. Ob es möglich ist, innerhalb dieses kurzen Zeitraumes eine zuverlässige Bestimmung der Emissionsraten für VOC, Staub und Ozon durchzuführen, war eine wesentliche Frage, die es innerhalb dieses Vorhabens zu beantworten galt.

Auf Basis der durchgeführten Untersuchungen und in Abstimmung mit dem projektbegleitenden Arbeitskreis sollte ein Prüfverfahren hierzu entwickelt werden. Ergänzt werden sollten diese Untersuchungen durch einen Rundversuch und Vergleichsmessungen.

Zur Untersuchung bzw. Datengewinnung standen insgesamt zehn unterschiedliche Drucker und Kopierer zur Verfügung, von denen nach Vorliegen der ersten Emissionsdaten vier für den Rundversuch ausgewählt wurden.

Weiterhin waren Fragen über den Beitrag von Betriebsmitteln wie Toner und Papier zum Emissionsverhalten des Gesamtsystems zu beantworten.

2.2 Innenraumluftqualität

Das Thema der Luftqualität in Innenräumen wird seit vielen Jahren mit zunehmender Aufmerksamkeit verfolgt. Die Bundesregierung hat die Bedeutung der damit zusammenhängenden Fragen erkannt und 1992 in der „Konzeption der Bundesregierung zur Verbesserung der Luftqualität in Innenräumen“ aufgegriffen [32]. Ein präventives Vorgehen zur Verhinderung oder Begrenzung von Emissionen hat hierbei Vorrang. Dabei geht die Bundesregierung in den Handlungsansätzen davon aus, dass eine wirksame Politik zur Reinhaltung der Luft in Innenräumen an den Schadstoffquellen ansetzen muss. Diese gilt es zu beseitigen oder mindestens deren Emissionen nachhaltig zu reduzieren.

Für die Innenraumluft liegen bisher nur in begrenztem Umfang Beurteilungswerte vor. In Tabelle 1 sind die Innenraumluftschadstoffe aufgeführt, für die bisher analog des Basisschemas nach [1] Richtwerte erarbeitet wurden. Hierbei ist zwischen einem Richtwert I, dem sogenannten Sanierungszielwert und einem Richtwert II, dem sogenannten Eingriffswert zu unterscheiden. Bei Einhaltung des Richtwertes I ist auch bei lebenslanger Exposition keine gesundheitliche Beeinträchtigung zu erwarten, sofern keine anderen Stoffe einwirken. Beim Richtwert II handelt es sich um einen wirkungsbezogenen, toxikologisch begründeten Wert, bei dessen Überschreitung unverzüglicher Handlungsbedarf besteht.

Tabelle 1: Richtwerte für die Innenraumluft nach [1]; *) 8 h - Mittel-, **) Halbstunden-, ***) Wochenwert

Stoff	Richtwert I (Sanierungszielwert)	Richtwert II (Eingriffswert)
Toluol [60]	0,3 mgm ⁻³	3 mgm ⁻³
Pentachlorphenol [2]	0,1 µgm ⁻³	1 µgm ⁻³
Dichlormethan [68]	0,2 mgm ⁻³	2 mgm ⁻³
Kohlenmonoxid [19]	1,5 mgm ⁻³ *) 6,0 mgm ⁻³ ***)	15 mgm ⁻³ *) 60 mgm ⁻³ ***)
Stickstoffdioxid [20]	- -	60 µgm ⁻³ ****) 350 µgm ⁻³ ***)
Styrol [59]	0,03 mgm ⁻³	0,3 mgm ⁻³
Quecksilber [34]	0,035 µgm ⁻³	0,35 µgm ⁻³
TCEP [58]	0,05 mgm ⁻³	0,005 mgm ⁻³
Bicyclische Terpene [57]	0,2 mgm ⁻³	2 mgm ⁻³

Um der Tatsache Rechnung zu tragen, dass die Innenraumluft eine Vielzahl von organischen Verbindungen enthält und gesundheitliche Beschwerden oft auch dann geäußert werden, wenn bestehende Richtwerte für einzelne Innenraumluftverunreinigungen eingehalten werden, wurden von der Kommission Innenraumluftthygiene (IRK) Bewertungsmaßstäbe für die Beurteilung der Innenraumluftqualität mit Hilfe der Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC) erarbeitet. Es muss aber ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass diese TVOC - Werte nicht nach dem Basisschema abgeleitet sind. Zur Verdeutlichung der Unsicherheiten, die bei der Ableitung entstanden, werden nicht einzelne Zahlenwerte, sondern Konzentrationsbereiche angegeben.

Danach ist in Räumen mit TVOC - Konzentrationen zwischen 10 und 25 mg m⁻³ ein Aufenthalt allenfalls vorübergehend täglich zumutbar. Derartig hohe Konzentrationen können im Falle von Renovierungen durchaus vorkommen. In Räumen, die für einen längerfristigen Aufenthalt bestimmt sind, sollte auf Dauer ein TVOC - Wert im Bereich von 1 bis 3 mg m⁻³ nicht überschritten werden. Ziel sollte es sein, in Innenräumen im langzeitigen Mittel eine TVOC - Konzentration von 0,2 bis 0,3 mg m⁻³ zu erreichen bzw. nach Möglichkeit sogar zu unterschreiten [31].

Ergänzend hierzu existieren Empfehlungs-, Richt- und Grenzwerte, die in Tabelle 2 dargestellt sind.

Tabelle 2: Empfehlungs-, Richt- und Grenzwerte für die Innenraumluft nach [41]

Stoff	Empfehlungs- / Richt- / Grenzwert	Veröffentlichung
Formaldehyd	0,1 ppm (0,12 mgm ⁻³)	Bundesgesundheitsamt 1977
Tetrachlorethen (Per)	0,1 mgm ⁻³ (7-Tage-Mittelwert)	2. BImSchV
Radon	250 Bqm ⁻³	Strahlenschutzkommission
Polychlorierte Biphenyle (PCB)	3000 ngm ⁻³ (Eingriffswert) 300 ngm ⁻³ (Sanierungszielwert)	Bundesgesundheitsamt
Kohlendioxid	0,15 Vol.-%	DIN 1946

Für die überwiegende Anzahl von Verbindungen, die in Innenräumen vorkommen bzw. aus Produkten emittiert werden können, ist jedoch eine Angabe von Beurteilungswerten, wenn überhaupt, nur mit erheblichen Unsicherheiten möglich, weil für den interessierenden Konzentrationsbereich ausreichende und toxikologisch belegte Daten fehlen.

Zur Bewertung der Innenraumluftqualität sind zwei weitere Ansätze, nach Mølhav [36], [37] sowie Seifert [61], [62] zu erwähnen, die ebenfalls auf dem Total - Volatile - Organic - Compounds (TVOC) - Konzept beruhen. In Tabelle 3 sind die nach [37] ermittelten TVOC - Konzentrationsbereiche sowie die damit zusammenhängenden Reizungen, Beschwerden und Expositionsbereiche dargestellt.

Tabelle 3: Dosis-Wirkungsbeziehung für Beschwerden infolge der Exposition gegenüber lösemittelartigen flüchtigen organischen Verbindungen als Luftverunreinigungen in nicht industriellen Innenräumen nach [37]

TVOC-Konzentration [mg m ⁻³]	Reizungen und Beschwerden	Expositionsbereich
< 0,20	Keine Reizungen oder Beschwerden	Komfortbereich
0,20 - 3,0	Reizungen und Beschwerden möglich, bei Einwirkung weiterer Expositionen	Bereich vielfältiger Expositionen
3,0 - 25	Auswirkung der Exposition und mögliche Kopfschmerzen bei Einwirkung weiterer Expositionen	Beschwerdebereich
> 25*)	Kopfschmerzen, darüber hinaus können zusätzliche neurotoxische Wirkungen auftreten	Bereich toxisch wirkender Expositionen

*) in der Studie nur ansatzweise diskutiert

Tabelle 4 zeigt die nach [61] vorgeschlagenen Richtwerte für die TVOC - Konzentration und VOC - Verbindungsklassen, wobei hervorzuheben ist, dass diese Werte auf eine Langzeitbelastung der Innenraumluft ausgelegt sind. Sie sind nach [61] nicht toxikologisch begründet und können bei „frisch eingebrachten“ Emissionsquellen um den Faktor 50 (bei einem Alter bis zu einer Woche) bis Faktor 10 (bei einem Alter von sechs Wochen) überschritten werden.

Nach [62] sind die in Tabelle 4 für die einzelnen Verbindungsklassen angegebenen Konzentrationsrichtwerte bei der heutigen Situation nicht mehr heranzuziehen, da sich das VOC - Spektrum in der Innenraumluft zwischenzeitlich durch das Auftreten früher nicht beobachteter Verbindungen, wie Glykolether und Aldehyde und die gleichzeitige deutliche Verringerung der Konzentrationen einiger früher wesentlich wichtigerer Verbindungen, wie verschiedener Halogenkohlenwasserstoffe verändert hat.

Tabelle 4: Vorschlag von Richtwerten für die TVOC - Konzentration und VOC - Verbindungsklassen nach [61] und [62]

VOC-Verbindungs-kategorie	Konzentration [mgm ⁻³]
Alkane	100
Aromatische Kohlenwasserstoffe	50
Terpene	30
Halogenierte Kohlenwasserstoffe	30
Ester	20
Carbonylverbindungen (Aldehyde und Ketone), ohne Formaldehyd	20
Sonstige	50
Summe (TVOC)	300

Die Konzentration einer Einzelverbindung sollte hierbei maximal 50 % des für seine VOC - Klasse angegebenen Wertes und maximal 10 % der TVOC - Konzentration betragen.

Der ECA - Report No. 18 [14] vereinigt den Aspekt der Einzelstoffbewertung mit dem TVOC - Konzept, wobei für Einzelstoffe „Lowest - Concentration - of - Interest“ (LCI) - Werte vorgeschlagen werden, die teilweise deutlich oberhalb der Werte liegen, die sich aus den obigen Empfehlungen nach [36], [37], [61], [62] ableiten lassen würden. Jedoch ist die Zielsetzung des ECA-Reports weniger direkt die Innenraumluft als vielmehr die Bewertung von neuen Bauprodukten, wie z. B. festen Bodenbelägen.

In Anlehnung an diesen ECA-Report ist vom Ausschuss für die gesundheitliche Bewertung von Bauprodukten (AgBB) das AgBB-Bewertungsschema „Vorgehensweise bei der gesundheitlichen Bewertung der Emissionen von VOC aus Bauprodukten“ entwickelt worden [6], das in Abbildung 1 dargestellt ist.

Zur Feststellung der Emissionen von Bauprodukten sind hierbei Untersuchungen in Prüfkammern durchzuführen. Die Messungen erfolgen nach drei und nach 28 Tagen. Nach drei Tagen darf die Summe aller detektierten Karzinogene nicht größer als 10 µg m⁻³ sein. Gleichzeitig darf der TVOC - Wert 10 mg m⁻³ nicht übersteigen. Für eine Einstufung als „empfehlenswert“ muss der TVOC - Wert kleiner als 1 mg m⁻³ sein.

Nach 28 Tagen darf die Summe aller detektierten Karzinogene nicht größer als 1 µg m⁻³ sein. Gleichzeitig darf der TVOC - Wert 1 mg m⁻³ nicht übersteigen. Für eine Einstufung als „empfehlenswert“ muss der TVOC-Wert kleiner als 0,2 mg m⁻³ sein.

Außerdem gibt es eine Begrenzung der Semi Volatile Organic Compounds (SVOC). Die Summe der SVOCs darf höchstens $0,1 \text{ mg m}^{-3}$ erreichen, für die Kategorie „empfehlenswert“ nur $0,02 \text{ mg m}^{-3}$. Hinzu kommt eine Einzelstoffbewertung mittels „Niedrigster - Interessierender - Konzentrations - (NIK) - Werte“.

Bei dem in Abbildung 1 dargestellten Ablaufschema gibt es zur Zeit keine Unterteilung in „empfehlenswert“ oder „brauchbar“, sondern nur die Kategorie „brauchbar“.

Die Prüfergebnisse ermöglichen einen Vergleich der Emissionen der Einzelmaterien unter den Standardbedingungen der Emissionsprüfkammer und den Nachweis eventuell emittierender krebserregender oder krebverdächtiger Substanzen. Die im realen Innenraum resultierenden Konzentrationen werden aber durch die Kombination von Materialien beeinflusst. Außerdem spielt neben den realen Klima- und Luftaustauschratebedingungen sowie den realen Emissionsflächen auch die Sorption von VOCs und SVOCs an andere Ausstattungsmaterialien oder Hausstaub eine Rolle.

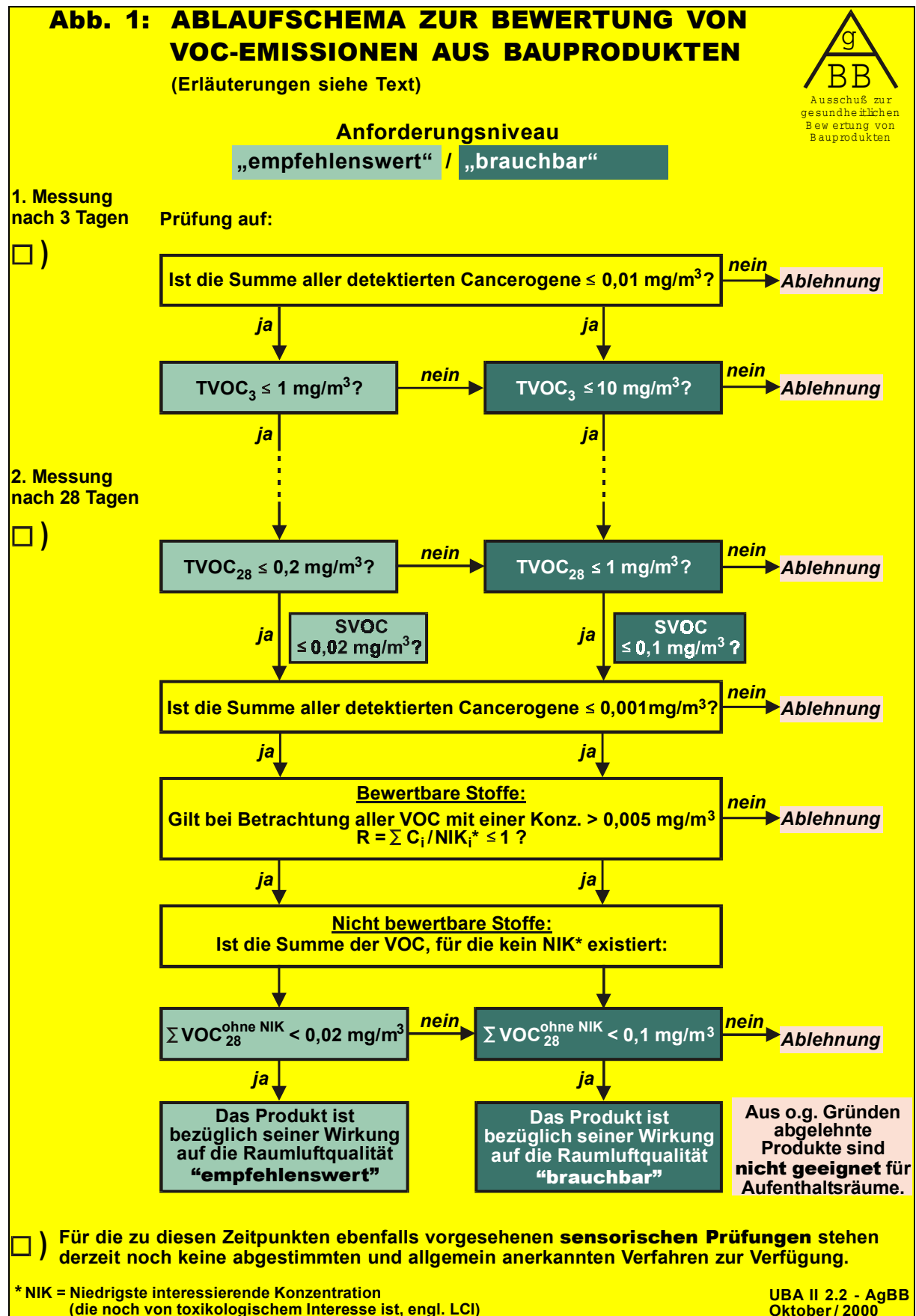


Abbildung 1: AgBB - Ablaufschema [6]

Flüchtige organische Verbindungen werden unterschiedlich definiert. Bei der Definition gemäß WHO bzw. ECA- Report Nr. 19 [15] wird eine Unterscheidung nach Flüchtigkeitsklassen in sehr flüchtige organische Verbindungen (VVOC, Siedebereich $< 0^{\circ}\text{C}$ bis $50 - 100^{\circ}\text{C}$), flüchtige organische Verbindungen (VOC, Siedebereich $50 - 100^{\circ}\text{C}$ bis $240 - 260^{\circ}\text{C}$), schwer flüchtige organische Verbindungen (SVOC, Siedebereich $240 - 260^{\circ}\text{C}$ bis $380 - 400^{\circ}\text{C}$) und extrem schwer flüchtige organische Verbindungen, die überwiegend staubgebunden bzw. staubförmig auftreten (POM, Siedebereich größer als 380°C) vorgenommen.

Diese Differenzierung in Flüchtigkeitsklassen erfolgt im Wesentlichen auch in der neuen Entwurfsfassung der DIN ISO 16000-6 [38] (Bestimmung von VOC in der Innenraumlufte und in Prüfkammern) vom September 2002. TVOC wird dabei definiert als die Summe der Konzentrationen identifizierter und unidentifizierter flüchtiger organischer Verbindungen, die zwischen und einschließlich n-Hexan und n-Hexadekan eluiert werden. Dabei wird eine unpolare Kapillarsäule vorgeschrieben.

Im vorliegenden Bericht ist unter dem Begriff TVOC analog zu DIN ISO 16000-6 [38] ebenfalls die Summe der Konzentrationen aller identifizierten und nicht identifizierten Substanzen zu verstehen, die zwischen n-Hexan und n-Hexadekan eluieren. Hierbei sind jedoch alle identifizierten Verbindungen individuell quantifiziert. Die nicht identifizierten Verbindungen werden unter Zugrundelegung des Responsefaktors von Toluol quantifiziert.

Organische Verbindungen mit Siedepunkten von mehr als 287°C , welcher der des n-Hexadekans entspricht, werden im vorliegenden Bericht analog DIN ISO 16000-6 in der Fassung vom November 2000 [25] als schwer flüchtige Verbindungen (SVOC) definiert.

2.3 Bestehende Prüfvorschriften zur Bestimmung von Emissionen aus Hardcopygeräten

- a) Bisher geltende Vergabegrundlagen für Drucker (RAL-UZ 85 [50]), Kopier- (RAL-UZ 62 [46]) und Faxgeräte (RAL-UZ 95 [51])

In den bisher geltenden Vergabegrundlagen sind nur Anforderungen bezüglich Staub-, Ozon- und Styrolemissionen formuliert. Außer Styrol existieren keine Begrenzungen für andere VOC-Emissionen.

Die Prüfung der Emissionen muss in einer 50 m³ - Kammer erfolgen. Die Starttemperatur beträgt 25 °C ± 2 K und die relative Luftfeuchtigkeit 50 % ± 2 %. Die Luftprobenahme erfolgt in der Nähe der Kopfposition des Bedienpersonals. Die zur Zeit in den Vergabegrundlagen festgelegte teflonausgekleidete 50 m³ - Kammer, die am Boden mit einem nichttextilen Bodenbelag ausgestattet ist, entspricht nicht mehr den heute geltenden Anforderungen an Emissionsmesskammern nach ENV 13419 - 1 [21].

Die bestehende Prüfvorschrift beinhaltet des Weiteren keine Festlegungen für die Luftaustauschrate in der Kammer und für flächen- oder gerätespezifische Luftdurchflussraten. Eine Begrenzung der Hintergrundkonzentration der Kammer bzw. des Kammerblindwertes liegt nicht vor. Der Zeitraum zwischen den beiden Sammelperioden von jeweils einer Stunde ist nicht festgelegt. Das Nachlegen und / oder das Entnehmen von Papier, das aufgrund der hohen Druckleistung moderner Geräte spätestens nach rund einer halben Stunde erfolgen muss, wird entweder durch Personal gewährleistet, das sich während der Prüfung in der Kammer aufhält, oder die Kammer während der Prüfung betritt. Als Druckvorlage ist der „Dr. Grauert - Brief“ zu verwenden.

- b) ECMA-Standard 328 “Detection and measurement of chemical emissions from electronic equipment” [18]

Mit Vorlage des ECMA Standards 328 [18] durch die European Computer Manufacturer Association (ECMA) ist ein wichtiger Schritt zu einem leistungsfähigen Prüfverfahren zur Bestimmung von Emissionen elektronischer Geräte erfolgt. Dieses Verfahren basiert auf dynamischen Prüfkammermessungen in Verbindung mit einer leistungsfähigen Analytik. Es ist jedoch sehr breit auf elektronische Geräte angelegt und berücksichtigt die Besonderheiten bei der Prüfung von Hardcopygeräten, die mit

Verbrauchsmaterial betrieben werden, insbesondere die kurze Druckdauer, nur beschränkt. Dies führte in der Vergangenheit dazu, dass teilweise sehr unterschiedliche Verfahrensweisen praktiziert wurden, mit der Folge unter Umständen nur schwer vergleichbarer und interpretierbarer Emissionsdaten. Diese basierten zum Beispiel auf der Anwesenheit von Personen in den Prüfkammern oder dem Öffnen der Prüfkammern zum Papiernachlegen. Auch Probenahmeorte und -verfahrensweisen unterschieden sich z.B. zwischen kleinen und großen Emissionsmesskammern, wie auch die Verfahrensweisen zur Berechnung von Emissionsraten. Zulässige Emissionswerte wurden im ECMA-Standard 328, als reinem Prüfstandard, nicht formuliert.

2.4 Theoretische Betrachtungen

In der Regel werden Emissionsmessungen an Materialien oder Produkten in Emissionsmesskammern über einen längeren Zeitraum durchgeführt. Die Standardprüfdauer für VOC - Emissionen aus Bauprodukten beträgt 28 Tage [6], [21]. Während dieser Zeit ist in der Regel ein Absinken der VOC - Konzentrationen festzustellen. Abbildung 2 illustriert dieses Verhalten am Beispiel des Konzentrationsverläufe verschiedener Terpene, die aus einer Holzwerkstoffplatte emittiert wurden [27].

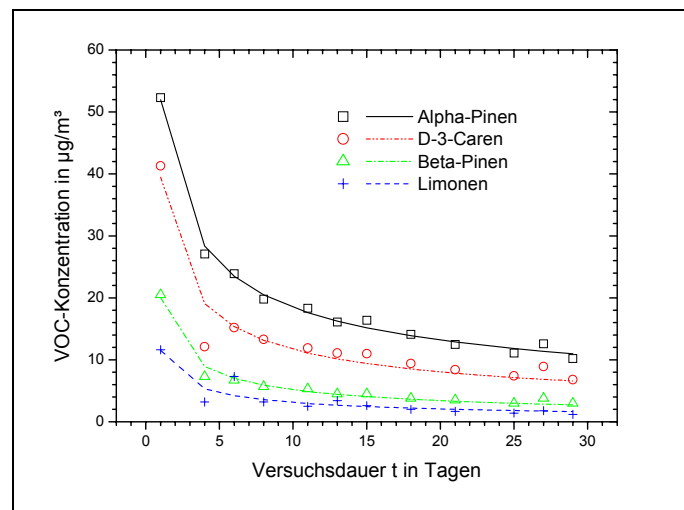


Abbildung 2: VOC - Konzentrationsverläufe am Beispiel verschiedener Terpene, emittiert aus einer Holzwerkstoffplatte

Diese Konzentrationsabnahme ist auf eine Alterung des Untersuchungsmaterials zurückzuführen, durch die es zu einer Verarmung der VOCs in der äußeren Materialgrenzschicht kommt. Infolgedessen laufen die Emissionsprozesse zunehmend diffusionskontrolliert ab. Der Konzentrationsanstieg während weniger Minuten bis Stun-

den ist abhängig von Kammer- bzw. Zellenvolumen und der Luftaustauschrate. Bei diesen Langzeitmessungen ist er von eher untergeordneter Bedeutung und wird in der Regel nicht messtechnisch erfasst.

Bei den vorliegenden Untersuchungen an Hardcopygeräten standen jedoch selbst bei Ausstattung der Geräte mit dem maximalen Papiervorrat von 500 Blatt für gängige Tischgeräte nur höchstens 36 Minuten für die Untersuchung im Druckmodus zur Verfügung. Die Frage war daher, ob bei Auswahl geeigneter dynamischer Untersuchungsbedingungen, wie Kammervolumen und Luftaustauschrate, in dieser kurzen Zeitspanne überhaupt eine konstante Gleichgewichtskonzentration erreicht werden kann. Aus der Gleichgewichtskonzentration ließe sich in Anlehnung an [21] direkt die Emissionsrate nach Gleichung 1 berechnen.

$$SER_u = c * n * V$$

Gleichung 1

c :	Konzentration des Analyten in der Prüfkammer	$[\mu\text{g m}^{-3}]$
SER_u :	Emissionsrate des Analyten	$[\mu\text{g Stück}^{-1} \text{h}^{-1}]$
n :	Luftaustauschrate	$[\text{h}^{-1}]$
V :	Prüfkammervolumen	$[\text{m}^3]$

Die Stoffkonzentration in einer Emissionsmesskammer oder einem Raum, die zur Vereinfachung als senkenfrei angesehen werden, baut sich in Abhängigkeit von Raumvolumen, Luftaustausch- und Emissionsrate über die Zeit nach Gleichung 2 auf.

$$c = \frac{SER_u * (1 - e^{-n*t})}{V * n}$$

Gleichung 2

Hierbei resultiert für eine 1 m^3 - Kammer bei einer angenommenen Emissionsrate von $SER_u = 1 \text{ mg h}^{-1}$ der in Abbildung 3 dargestellte theoretische Konzentrationsverlauf.

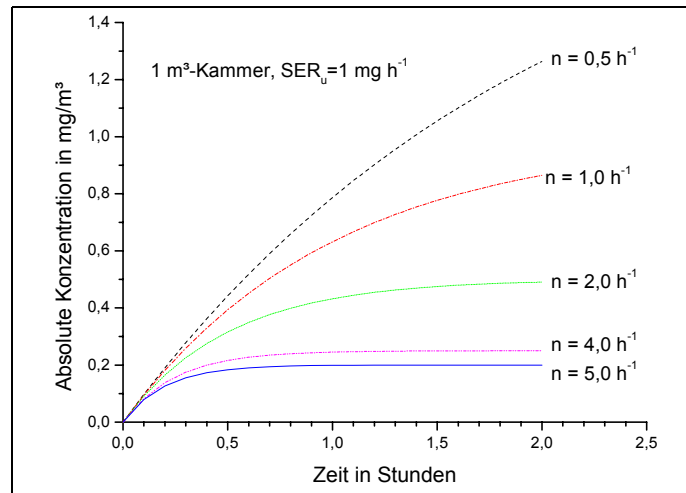


Abbildung 3: Theoretischer Konzentrationsverlauf in einer 1 m³ - Kammer bei unterschiedlichen Luftaustauschraten (für Berechnung angenommene Emissionsrate $SE_{R_u} = 1 \text{ mg h}^{-1}$)

Für eine 20 m³ - Kammer sind die Konzentrationsverläufe gleich, aufgrund des größeren Kammervolumens stellen sich aber wesentlich geringere Konzentrationen ein. In Abbildung 4 ist dieses Verhalten dargestellt.

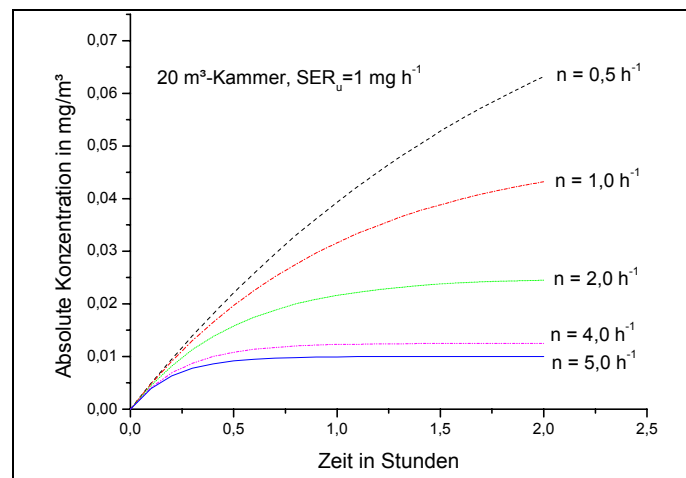


Abbildung 4: Theoretischer Konzentrationsverlauf in einer 20 m³ - Kammer bei unterschiedlichen Luftaustauschraten (für Berechnung angenommene Emissionsrate $SE_{R_u} = 1 \text{ mg h}^{-1}$)

Bei einer Darstellung der Konzentrationsverläufe in Prozent der Gleichgewichtskonzentration resultiert der in Abbildung 5 zu erkennende Konzentrationsverlauf, der für alle Kammervolumina gleich ist.

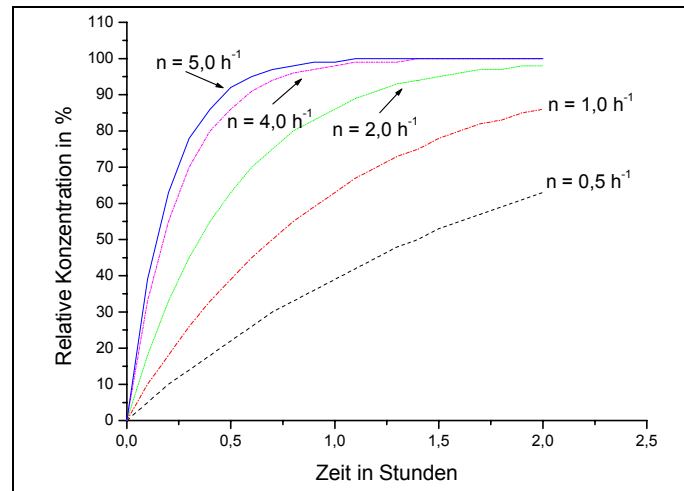


Abbildung 5: Theoretischer prozentualer Konzentrationsverlauf bei unterschiedlichen Luftaustauschraten (für Berechnung angenommene Emissionsrate $SE_{R_u} = 1 \text{ mg h}^{-1}$)

Erkennbar ist, dass bei großen Luftaustauschraten, wie z.B. $n = 5,0 \text{ h}^{-1}$ nach 30 Minuten die Gleichgewichtskonzentration mit 92 % nahezu erreicht ist. Bei kleinen Luftaustauschraten, wie z.B. $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$ beträgt die Konzentration dagegen erst 22 % der Gleichgewichtskonzentration. Daraus lässt sich ableiten, dass bei kleinen zur Verfügung stehenden Druckzeiten der Geräte hohe Luftaustauschraten benötigt werden, um innerhalb der kurzen Zeit die Gleichgewichtskonzentration zu erreichen. Nur dann ist es zulässig, die Emissionsrate direkt aus der Konzentration zu berechnen.

Alternativ hierzu besteht grundsätzlich die Möglichkeit, bei Nichterreichen der Gleichgewichtskonzentration eine Korrektur der Emissionsrate unter Zuhilfenahme einer Exponentialfunktion vorzunehmen. Die Berechnung der Emissionsrate kann dann nach Gleichung 3 erfolgen.

$$SE_{R_u} = \frac{c^* n^* V}{1 - e^{-n^* t}}$$

Gleichung 3

Eine weitere Alternative zur Ermittlung von Emissionsraten besteht darin, von Beginn der Druckphase bis zum Ende einer nachgeschalteten Nachlaufphase eine durchgehende Probenahme vorzunehmen. Der Konzentrationsverlauf ist hierbei, wie in Abbildung 6 erkennbar, durch einen Konzentrationsaufbau analog Gleichung 2 gekennzeichnet. Nach Druckende beginnt direkt die Nachlaufphase, in der die Analytkonzentration c_0 vorliegt. Der Konzentrationsabfall von C_0 während der Nachlaufphase wird durch Gleichung 4 beschrieben.

$$c = c_0 * e^{-n*t}$$

Gleichung 4

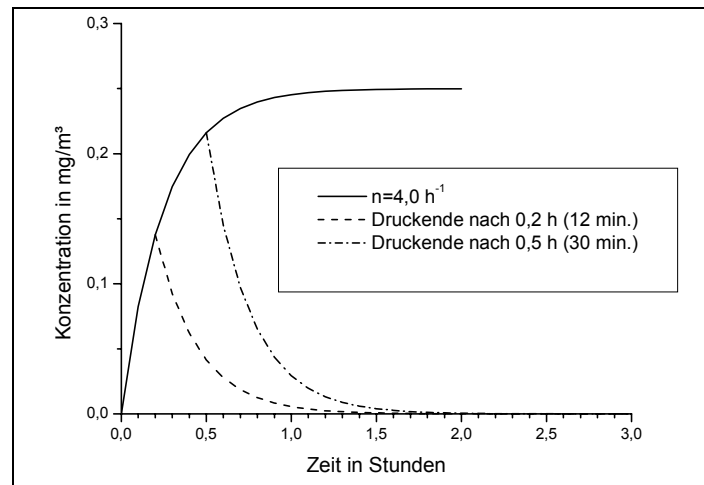


Abbildung 6: Theoretischer Konzentrationsverlauf bei einer Luftaustauschrate von $n = 4 \text{ h}^{-1}$ und einem Druckende nach 0,2 bzw. 0,5 Stunden

Die obigen Ausführungen beziehen sich insbesondere auf die Ausbildung von VOC - Konzentrationen. Für Ozon ergibt sich eine besondere Situation, da hier neben der Luftaustauschrate auch der Ozonabbau eine wesentliche Rolle spielt.

Für die Ermittlung der Staubkonzentration mit dem eingesetzten gravimetrischen Verfahren empfiehlt sich eine Ermittlung der Emissionsrate durch eine Messung von Beginn der Druckphase bis zum Ende der Nachlaufphase.

3 Methoden / Geräte

3.1 Emissionsmesskammern

Emissionsmesskammern dienen dazu, unter standardisierten und weitgehend konstanten Versuchsbedingungen die durch Kontaminationsquellen in die Luft abgegebenen Substanzen reproduzierbar zu bestimmen.

Die bei CEN TC 264, WG 7 erarbeitete Norm ENV 13419, Teil 1 - 3, [21], [22], [23] beinhaltet die Bestimmung von VOC - Emissionen mittels Emissionsmesskammern bzw. -messzellen. Beschrieben werden darin außerdem die Gewinnung, Behandlung und Vorbereitung der Emissionsproben.

Für Untersuchungen von Materialemissionen kommen in Deutschland 1 m³ - Kammern vielfach zum Einsatz. Seit mehreren Jahren ist auch eine kommerzielle VOC-Emissionsmesskammer mit einem Volumen von 1 m³ erhältlich [35]. Als Prüfklima ist eine Temperatur von 23 °C und eine relative Luftfeuchtigkeit von 50 % vorgeschrieben.

Weitere wesentliche Kriterien, wie Luftaustauschrate (n) und Raumbeladung (a), bzw. der nach [21], [22] als flächenspezifische Luftdurchflussrate bezeichnete Quotient aus Luftaustauschrate und Raumbeladung sind unterschiedlich festgelegt. Für Geräte ist der Begriff der stückspezifischen Luftdurchflussrate eingeführt worden, da die Bestimmung der Oberfläche komplexer Geräte unpraktikabel ist.

Hinsichtlich der Luftströmungsgeschwindigkeit ist ein Bereich von 0,1 bis 0,3 m s⁻¹ [21] definiert. Der Abstand von der Probenoberfläche für die Messung der Luftströmungsgeschwindigkeit wird hierbei in [21] auf 10 mm festgelegt.

Wenn es um die Bestimmung des Emissionsverhaltens von flüchtigen organischen Verbindungen in geringen Konzentrationen bis in den unteren µg m⁻³-Bereich geht, sind nicht nur die üblichen Parameter wie Temperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Luftaustauschrate und Luftströmungsgeschwindigkeit auf einem bestimmten Level konstant zu halten, sondern es sind darüber hinaus auch besondere, weitergehende Anforderungen an die Prüfkammern zu stellen, insbesondere:

- Weitgehend inerte Kammerwände aus Glas oder poliertem Edelstahl zur Minimierung von Wandeffekten
- Effektive Luftdurchmischung
- Minimierung von Dichtungsmaterialien, die Eigenemissionen sowie Adsorptions- und Desorptionseffekte verursachen können
- Reinigungsfähigkeit der Kammer, z.B. durch Ausheizen
- VOC- und staubarme Reinstluft- und Reinstwasserversorgung

Die Wahl weitgehend inerter Kammerwandmaterialien ist dadurch begründet, dass Adsorptionseffekte an den Kammerwänden möglichst gering gehalten werden, damit die Stoffkonzentration in der Luft nicht durch sogenannte Wandeffekte beeinflusst wird. Neben der Beeinflussung der Stoffkonzentration in der Luft während der Emissionsmessung können sich diese Wandeffekte auch bei nachfolgenden Untersuchungen in Form von Memoryeffekten aus der vorhergehenden Messung störend bemerkbar machen. Aus diesen Gründen ist auch grundsätzlich eine Blindwertbestimmung zwischen zwei Kammerversuchen erforderlich. Für eine geeignete Desorption von möglicherweise an den Kammerwänden adsorbierten organischen Verbindungen ist zu sorgen.

Im Fall von extrem schwerflüchtigen Verbindungen aus dem Bereich der SVOC / POM (siehe auch Kapitel 2.2) können Wandeffekte gravierende Auswirkungen haben [28]. Memoryeffekten kann man beispielsweise durch das Ausheizen bei hohen Temperaturen begegnen. In Tabelle 5 sind die Anforderungen an die maximalen Hintergrund- bzw. Kammerblindwerte nach dem ECMA - Standard 328 [18] und nach der ENV 13419, Teil 1 [21] bezüglich TVOC, Einzel - VOC, Ozon und Staub vergleichend dargestellt.

Tabelle 5: Übersicht der maximal tolerierbaren Hintergrundwerte der Emissionsprüfkammern nach [18] und [21]

Analyt	Maximale Hintergrundkonzentration [μgm^{-3}] nach	
	ECMA - Standard 328 [18]	ENV 13419, Teil 1 [21]
VOC	< 2,0	< 2,0
TVOC	< 50	< 10
Ozon	< 4	keine Angabe
Staub	< 10	keine Angabe

Für die Untersuchungen im Rahmen dieses Vorhabens wurden Emissionsmesskammern mit Volumina von 1 m³ und 20 m³ eingesetzt, die alle die gleichen Standardklimabedingungen von T = 23 °C und einer rel. F. von 50 % aufwiesen. Alle Kammern wurden darüber hinaus mit der gleichen Luftströmungsgeschwindigkeit von 0,1 bis 0,3 m s⁻¹ betrieben. Diese wurde an der Emissionsfläche ermittelt, wobei der Abstand zum Mittelpunkt des verwendeten Hitzdrahtanemometers ca. 10 mm betrug.

Des weiteren waren alle Kammern mit dem gleichen Reinstluftversorgungssystem ausgestattet. Die Reinstluftversorgung erfolgte über einen Kompressor, dessen Druckluft über eine nachgeschaltete Reinigungseinheit entölt, getrocknet und von VOC bzw. Staub gereinigt wird. Die Reinigungseinheit (Ultrafilter Oilfreepac) besteht aus Vorfilter (Staub- und Aerosolabscheidung), Lufttrocknung (Heatless Dryer - Kieselgel mit automatischer Regeneration), Aktivkohle-Patrone zur VOC-Absorption sowie Feinfilter und Nachfilter (Submikrofilter < 0,01 µm, Abscheidegrad 99,99999 %), um sowohl aus der Umgebungsluft zugeführten Feinstaub als auch Aktivkohleabrieb zurückzuhalten.

Die anschließende Befeuchtung der Luft auf die erforderliche relative Luftfeuchtigkeit erfolgte nach unterschiedlichen Prinzipien, entweder durch eine Mischbefeuchtung aus trockenem und feuchtem Teilstrom bzw. über einen Taupunkt- oder Dampfbefeuchter.

Für die Befeuchtung wird hochreines Wasser verwendet. Es wird aus entsalztem Wasser gewonnen, das im Fall der Kammern mit einem Volumen von ≤ 1 m³ zusätzlich über eine Nachreinigung (EASYpure UV D 7402) zur weiteren Entsalzung und Entfernung von eventuell vorhandenen organischen Verbindungen geführt wird. Einen Überblick über die in den einzelnen Emissionsmesskammern eingestellten Parameter gibt Tabelle 6.

Tabelle 6: Darstellung der Parameter in den eingesetzten Emissionsmesskammern

Parameter	Einheit	1 m ³ - Kammer	20 m ³ - Kammer
Volumen	m ³	1	20
Wandmaterial		Edelstahl	
Temperatur (T)	°C	23	
Relative Luftfeuchtigkeit (rel. F.)	%	50	
Luftaustauschrate (n)	h ⁻¹	1 - 5	1 - 2
Luftvolumenstrom (V°)	m ³ h ⁻¹	1 - 5	20 - 40
Gerätespezifische Luftdurchflussrate (q)	m ³ Stück ⁻¹ h ⁻¹	1 - 5	20 - 40
Luftversorgung		Reinstluft	

3.1.1 1 m³ - Kammern

Als 1 m³ - Emissionsmesskammer wurde im Rahmen dieses Vorhabens eine Standard - VOC - Emissionsmesskammer der Firma Vötsch Industrietechnik GmbH eingesetzt, die seit einiger Zeit kommerziell angeboten wird, ENV 13419-1 [21] entspricht und in der Literatur bereits ausführlich beschrieben wurde [13]. Diese Kammer wird im Weiteren als 1 m³ - Kammer B bezeichnet. Sie ist in Abbildung 7 schematisch dargestellt.

Diese Kammer weist einen Innenprüfraum aus Edelstahl mit geringer Rautiefe auf, der gegen die Umgebung hermetisch abgeschlossen ist, was unter anderem durch den über eine Magnetkupplung von außen angetriebenen Prüfraumventilator erreicht wird. Die Klimatisierung der Kammer erfolgt über Manteltemperierung und Taupunkt-befeuchtung. Zur Reinigung der Kammer existiert ein Ausheizsystem, mit dem durch thermische Desorption bei bis zu 240 °C Memoryeffekte vermieden werden können. Die Oberfläche der prinzipiell zur Adsorption schwerflüchtiger Verbindungen befähigten Wände und Einbauten beträgt rund 7 m².

Für die Luftprobenahme sind an den Probenahmestutzen nutzerseitig die Voraussetzungen geschaffen, Probenahmerohre mit Außendurchmessern von 6 bis 14 mm anzuschließen. Zusätzlich sind zum Anschluss einer speziellen Probenahmehülse für hohe Probenahme-flussraten Gewindestutzen von ¼ Zoll vorhanden. Abbildung 8 stellt zum besseren Verständnis ein Bild der eingesetzten 1 m³ - Kammer Typ B dar.

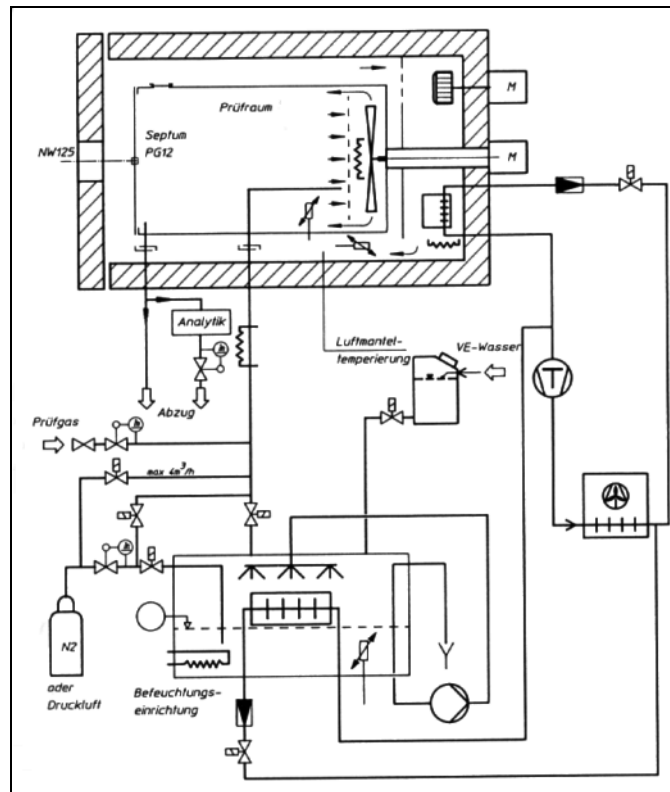


Abbildung 7: Prinzipdarstellung der Standard - VOC - 1 m³ - Emissionsmesskammer Typ B (Werkszeichnung der Vötsch Industrietechnik GmbH)

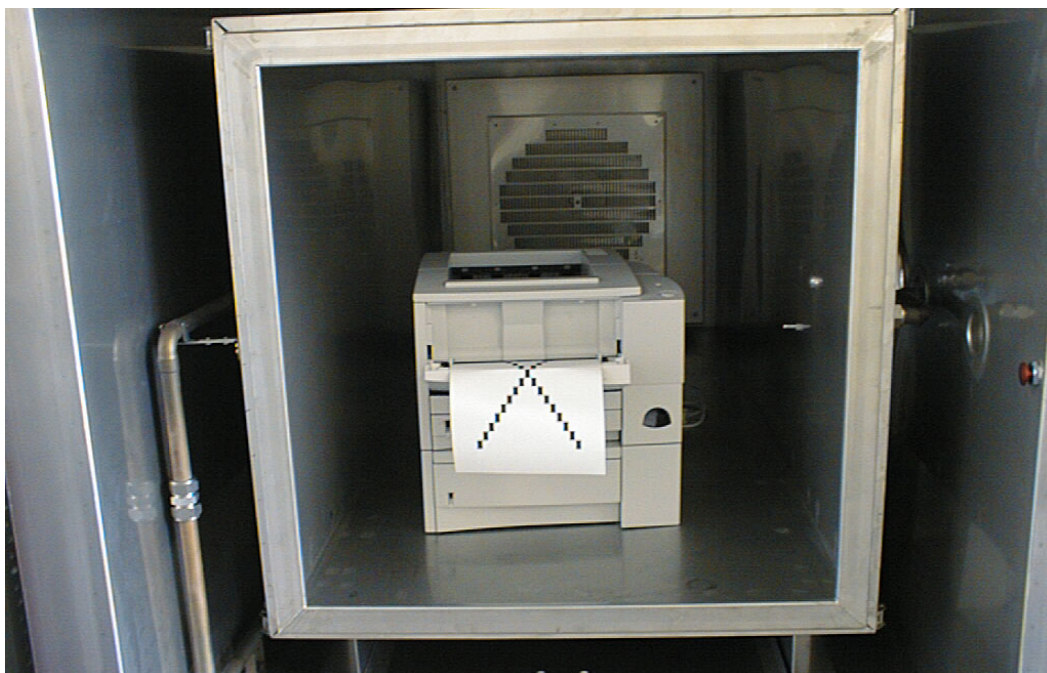


Abbildung 8: Bild der 1 m³ - Emissionsmesskammer Typ B, beladen mit einem untersuchten Drucker

Als weitere Kammer kam eine 1 m³ - Kammer aus elektropoliertem Edelstahl zum Einsatz, die Teil einer Prüfkammerapparatur ist, dargestellt in Abbildung 9 und Abbildung 10. Die Prüfkammerapparatur besteht neben einer 1 m³ - Kammer aus mehreren 0,02 m³ - Kammern, die alle an das gleiche Versorgungssystem klimatisierter Reinstluft angeschlossen sind und sich in einer Klimakammer befinden. Diese 1 m³ - Kammer wird im weiteren als 1 m³ - Kammer Typ A bezeichnet.



Abbildung 9: Bild der 1 m³ - Emissionsmesskammer A, beladen mit einem untersuchten Drucker

Durch die Unterbringung in einer temperaturgeregelten äußeren Klimakammer ist ebenfalls das Prinzip der Manteltemperierung gewährleistet. Die 1 m³ - Kammer ist aus Edelstahl gefertigt und innen elektropoliert. Die Wandfläche, inklusive Einbauten (Ventilator, Luftleitbleche), beträgt wie bei der 1 m³ - Kammer Typ B rund 7 m². Die Kammer besitzt einen Luftein- und -auslass sowie mehrere Probenahmestutzen, ferner einen Ventilator mit außerhalb der Kammer liegendem Motor mit Drehzahlsteuerung zur Einstellung der Luftströmungsgeschwindigkeit in der Kammer. Die Türdichtung besteht aus getempertem emissionsarmen Silikonprofil. Die Einstellung des Luftdurchflusses für die Luftaustauschrate ($n = 0,5$ bis $4,7 \text{ h}^{-1}$) erfolgt über Nadelventil und Durchflussmesser.

Für die Luftprobenahme sind wie bei der 1 m³ - Kammer, Typ B, an den Probenahmestutzen die Voraussetzungen geschaffen, Probenahmerohre mit Außendurchmessern von 6 bis 14 mm anzuschließen. Zusätzlich sind Gewindestutzen von ¼ Zoll vorhanden, um eine spezielle Probenahmehülse für hohe Probenahmeflussraten und -volumina anschließen zu können.

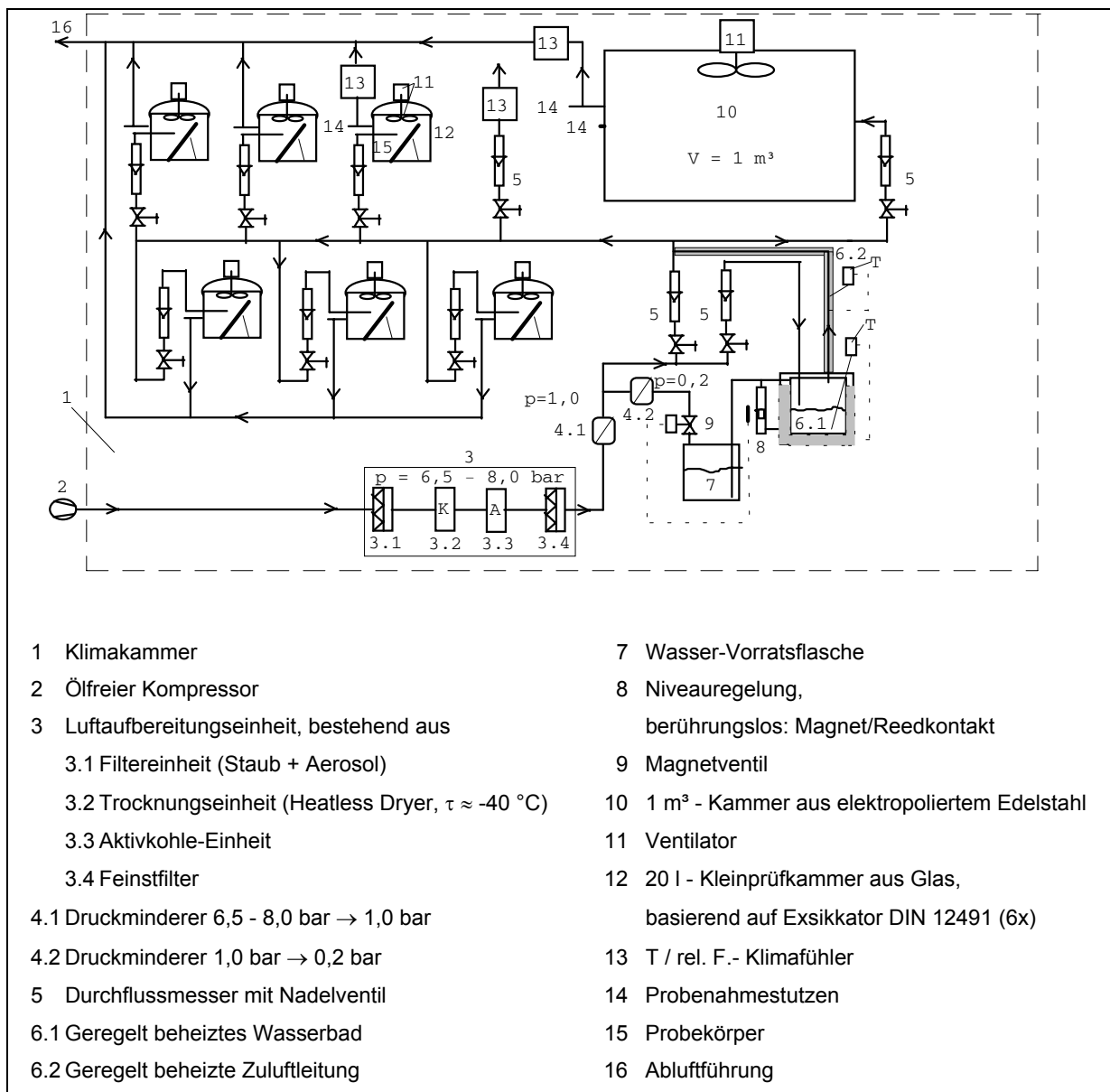


Abbildung 10: Prinzipdarstellung Kleinprüfkammerapparatur (0,02 m³-Kammern) in Verbindung mit der 1 m³ - Kammer Typ A in der Klimakammer

Für die Untersuchungen wurde die Kammer mit einer Luftaustauschrate von $n = 1 \text{ h}^{-1}$ betrieben. Zur Realisierung hoher Luftdurchflussraten wurde die Luftaustauschrate auf bis zu $n = 4,7 \text{ h}^{-1}$ erhöht.

3.1.2 20 m³ - Kammer

Im ECA - Report Nummer 2 [16] ist die Prüfkammermethode für Messkammern mit einem Volumen von $\geq 12 \text{ m}^3$ für die Bestimmung der Formaldehydausgleichskonzentration beschrieben. In der DIN V ENV 717-1 [13] sind für Messungen der Formaldehydausgleichskonzentration ebenfalls große Kammern mit Volumina $\geq 12 \text{ m}^3$ beschrieben. Abbildung 11 stellt ein Schema der für die Untersuchungen eingesetzten 20 m³ - Kammer dar. Abbildung 12 zeigt zum besseren Verständnis ein Bild der eingesetzten 20 m³ - Kammer.

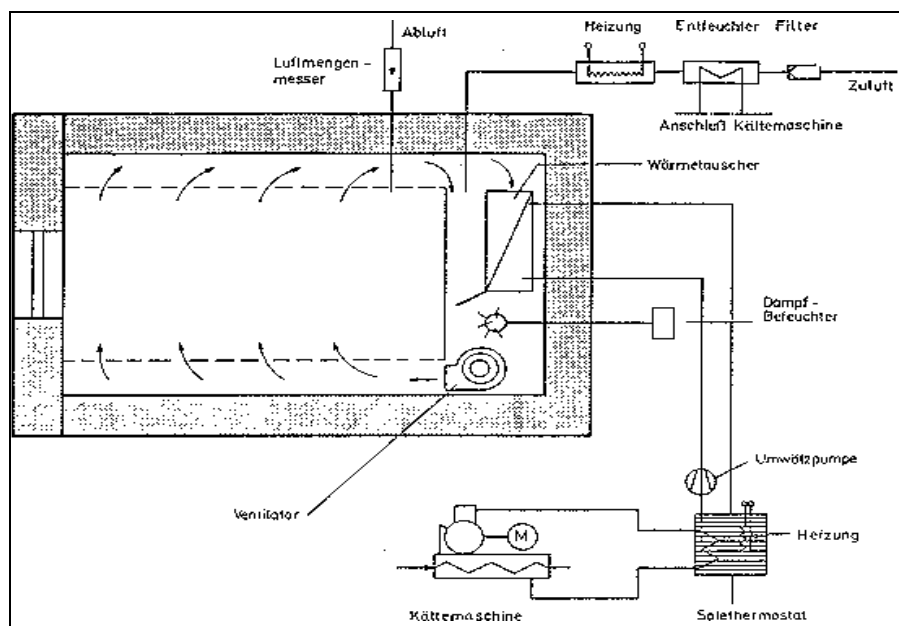


Abbildung 11: Prinzipschema der 20 m³ - Formaldehydprüfkammer, SYSTEM WEISS



Abbildung 12: Bild der 20 m³ - Emissionsmesskammer, beladen mit einem untersuchten Kopierer

Diese Kammer ist an das gleiche Reinstluftversorgungssystem angeschlossen, wie es bei den anderen Kammern auch zum Einsatz gelangt. Ohne Reinstluftversorgungssystem durchgeführte Messungen des Kammerblindwertes führen zu unakzeptabel hohen und instabilen Blindwerten.

Da diese Kammer ursprünglich nur für Formaldehydmessungen konzipiert war, entspricht sie in einigen wesentlichen Punkten nicht den Anforderungen, wie sie an VOC- Emissionsmesskammern gestellt werden. Dies betrifft insbesondere die Temperierung und die Vorrichtungen zur Luftverteilung. Anstelle der empfohlenen Manteltemperierung erfolgt die Temperatureinstellung in der 20 m³ - Kammer über einen großflächigen Wärmetauscher, über den die Luft im Kreislauf geführt wird (Abbildung 11). Im Hinblick auf mögliche unerwünschte Adsorptionseffekte an Innenflächen der Kammer könnten die Flächen des Wärmetauschers störend wirken. Inwieweit die Messergebnisse hierdurch beeinflusst werden, ist im vorliegenden Bericht im Rahmen von Vergleichsmessungen mit anderen Kammern untersucht worden (siehe Abschnitt 6.5).

Der Vorteil einer großen Kammer ist, dass hier auch komplexe Materialkombinationen bzw. große Hardcopystandgeräte untersucht werden können. Die 20 m³ - Kammer wird in der Regel bei einer Luftaustauschrate von $n = 1 \text{ h}^{-1}$ mit einem Luftvolumenstrom von 20 m³ h⁻¹ betrieben.

3.2 Klima

Die Klimamessungen wurden auf der Grundlage kalibrierter Geräte vorgenommen. Als externe Messgeräte kamen Klimafühler in Verbindung mit einem Datenlogger vom Typ 3290-8 der Firma ALMEMO zum Einsatz. Damit war eine kontinuierliche Messung an verschiedenen Messstellen möglich. Die Kalibrierung der einzelnen Messfühler erfolgte anhand der Messungen mit dem Aspirationspsychrometer nach Aßmann und einem kalibrierten Thermometer.

Messgenauigkeit der Klimafühler

<u>Feuchtesensor</u>	:	Typ FH A 646-R
Messbereich	:	5 % bis 98 % rel. F.
Max. Linearitätsabweichung	:	± 2 % rel. F.
Betriebstemperatur	:	- 30 °C bis +100 °C
Nenntemperatur	:	25 °C ± 3 K

<u>Temperatursensor</u>	:	NTC Typ N
Genauigkeit	:	0 °C bis 70 °C ± 0,1 K
<u>Luftdrucksensor</u>	:	Typ FD A 612 MA
Messbereich	:	0 mbar bis 1050 mbar
Genauigkeit	:	± 0,5 % (typisch ± 0,1 % vom Endwert)
Betriebstemperatur	:	25 °C ± 3 K

3.3 Staub

Zur Bestimmung der Staubemissionsrate wurde als klassisches Verfahren die Gravimetrie eingesetzt. Zusätzlich erfolgte die Verwendung eines Teilchenzählers, um die Partikelzahlen ermitteln zu können.

3.3.1 Partikelzählung

Es gelangte ein Partikelzähler vom Typ 1.100 der Firma Grimm Labortechnik GmbH zum Einsatz, dargestellt in Abbildung 77 im Anhang. Das Gerät arbeitet nach dem Streulichtprinzip; dabei dient eine Laserdiode als Lichtquelle. Die Messdaten werden mit dem Start der Druckphase bis zum Ende der Nachlaufphase online aufgenommen und in Echtzeit über eine Schnittstelle in einen PC überführt. Die Auswertung erfolgt in einem Tabellenkalkulationsprogramm mit einem selbst programmierten Algorithmus.

In die Messkammer des Partikelzählers wurde die staubhaltige Luft mit Hilfe einer eingebauten Pumpe so gesaugt, dass das dabei verursachte Streulicht in einem Winkel von 60° bis 120° mit Hilfe einer Pindiode gemessen werden kann. Ein Pulshöhenanalysator klassifiziert die Streulichtsignale und ordnet die detektierten Partikel automatisch den vier Partikelgrößenklassen < 0,1 bis 1, 1 bis 2, 2 bis 5, und 5 bis 10 µm zu. Pro Minute werden in 10 Zeitabschnitten zu je 5 Sekunden die Messdaten angezeigt, dann werden für 10 Sekunden ein Abgleich und eine Nullmessung erstellt.

Berechnung der Partikelemissionsrate

Zur Berechnung der Partikelemissionsrate wurden alle vier untersuchten Partikelgrößenklassen herangezogen, die zur Berechnung der Partikelkonzentration in der Prüfkammer summiert wurden.

$$SER_{u_p} = \frac{\hat{c}_p * n * V * t_G}{t_D}$$

Gleichung 5

$$\hat{c}_p = R \int_0^{t_G} c_p dt$$

Gleichung 6

$$R = \frac{1}{1000 \cdot t_G}$$

Gleichung 7

c_p^* :	Partikelkonzentration in der Prüfkammer (von < 0,1 µm bis 10 µm)	[Partikel*l ⁻¹]
\hat{c}_p^* :	mittlere Partikelkonzentration in der Prüfkammer über die Gesamtprobenahmezeit	[Partikel*l ⁻¹]
SER_{UP}^* :	mittlere Partikelemissionsrate	[PartikelStück ⁻¹ h ⁻¹]
n:	Luftaustauschrate	[h ⁻¹]
R:	Proportionalitätsfaktor	[min ⁻¹]
t_D :	reine Druck- bzw. Kopierzeit	[min]
t_G :	Gesamtprobenahmezeit	[min]
V:	Prüfkammervolumen	[m ³]

*Die Partikelkonzentrationen und die mittlere Partikelemissionsrate beziehen sich auf das Größenintervall von 0,1 µm bis 10 µm Partikeldurchmesser

Qualitätssicherung

Das Gerät wurde vom Hersteller kalibriert. Innerhalb angemessener Fristen wird diese Kalibrierung wiederholt.

3.3.2 Gravimetrie

Grundlage des Messverfahrens ist die Differenzwägung eines Glasfaserfilters, über den ein definiertes Luftprobenahmevolumen aus der Emissionsmesskammer geführt wurde, mittels einer Ultramikrowaage (Typ UMX2 / M; Hersteller Mettler - Toledo). Die Ultramikrowaage ist in Abbildung 78 im Anhang dargestellt.

Durchführung der Messung

Die Luftprobenahme erfolgt über eine definierte Zeitspanne (gesamte Druck- und Nachlaufphase). Die während dieser Zeitspanne der Prüfkammer entnommene Luft wird mittels einer Pumpe (Fa. Müller; GSA 50) durch einen Glasfaserfilter (Fa. Schleicher & Schuell, Durchmesser 50 mm) gezogen. Das Volumen der durch den Filter gesaugten Luft wird mittels eines Gasdurchflussmessers (Fa. Schlumberger, REMUS 4 G 1,6) bestimmt. Durch Differenzwägung des Filters erhält man die absolute Staubauswaage. Aus beiden Werten ist die mittlere Staubkonzentration in der Prüfkammer nach Gleichung 9 und daraus die spezifische Staubemissionsrate nach Gleichung 8 zu ermitteln.

Standardbedingungen der gravimetrischen Staubmessung

Staubfilter	Glasfaserfilter mit Halterung
Probenahmeort	mittig an der Kammerwand für die 1-m ³ -Kammern A und B Für die 20-m ³ -Kammer direkt in der Kammer in ca. 30 cm Höhe über dem Prüfobjekt
Probenahme- volumenstrom	bis maximal 90 % der Luftdurchflussrate in der Kammer während der Probenahmephase
Probenahmezeit	gesamte Druck- und Nachlaufzeit

Berechnung der Staubkonzentration und -emissionsrate

$$SER_{u_{St}} = \frac{m_{St} * n * V * t_G}{V_P * t_D}$$

Gleichung 8

$$c_{St} = \frac{m_{St}}{V_P}$$

Gleichung 9

c _{St} :	Staubkonzentration in der Prüfkammer	[µgm ⁻³]
SER _{u St} :	Staubemissionsrate	[µgStück ⁻¹ h ⁻¹]
m _{St} :	ausgewogene Staubmasse (klimakorrigiert)	[µg]
n:	Luftaustauschrate	[h ⁻¹]
t _D :	reine Druck- bzw. Kopierzeit	[min]
t _G :	Gesamtprobenahmezeit	[min]
V:	Prüfkammervolumen	[m ³]
V _P :	Volumen der durch den Glasfaserfilter gesaugten Luft	[m ³]

Die zur gravimetrischen Staubmessung eingesetzten Glasfaserfilter (Messfilter) müssen vor der Messung in einem klimatisierten Raum (Wägeraum: Temperatur: 23°C ± 2 K; relative Luftfeuchtigkeit: 50 % ± 5 %) gelagert und im dort herrschenden Klima bis zur Massekonstanz konditioniert werden. Da sich auch geringe unvermeidbare Schwankungen der relativen Luftfeuchtigkeit im Wägeraum auf die Masse der Glasfaserfilter auswirken, wird mindestens ein unbeladener Glasfaserfilter (Referenzfilter) zur gleichen Zeit wie die Messfilter vor der Staubprobenahme (tara) gewogen, um den Einfluss des Klimas auf die Filtermasse durch eine Klimakorrektur minimieren zu können.

Während der Staubprobenahme an der Klimakammer wird Luft durch den Messfilter gesaugt. Da die relative Luftfeuchtigkeit dieser Luft von der im Wägeraum abweichen kann, muss der Messfilter nach der Staubprobenahme wieder bis zur Massekonstanz im Wägeraum konditioniert werden.

Der Referenzfilter wird die ganze Zeit im Wägebraum belassen und bei der Wägung der Staubauswaage (Bruttowägung) des Messfilters wieder gewogen. Die beim Referenzfilter ermittelte Massedifferenz zwischen der ersten und der zweiten Wägung ist auf Klimaveränderungen zurückzuführen und wird von der ermittelten Bruttomasse des Messfilters subtrahiert bzw. addiert.

Ermittlung der absoluten Staubauswaage des Messfilters (Klimakorrektur)

$$m_{St} = (m_{MF_{brutto}} - m_{MF_{tara}}) + (m_{RF_1} - m_{RF_2})$$

Gleichung 10

m_{St} :	ausgewogene Staubmasse (klimakorrigiert)	[μ g]
$m_{MF_{brutto}}$:	Masse des konditionierten Messfilters nach der Staubprobenahme	[μ g]
$m_{MF_{tara}}$:	Masse des konditionierten Messfilters vor der Staubprobenahme	[μ g]
m_{RF_1} :	Masse des konditionierten Referenzfilters zeitgleich mit Messfilter gewogen vor der Staubprobenahme	[μ g]
m_{RF_2} :	Masse des konditionierten Referenzfilters zeitgleich mit Messfilter gewogen nach der Staubprobenahme	[μ g]

Qualitätssicherung

Die Waage wurde durch den Deutschen Kalibrierdienst (DKD) nach DKD-Richtlinie 7-1 zur Kalibrierung von elektronischen nichtselbsttätigen Waagen kalibriert. Innerhalb angemessener Fristen wird diese Kalibrierung wiederholt. Bei einer Höchstlast von 2,1 g und einer Ablesbarkeit von 0,0001 mg wurde die Standardabweichung mit einer Last von 1 g ermittelt. Sie beträgt 0,00039 mg.

Nachweisgrenze (NG) und Bestimmungsgrenze (BG)

Die Abschätzung der NG und BG erfolgte unter Beachtung der vom Hersteller angegebenen Messunsicherheit der Waage, der Annahme einer vollständigen Klimakorrektur durch den Einsatz von Referenzfiltern sowie einer ermittelten Durchschnittsmasse der unbeladenen Glasfaserfilter von 140 ± 5 mg. In Tabelle 7 sind NG und BG der gravimetrischen Staubbestimmung dargestellt.

Tabelle 7: NG und BG der gravimetrischen Staubbestimmung

Prüfkammer	Staubemissionsrate [mg / h]	
	NG [mg / h]	BG [mg / h]
1 m³- Kammer A und B	0,035	0,106
20 m³- Kammer	0,150	0,450

3.4 Ozon

Für die Bestimmung der Ozonkonzentration wurde ein Ozonanalysator Modell 3010 der Fa. UPM verwendet, dargestellt in Abbildung 76 im Anhang. Grundlage des Messverfahrens ist die flammenlose Reaktion von Ozon mit Ethylen. Die dabei auftretende Chemilumineszenz wird photometrisch erfasst. Die Ozonkonzentration wird kontinuierlich bestimmt. Die Messwerterfassung erfolgt neben der manuellen Mitschrift mit elektronischer Datenerfassungstechnik. Es werden drei Arbeitsmodi unterschieden:

- „Nullen“ - in die Reaktionskammer wird ozonfreie Luft geleitet. Es tritt keine Chemilumineszenz ein. Der Nullpunktabgleich kann erfolgen.
- „Kalibrieren“ - es wird ein Ozongenerator betrieben, der an der Reaktionskammer eine Ozonkonzentration von 0,160 ppm vorlegt. Dieser Kalibrierpunkt wird ebenfalls abgeglichen.
- „Messen“ - nach Abschluss der Zweipunktkalibrierung kann mit dem Messvorgang begonnen werden. Dabei wird permanent ein Messsignal erzeugt. Die Aufzeichnung der Ausgangsspannungswerte ist mit elektronischen Mitteln (Datenlogger) möglich. Dabei ist ein Umrechnungsfaktor zwischen Spannungswert, Messbereichseinstellung und Normierungskurve in ppm - Werte einzubeziehen.

Durchführung der Messung

Die Prüfung der Ozonemission von Druckern und Kopierern wurde wie folgt durchgeführt:

- Bestimmung des Kammerblindwertes ohne Gerät
- Bestimmung der Ozonkonzentration in der Kalt- und Bereitschaftsphase
- Ozonbestimmung beim Drucken bzw. Kopieren

Die Ozonbestimmung beim Drucken bzw. Kopieren erfolgte sofort mit Beginn des Druckjobs und wurde bis zur Beendigung der Nachlaufphase fortgeführt. Die Konzentrationsaufzeichnung erfolgte mindestens alle 30 Sekunden. Der Ozonkonzentrationsverlauf wurde permanent mit elektronischen Datenloggern aufgezeichnet. Die Ozonhalbwertszeit wurde aus der Abklingkurve in der Nachlaufphase bestimmt. Zu dieser Zeit herrschen in erster Näherung noch die Bedingungen vor, wie sie beim Druckjob vorliegen.

Bei sehr kleinen Ozonemissionsraten ist die Bestimmung der Ozonhalbwertszeit unter Prüfbedingungen schwierig. Um dennoch eine Auswertung zu ermöglichen, wurde nach dem Druckjob und der Nachlaufphase Ozon in die Kammer injiziert und die Ozonhalbwertszeit bestimmt. Dabei blieb die Kammer beladen. Das bedruckte Papier verblieb ebenfalls im Prüfraum. Die Klimabedingungen, insbesondere die Luftaustauschrate wurde wie bei der Druckprüfung belassen. In erster Näherung konnte unter diesen Bedingungen eine verwendbare Ozonhalbwertszeit ermittelt werden. Die Berechnung erfolgt dann nach den Gleichungen 11 und 12.

Berechnung der Ozonemissionsrate

C_{\max} und k' sind die entscheidenden Variablen für die Bestimmung der Ozonemissionsrate. Sie sind eng miteinander verbunden. Ist die Ozonhalbwertszeit klein, sind die erreichbaren Ozonhöchstkonzentrationen auch klein, verglichen mit denen bei größerer Ozonhalbwertszeit. Eine direkte Aussage zur Ozonemissionsrate über die maximale Ozonkonzentration ist daher nicht möglich. Die Berechnung der Ozonemissionsrate erfolgte nach den Gleichungen 11 und 12 unter Einbeziehung der Ozonhalbwertszeit.

$$SER_u = \frac{c_{\max} * k' * V * p}{T * R}$$

Gleichung 11

$$k' = \frac{\ln 2}{H'}$$

Gleichung 12

SER _u :	Ozonemissionsrate	[µgStück ⁻¹ h ⁻¹]
c _{max} :	Betrag der maximalen Ozonkonzentration	[µgm ⁻³]
k:	Proportionalitätsfaktor	[min ⁻¹]
H:	Ozonhalbwertszeit unter Prüfbedingungen	[min]
V:	Prüfkammervolumen	[m ³]
p:	Luftdruck	[Pa]
T:	absolute Temperatur	[K]
R:	Gaskonstante (für Ozon 339,8 [PaK ⁻¹])	[PaK ⁻¹]

Qualitätssicherung

Zur Sicherung der Qualität der Ozonbestimmung galt es, insbesondere den menschlichen Ablesefehler in den einzelnen Messbereichen auf ein Minimum zu beschränken. Für die Bestimmungen können verschiedene Bereiche gewählt werden. Dementsprechend sind die Messfehler abhängig vom gewählten Messbereich. Sie betragen ca. 2 % des gewählten Messbereiches. Eine permanente Aufzeichnung der Messspannungswerte über zwei Signalausgänge (Spannungssignal / Stromsignal) wurde zur Datenkontrolle herangezogen. Probleme bei der Auswertung bereiten Messbereichsumschaltungen, die gesondert protokolliert wurden.

Nachweisgrenze (NG) und Bestimmungsgrenze (BG)

Die Abschätzung der NG und BG erfolgt unter Beachtung der vom Hersteller angegebenen Messunsicherheit des Ozonanalysators und einer Messung unter Standardbedingungen. In Tabelle 8 sind NG und BG der Ozonbestimmung dargestellt.

Tabelle 8: NG und BG der Ozonbestimmung

Prüfkammer	Ozonemissionsrate [mg / h]	
	NG [mg / h]	BG [mg / h]
1 m ³ - Kammer A und B	0,006	0,018
20 m ³ - Kammer	0,033	0,099

3.5 VOC

Die VOC-Probenahme aus der Prüfkammerluft erfolgte nach DIN ISO 16000-6 [38]. Die Luftprobe wurde auf ein mit Tenax TA gefülltes Glasrohr gezogen [Rohrlänge 178 mm, AD 6 mm, ID 4 mm, 200 mg Tenax TA (60 - 80 mesh), fixiert mit Glaswollstopfen bzw. zur Pumpenseite mit Glaswollstopfen / Drahtnetz]. Vor der Probenahme wurden die Tenaxrohre mit Cyclodekan und deuteriertem Toluol (d₈) als internen Standards, gelöst in Methanol, gespikt (1 µl). Das Probenahmenvolumen lag bei 0,5 l (einzelne Druckphasen), 2 l (Kalt- und Bereitschaftsphase) und 9 l (Druck- plus Nachlaufphase). Der Probenahmenvolumenstrom betrug dabei 100 ml / min.

Die TDS erfolgte mit einem TDS - System (Gerstel TDS - 2) in Verbindung mit einem Kaltaufgabesystem (Gerstel KAS - 3) zur Kryofokussierung der thermodesorbierten Analyten. Das Temperaturprogramm der Thermodesorptionseinheit begann bei 40 °C mit einer Aufheizrate von 40°C / Minute bis auf 280 °C. Die Endtemperatur von 280 °C wurde für 5 Minuten gehalten. Die Kryofokussierung erfolgt bei minus 150 °C, das anschließende Aufheizen wurde mit einer Heizrate von 12 °C / s auf 280 °C vorgenommen.

Die Auftrennung der aus dem Kaltaufgabesystem überführten Analyten erfolgte gaschromatographisch (HP GC 5890 II) auf einer 30 m - Säule (HP - 5 MS, Durchmesser 0,25 mm, Schichtdicke 1 µm) bzw. einer 60 m Säule (HP 1- MS, Durchmesser 0,25 mm, Schichtdicke 0,25 µm). Abbildung 13 zeigt ein Beispiel für ein Temperaturprogramm der gaschromatografischen Auftrennung. Das GC / MS - System ist in Abbildung 79 im Anhang dargestellt.

Die Identifizierung und Quantifizierung wurde mit einem Quadrupol - Massenspektrometer als Detektor (HP - MSD 5972) durchgeführt. Der Scanbereich lag bei 25 - 400 amu, mit 1,9 scans pro sec, bei einer Interfacetemperatur von 300 °C. Für die Substanzidentifizierung stand die Massenspektrenbibliothek NIST-98 zur Verfügung. Mit dem beschriebenen Verfahren lassen sich quantitativ schwerflüchtige Verbindungen bis hin zum Hexacosan (C₂₆-Alkan, Siedepunkt ca. 413 °C) nachweisen [29].

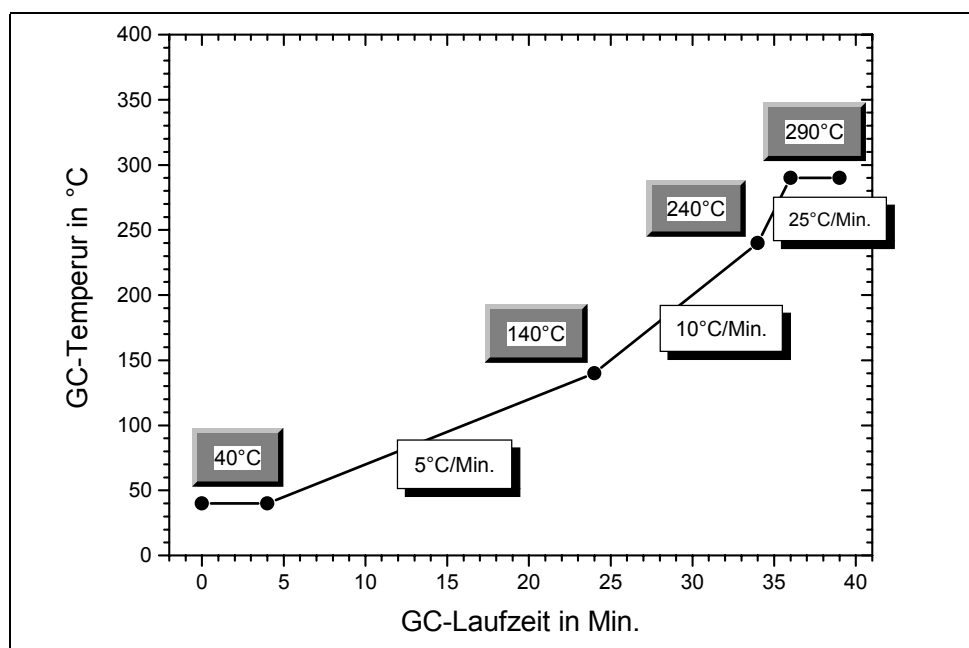


Abbildung 13: Temperaturprogramm für die gaschromatographische Trennung

Berechnung der TVOC - Emissionsrate während der Kalt- bzw. Bereitschaftsphase

Es wurden möglichst alle Substanzen identifiziert und über die aus einer Kalibrierung ermittelten relativen Responsefaktoren zum internen Standard individuell quantifiziert. Für jeden Messzeitpunkt wurde die Summe aus allen identifizierten und mit $\geq 2 \mu\text{g m}^{-3}$ quantifizierten Werten gebildet, deren Retentionszeit zwischen n-Hexan und n-Hexadekan liegt. Wenn Substanzen nicht identifizierbar waren oder der relative Responsefaktor nicht ermittelt werden konnte, wurde die Quantifizierung unter Annahme des Responsefaktors von deuteriertem Toluol durchgeführt.

Zur Angabe des TVOC-Wertes wurde die Summe der Konzentrationswerte aus allen identifizierten und nicht identifizierten mit $\geq 2 \mu\text{g m}^{-3}$ quantifizierten Substanzen gebildet, deren Retentionszeit zwischen n-Hexan und n-Hexadekan lag.

Die Berechnung der Emissionsrate während der Kalt- und Bereitschaftsphase erfolgte mit der Konzentration aus der Probenahme der letzten zwanzig Minuten der zweistündigen Phase nach Gleichung 13.

$SER_u = c * n * V$	Gleichung 13	$c = \frac{m_{VOC}}{V_P}$	Gleichung 14
---------------------	--------------	---------------------------	--------------

c:	VOC-Konzentration während der Kalt- bzw. Bereitschaftsphase	$[\mu\text{g m}^{-3}]$
SER_u :	VOC-Emissionsrate während der Kalt- bzw. Bereitschaftsphase	$[\mu\text{g h}^{-1}]$
m_{VOC} :	analysierte Masse des (der) VOC während der Kalt- bzw. Bereitschaftsphase	$[\mu\text{g}]$
n:	Luftaustauschrate während der Kalt- bzw. Bereitschaftsphase	$[\text{h}^{-1}]$
V:	Prüfkammervolumen	$[\text{m}^3]$
V_P :	Probenahmevolumen während der Kalt- bzw. Bereitschaftsphase	$[\text{m}^3]$

Berechnung der TVOC - Emissionsrate während der Druckphase

Die Berechnung der Emissionsrate während der Druckphase kann auf zwei Arten vorgenommen werden. Diese sind abhängig von den Probenahmezeitpunkten:

- a) Aus der Probenahme von Beginn der Druckphase durchgehend bis zum Ende der Nachlaufphase erfolgte, falls durchgeführt, die Berechnung nach Gleichung 15.

$SER_{u_{DN}} = \frac{m_{VOC_{DN}} * n_{DN} * V * t_G}{t_D * V_P}$	Gleichung 15
--	--------------

SER _{U DN} :	VOC-Emissionsrate ermittelt aus Druck- und Nachlaufphase	[μgh ⁻¹]
m _{VOC DN} :	analysierte Masse des (der) VOC während der Druck- und Nachlaufphase	[μg]
n _{DN} :	Luftaustauschrate während der Druck- und Nachlaufphase	[h ⁻¹]
t _D :	reine Druck- bzw. Kopierzeit	[min]
t _G :	Gesamtprobenahmezeit	[min]
V:	Prüfkammervolumen	[m ³]
V _P :	Probenahmevolumen während der Druck- und Nachlaufphase	[m ³]

b) Für die Probenahme zum Ende der Druckphase erfolgte die Berechnung nach Gleichung 16 (vergleiche Kapitel 2.4).

$$SER_{u_D} = \frac{c_D * V * n_D}{1 - e^{-n_D * t}} \quad \text{Gleichung 16}$$

c _D :	VOC-Konzentration während der Druckphase [μgm ⁻³]	
SER _{U D} :	VOC-Emissionsrate ermittelt aus der Druckphase	[μgh ⁻¹]
n _D :	Luftwechsel während der Druckphase	[h ⁻¹]
V:	Prüfkammervolumen	[m ³]
t:	mittlerer Zeitpunkt der Probenahme [h], berechnet vom Druckbeginn an (Bsp.: Probenahmezeitraum 5. Minute (t ₁) bis 10. Minute (t ₂); t = 0,5 * (t ₁ + t ₂) = 0,125 h (7,5 Minuten))	

Für die weiteren während der Druckphase vorgenommenen Probenahmen wurde Gleichung 16 ohne den Korrekturterm im Nenner, der den zeitlichen Konzentrationsverlauf bis zur Einstellung des Gleichgewichtes beschreibt, eingesetzt. Die so berechneten Emissionsraten entsprechen nicht den realen und werden nachfolgend als scheinbare Emissionsraten (SER*) bezeichnet.

Qualitätssicherung

Die Qualitätssicherung der Probenahme bestand aus der regelmäßigen Prüfung des Volumenstromes der zur Probenahme eingesetzten Pumpen. Dieser wurde nach Aufladung der Akkumulatoren der Pumpen mit Hilfe eines kalibrierten elektronischen Flussmessgerätes (HP) gemessen und auf 100 ± 1 ml / min justiert.

Die Qualitätssicherung des analytischen Gerätes (GC - MS) erfolgte neben der regelmäßigen Erstellung von Mehrpunktkalibrierfunktionen der zu analysierenden Verbindungen durch das tägliche Vermessen einer Standardlösung sowie durch die Zugabe einer immer gleichen Menge des internen Standards auf das Tenax vor der Probenahme. Abweichungen in der Quantifizierung der Standardlösung oder des Peaks des internen Standards von den Normalwerten waren Hinweise auf Störungen oder Veränderungen der Gerätefunktion.

Eine weitere Kontrolle stellte das Überprüfen des Tunefiles für das Massenspektrometer dar. Bei gleichen Einstellungen wurde jeden Tag ein Tunefilerreport erstellt. Änderungen der Signalintensität waren Anzeichen für Veränderungen am Massenspektrometer.

Um eine genaue Quantifizierung betreiben zu können und sicherzustellen, dass die gefundenen Substanzen wirklich aus dem untersuchten Material emittieren, wurde vor der Kammerbeladung eine Blindwertbestimmung an der leeren Kammer vorgenommen. Dieser Blindwert beinhaltet aber nicht nur eventuelle Verunreinigungen der Prüfkammer, sondern auch Verunreinigungen des Tenaxrohres und des GC - MS - Gerätes. Die Tenaxrohre wurden deshalb vor der Probenahme nicht länger als 72 h gelagert, ansonsten erfolgte zur Reinigung ein erneutes Ausheizen für 15 min bei 280 °C im Heliumstrom.

Zur Qualitätssicherung des Gesamtverfahrens (Prüfkammerbetrieb, Probenahme, Analyse mittels TDS / GC - MS) wurde außerdem regelmäßig an Rundversuchen teilgenommen bzw. diese selbst organisiert, z. B. VOCEN, BAM, GEV.

Nachweis- (NG) und Bestimmungsgrenze (BG) für die Druck- und Nachlaufphase

Die Nachweis- und Bestimmungsgrenze sind unter anderem abhängig vom Probenahmenvolumen. Bei einer Probenahme an einer 1 m³- Kammer mit einer Luftaustauschrate von 1 pro Stunde von Beginn der Druckphase durchgehend bis zum Ende der Nachlaufphase beträgt das Probenahmenvolumen ca. 9 Liter (bei 100 ml / min). Bei einer Probenahme sechs Minuten vor Ende der Druckphase beträgt das Probenahmenvolumen 0,6 Liter (bei 100 ml / min).

Im Allgemeinen kann 1 ng eines VOC mittels GC / MS im Scan - Modus sicher nachgewiesen werden. Für die Emissionsraten resultieren daraus die in Tabelle 9 dargestellten Nachweis- und Bestimmungsgrenzen für ein Einzel - VOC.

Tabelle 9: NG und BG der Einzel - VOC - Bestimmung

Prüf- kammer	SER _{VOC}	VOC - Emissionsrate [mg / h]	
		NG [mg / h]	BG [mg / h]
1 m ³ - Kammer A und B	SER _{VOC} nur aus Druckphase ermittelt	0,010	0,030
	SER _{VOC} aus Druck- und Nachlaufphase ermittelt	0,002	0,006
20 m ³ - Kammer	SER _{VOC} nur aus Druckphase ermittelt	n. d.*	n. d.*
	SER _{VOC} aus Druck- und Nachlaufphase ermittelt	0,013	0,039

*n. d.: nicht durchzuführen laut Prüfverfahren

3.6 Materialuntersuchungen

3.6.1 Direkt - TDS von Papier

Die Direkt - TDS funktioniert gerätetechnisch wie die Tenax - TDS. Der Unterschied besteht darin, dass hierbei geringe Materialprobenmengen ohne den Umweg der Luftprobenahme aus der Prüfkammer, auf mögliche Emissionen untersucht werden. Dies geschieht, indem die Materialprobe selbst im Glasrohr thermodesorbiert wird. Mit Hilfe dieses Screenings können für das Material schon vor der Prüfkammermessung Aussagen über mögliche ausgasende Substanzen gemacht werden.

Im Forschungsvorhaben wurde diese Methode für die eingesetzten Papiere angewendet. Dazu wurde aus einem DIN A4 Blatt ein Streifen von ca. 3 mm Breite und einer Masse von 20 mg ausgeschnitten. Die resultierende Länge der Streifen lag zwischen 60 und 80 mm.

Für die Direkt - TDS wurde der Streifen dann in ein TDS - Glasrohr überführt, welches per Autosampler in den TDS - Ofen eingeführt wurde. Die Direkt - TDS wurde bei 40 °C gestartet, dann mit 40 °C / min erhöht, bis die Endtemperatur von 180 °C erreicht war. Diese wurde für 5 Minuten gehalten. Die Endtemperatur von 180 °C wurde abgeleitet aus den Angaben einiger Gerätehersteller für die Temperatur der Fixiereinheit beim Druckvorgang.

3.6.2 Headspace Verfahren für Toner

Für die Untersuchungen wurden jeweils 2 g des Toners in ein 20 ml - Headspacegläschen mit Bördelrand eingewogen. Hinzugefügt wurde eine Lösung des internen Standards in Methanol. Danach wurden die Gläschen mit metallischen Bördelkappen verschlossen. Die Analytik wurde mit einem Headspaceprobengeber (Gerstel MPS) verbunden mit einer GC / MS - Kombination (Agilent 6980 / 5973) durchgeführt. Dabei wurden die Gläschen für zwei Stunden bei 90 °C konditioniert, dann wurden mit einer Gasspritze (90 °C) 500 µl Gasvolumen entnommen und direkt in den GC injiziert. Die Kalibrierung erfolgt über einzelne Massenspuren aus dem Totalionenchromatogramm des MS.

Mit dieser Methode, die von der Landesgewerbeanstalt in Nürnberg (LGA) zur Verfügung gestellt wurde [33], wurden die flüchtigen Inhaltsstoffe der Toner, wie Toluol, Xylole, Ethylbenzol, Styrol usw., mit geringem apparativen und clean-up Aufwand untersucht. Als interner Standard dienten d₆-Benzol und d₉-Styrol. Kalibriert wurde auf Benzol, Toluol, Ethylbenzol, o-, m- und p-Xylol, i-Propylbenzol, Benzaldehyd und Styrol.

Die Reproduzierbarkeit dieser Methode wurde durch Mehrfachbestimmungen eines Toners und durch Aufgabe definierter Standards auf einen Toner und Bestimmung der Wiederfindungsrate überprüft. Die Reproduzierbarkeit erbrachte für Konzentrationen von 1 mg / kg und größer eine mittlere Standardabweichung kleiner 7 % und für Konzentrationen unter 1 mg / kg eine Abweichung kleiner 13 % für Dreifachmessungen von fünf verschiedenen Tonern. Ein Toner wies allerdings stärkere Schwankungen auf. Die Standardabweichung des Mittelwertes lag für alle Konzentrationen zwischen 2 und 25 mg / kg bei 20 %.

Die Wiederfindungsraten von flüchtigen Komponenten aus Tonern wurden bestimmt, indem ein Toner ausgewählt wurde, der nur sehr geringe Eigenemissionen aufwies. Zu diesem Toner wurde eine bekannte Menge der Standardlösung hinzugegeben. Anschließend wurde der Toner genau wie die anderen Tonerproben behandelt und vermessen. Die Konzentrationen wurden mit dem leeren Headspacegläschen verglichen.

Tabelle 10: Wiederfindungsraten (WR) [%] der Verbindungen im Vergleich leeres Headspacegläschen zu tonergefülltem Gläschen

VOC	Benzol	Toluol	Ethylbenzol	p-Xylol	m-Xylol	o-Xylol	Cumol	n-Propylbenzol	Styrol	Benzaldehyd
WR [%]	30,7	18,3	11,4	10,3	10,3	7,8	8,7	7,1	5,6	0,5

Tabelle 10 stellt die Wiederfindungsraten der ausgewählten Verbindungen dar im Vergleich zu den gleichen Verbindungen in einem leeren Gläschen vermessen. Die Tonerwerte sind Mittelwerte aus einer Vierfachbestimmung mit einer mittleren Standardabweichung von 5%. Dabei fällt auf, dass die Wiederfindungsrate sehr gering ist, von unter 1 % bis zu 30 % bei Benzol.

Da die Tonerpartikel aufgrund ihrer großen inneren Oberfläche eine stark adsorptive Wirkung haben, sind sie wahrscheinlich in der Lage VOCs, insbesondere die schwerer flüchtigen Substanzen aus dieser Stoffklasse, in hohem Maße zurückzuhalten. Dies hat zur Folge, dass mit dieser Analysenmethode die originäre Zusammensetzung des Toners nicht exakt zu bestimmen ist.

Besser wird dieses Verhalten, wenn die internen Standards bei der Auswertung berücksichtigt werden. Die Abbildung 14 stellt die Wiederfindungsraten mit und ohne Korrektur, wobei die jeweils ersten Säulen (grau) die Wiederfindungsraten ohne Korrektur durch einen der beiden internen Standards (d_6 -Benzol, d_9 -Styrol) darstellen. Die beiden folgenden Säulen (weiß und kariert) zeigen zum einen die Berücksichtigung von Benzol bis Ethylbenzol oder von Styrol ab Ethylbenzol. Allerdings kommt es hier zu sehr hohen Verschiebungen positiver oder negativer Art für die anderen Verbindungen, je nachdem auf welchen der internen Standards kalibriert wird. Um das Problem der Wiederfindungsraten zu lösen, müsste die Palette der deuterierten Standards vergrößert werden, um auch in dem Bereich zwischen Styrol und Benzol zu verlässlicheren Werten zu gelangen.

Die analysierten Toner waren sowohl von Geräteherstellern als auch von Anbietern aufgearbeiteter Tonermodule zur Verfügung gestellt worden.

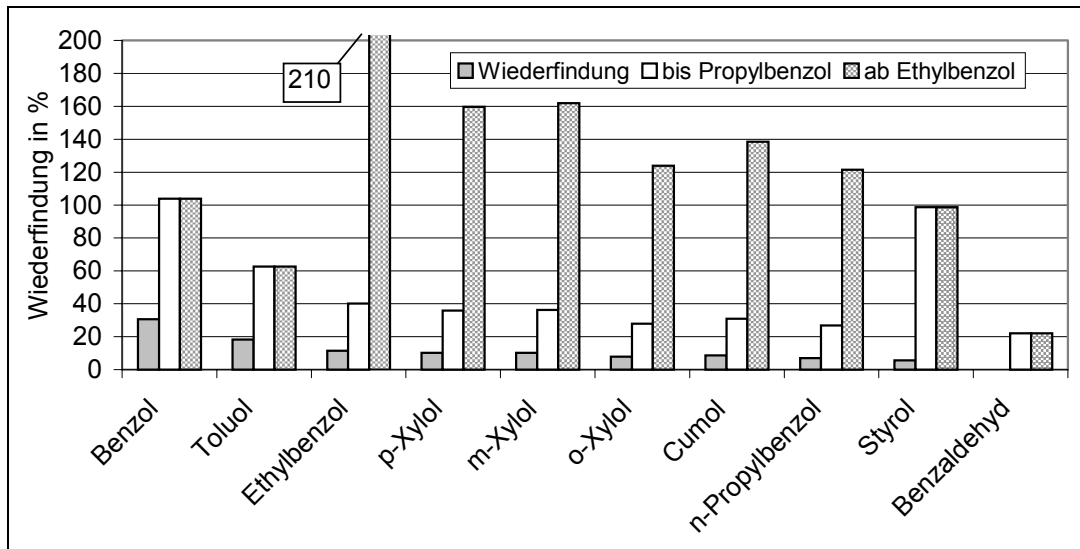


Abbildung 14: Bestimmung der Wiederfindungsrate von Standardlösung, zugegeben zu einem Toner. Werte absolut (gegen leeres Gläschen) und mit Toner einmal bis n-Propylbenzol mit d_6 -Benzol ausgewertet und einmal ab Ethylbenzol mit d_9 -Styrol ausgewertet

4 Vorgehensweise

4.1 Geräte und Verbrauchsmaterial

4.1.1 Beschreibung der untersuchten Hardcopygeräte

Es wurden insgesamt zehn verschiedene Laserdrucker und Kopierer von sieben Herstellern untersucht. Die untersuchten Kopierer wurden aus messtechnischen Gründen während der Prüfung über eine Option als Drucker angesteuert. Bei allen untersuchten Geräten handelt es sich um moderne Geräte, die im Büro zum Einsatz kommen. Nachfolgend werden die einzelnen Geräte kurz beschrieben:

Gerät 0

Hierbei handelte es sich um einen in der BAM vorhandenen Laserdrucker des Herstellers A, der für die Voruntersuchungen herangezogen wurde.

Geräte 1, 8 und 9

Bei den untersuchten Hardcopygeräten eins, acht und neun handelte es sich um produktionsfrische und baugleiche Laserdrucker (Tischgeräte) des Herstellers A. Gerät eins wurde für den Rundversuch ausgewählt. Nachdem das im Rundversuch befindliche Gerät eins wegen einer Beschädigung ausgesondert werden musste, wurde Gerät acht für die weiteren Untersuchungen eingesetzt. Nach der Rückführung der Geräte eins und acht zu Untersuchungen im Labor des Herstellers wurden weitere Vergleichsmessungen mit Gerät neun ausgeführt. Um 500 Blatt auf einmal drucken zu können, wurde das 250 Blatt fassende Papieraufnahmefach der Geräte durch ein 500 Blatt fassendes Papieraufnahmefach ersetzt.

Gerät 2

Bei dem untersuchten Hardcopygerät zwei handelte es sich um einen produktionsfrischen Kopierer (kleines Standgerät) des Herstellers B. Der Kopierer musste aus messtechnischen Gründen während der Prüfung über eine Option als Drucker angesteuert werden. Da es das Ziel war, 500 Blatt auf einmal zu drucken, wurde eine mechanische Vorrichtung gebaut, die es ermöglichte, das mit ca. 250 Blatt gefüllte Papierablagefach zu leeren. Dies wurde ohne Öffnen der Emissionsmesskammer durchgeführt.

Gerät 3

Bei dem untersuchten Hardcopygerät drei handelte es sich um einen produktionsfrischen Laserdrucker (Tischgerät) des Herstellers C. Das Drucken von 500 Blatt war ohne Probleme möglich.

Gerät 4

Bei dem untersuchten Hardcopygerät vier handelte es sich um einen produktionsfrischen Kopierer (kleines Standgerät) des Herstellers D. Der Kopierer musste ebenfalls aus messtechnischen Gründen während der Prüfung über eine Option als Drucker angesteuert werden. Da es das Ziel war, 500 Blatt auf einmal zu drucken, wurde eine mechanische Vorrichtung gebaut, die es ermöglichte, das mit ca. 250 Blatt gefüllte Papierablagefach zu leeren. Dies wurde ohne Öffnen der Emissionsmesskammer durchgeführt.

Gerät 5

Bei dem untersuchten Hardcopygerät fünf handelte es sich um einen produktionsfrischen Kopierer (kleines Standgerät) des Herstellers E. Der Kopierer musste ebenfalls aus messtechnischen Gründen während der Prüfung über eine Option als Drucker angesteuert werden. Das Drucken von 500 Blatt war ohne Probleme möglich.

Gerät 6

Bei dem untersuchten Hardcopygerät sechs handelte es sich um einen produktionsfrischen Kopierer (großes Standgerät) des Herstellers F. Der Kopierer musste ebenfalls aus messtechnischen Gründen während der Prüfung über eine Option als Drucker angesteuert werden. Da es das Ziel war, 2500 Blatt auf einmal zu drucken, wurde eine mechanische Vorrichtung gebaut, die es ermöglichte, nach ca. der Hälfte der Druckzeit das gefüllte Papierablagefach zu leeren. Dies wurde ohne Öffnen der Emissionsmesskammer durchgeführt.

Gerät 7

Bei dem untersuchten Hardcopygerät sieben handelte es sich um einen bereits im Einsatz befindlichen Laserdrucker (Tischgerät) des Herstellers G. Die Druckgeschwindigkeit dieses Gerätes war im Vergleich zu anderen untersuchten Laserdruckern relativ gering. Eine Umrüstung auf einen Betrieb mit 500 Blatt Papier war nicht möglich.

4.1.2 Beschreibung der Verbrauchsmaterialien

4.1.2.1 Toner

Für die Emissionsuntersuchungen im Rahmen der Prüfverfahrensentwicklung wurden die zum Gerät gehörigen Originaltoner verwendet.

Zusätzlich zu den Emissionsuntersuchungen wurden 32 verschiedene Toner von zwölf Lieferanten mit der statischen Headspacemethode untersucht. Für einen parallel durchgeführten Rundversuch wurden aus dem Pool der 32 verschiedenen Toner sechs verschiedene Muster ausgewählt. Hintergrund war die ursprüngliche Überlegung, durch Beschränkung der VOC - Gehalte der Toner auch die Geräteemissionen entscheidend mindern zu können.

4.1.2.2 Papier

Tabelle 11 enthält eine Übersicht der zum Drucken verwendeten Papiere. Es wurden sowohl Frischfaser- als auch Recyclingpapiere zum Einsatz gebracht. Die verwendeten Papiere entsprachen DIN 19309 „Papier für Kopierzwecke“ [8], welche während des Untersuchungszeitraumes noch Gültigkeit besaß. Ab Januar 2003 wurde diese Norm durch DIN EN 12281 „Druck- und Büropapier - Anforderungen an Kopierpapier für Vervielfältigungen mit Trockentoner“ [10] ersetzt.

Die exakten Papiersorten- und Herstellerangaben sind kodiert. Für alle Emissionsmessungen bei denen Recyclingpapier (Papiersorte 0) verwendet wurde, ist das Papier nach den Erfahrungen der Vorversuche (siehe 5.2) auf einen Wassergehalt von 3,6 % bis 4,2 % im Trockenschrank getrocknet worden, um eine Wasserdampfkondensation während des Druckens in den 1 m³ - Kammern A und B zu verhindern.

Tabelle 11: Übersicht der zum Drucken verwendeten Papiere

Papier	Hersteller	Papierbezeichnung	Format nach DIN	Masse je Fläche [gm ⁻²]	Wassergehalt* [%]
0	R	Kopierpapier 60 weiß	A4	80	5,5
1	S	Frischfaser weiß	A4	80	4,2
2	T	Frischfaser weiß	A4	80	4,8
3	X	Frischfaser weiß	A4	80	4,2
4	Y	Frischfaser weiß	A4	80	4,2

* In Anlehnung an DIN EN 20287 „Bestimmung des Feuchtegehaltes“ [11] in der BAM ermittelt

4.2 Durchgeführte Untersuchungen

Alle Geräte wurden auf ihre VOC-, Staub- und Ozonemission untersucht. Einzelne Geräte wurden mehrfach, z. T. unter verschiedenen Bedingungen, geprüft. Das ursprüngliche Ziel war es, mehrere Geräte bei verschiedenen Ringversuchsteilnehmern zu untersuchen und vor, zwischen und nach jeder Ringversuchsmessung in der BAM Referenzmessungen durchzuführen.

4.2.1 Vorgehensweise während der Messung

4.2.1.1 Kammercharakterisierung und Blindwertmessung vor jeder Prüfung

- Bestimmung der Kammerblindwerte für VOC, Staub und Ozon
- Einstellung und Bestimmung der Luftaustauschrate der Kammer nach DIN V ENV 717-1 (1998) [13] in unbeladenem Zustand
- Bestimmung der Ozonhalbwertszeit als wesentliches Qualitätskriterium der unbeladenen Kammer

4.2.1.2 Drucktests und Kalibrierung der zu untersuchenden Hardcopygeräte

- Allgemeine Kontrolle der Funktionsfähigkeit der Hardcopygeräte nach Anlieferung
- Durchführung von Probedrucken (Testseiten mit 5 % Flächendeckung, schwarz nach DIN 33870 [9] (siehe auch Abbildung 74 und Abbildung 75 im Anhang), um Störungen des Druckvorganges während der Messung in der Prüfkammer zu vermeiden
- Bestimmung der maximalen Druckdauer
- Kontrolle der geordneten Papierablage; falls nötig, Einsatz eines zusätzlichen Auffangbehälters aus inertem Material; dabei waren die Aufnahmekapazitäten der Papierkassetten und Papierausgabefächer zu berücksichtigen
- Kalibrierung des zu untersuchenden Hardcopygerätes mittels Druckvorlage nach DIN 33870 [9] (<http://www.ps.bam.de/DG02/DG02.HTM> , „X10GS3PN.PDF“)

4.2.1.3 Kalt- und Bereitschaftsphase

Kalt- und Bereitschaftsphase erstreckten sich über jeweils zwei Stunden. Die Kaltphase wurde definiert als „Netzschalter eingeschaltet, aber Netzstecker nicht an die Stromversorgung angeschlossen“, um in der sich anschließenden Bereitschaftsphase durch einfaches Stecken des Netzsteckers das zu untersuchende Hardcopygerät von außen, ohne die Kammer zu öffnen, in Betrieb nehmen zu können.

Zu Beginn der Bereitschaftsphase wurde das zu untersuchende Hardcopygerät durch Stecken des Netzsteckers an die Stromversorgung angeschlossen. Bei allen untersuchten Geräten war eine zweistündige Bereitschaftsphase problemlos möglich.

Anfangs wurden während der Kalt- und Bereitschaftsphase Ozon, Staub und VOC gemessen. Als sich herausgestellt hatte, dass während beider Phasen keine messbaren Staub- und Ozonemissionen auftraten, wurde später auf die Ozon- und Staubbemessung während dieser Phasen verzichtet. Die Klimaaufzeichnung begann mit dem Start der Kaltphase und wurde bis zum Ende der Nachlaufphase kontinuierlich fortgesetzt. Die Luftaustauschrate wurde in allen Kammern während der Kalt- und Bereitschaftsphase auf $n = 1 \text{ h}^{-1}$ eingestellt.

Das zu bedruckende Papier war bei diesen Untersuchungen während der Kalt- und Bereitschaftsphase noch nicht eingelegt, weil noch keine Erkenntnisse über eine eventuell auftretende Eigenemission des Papiers vorlagen.

4.2.1.4 Öffnen der Kammer und Einlegen des Papiers in das Gerät

Nach dem Ende der Bereitschaftsphase wurde die Kammer geöffnet, das zu bedruckende Papier in das Gerät eingelegt und die Kammer wieder geschlossen. Danach blieb in der 20 m^3 - Kammer die Luftaustauschrate auf $n = 1 \text{ h}^{-1}$ eingestellt. In den 1 m^3 - Kammern erfolgt eine Einstellung der Luftaustauschrate auf einen Wert von $n = 4$ bis $4,7 \text{ h}^{-1}$ mit trockener Luft ($< 10 \text{ \% rel. F.}$) um die auf Grund der Wasserabgabe des Papiers beim Drucken ansteigende relative Luftfeuchtigkeit unterhalb kritischer Werte zu halten (siehe auch 5.2 und 6.1).

Danach erfolgte eine 30 minütige Kammeräquilibration, so dass sich zu Beginn der anschließenden Druckphase ein definierter Startwert für die relative Luftfeuchtigkeit einstellen konnte. Dieser betrug in der 20 m^3 - Kammer 50 \% rel. F. und in den 1 m^3 - Kammern A und B $10 \text{ \% bis } 20 \text{ \% rel. F.}$

4.2.1.5 Druck- und Nachlaufphase

Beim Druck von 500[†] Blatt Papier dauerte die Druckphase bei den untersuchten Geräten bis zu 36 Minuten. Die sich unter identischen Prüfbedingungen unmittelbar anschließende Nachlaufphase diente der weitgehenden Erfassung der emittierten Stoffe, auch über den eigentlichen Druckvorgang hinaus.

Die Nachlaufphasenzeit betrug aus messtechnischen Gründen dreißig Minuten. Gegen Ende der Versuche wurde sie auf vier Luftaustauschraten erhöht, um eine vollständige Erfassung der emittierten Stoffe zu gewährleisten. Für die 20 m³-Kammer dauerte die Nachlaufphase ca. vier und in den 1 m³-Kammern ca. eine Stunde.

Die Ozonbestimmung erfolgte sofort mit Beginn des Druckjobs und wurde bis zur Beendigung der Nachlaufphase fortgeführt. Sofern ein geeigneter Konzentrationsbereich ausgewählt wurde, konnte dieser permanent mit elektronischen Datenloggern aufgezeichnet werden. Die für die Berechnung der Ozonemissionsrate benötigte Ozonhalbwertszeit wurde anschließend bei ausreichend hohen Konzentrationen aus der Abklingkurve in der Nachlaufphase bestimmt. Zu dieser Zeit herrschen in erster Näherung noch annähernd die Prüfbedingungen der Druckphase vor. War die während des Druckjobs festzustellende Ozonkonzentration zu gering, erfolgte die Ermittlung der Ozonhalbwertszeit nach der Prüfung durch Zudosierung von 0,1 ppm bis 0,2 ppm Ozon mit Hilfe eines Ozongenerators in die noch immer ungeöffnete Kammer und Aufzeichnung dieser „künstlich geschaffenen“ Ozonabklingkurve.

Die Staubmessung erfolgte ebenfalls sofort mit Beginn des Druckjobs und wurde bis zur Beendigung der Nachlaufphase fortgeführt. Die während dieser Zeitspanne der Prüfkammer entnommene Luft wurde mittels einer Pumpe durch einen Glasfaserfilter gezogen. Das Volumen der durch den Filter gesaugten Luft wurde bestimmt. Durch Differenzwägung des Filters erhielt man die absolute Staubauswaage in µg. Aus beiden Werten ließ sich die Staubkonzentration in der Prüfkammer (in µg m⁻³) und daraus die Staubemissionsrate (in µg h⁻¹) berechnen. Die spezifische Emissionsrate wurde klimakorrigiert (siehe Kapitel 3.3.2).

[†] 500 Blatt: maximal für Tischgeräte in einem Vorgang ohne Kammeröffnung druckbare Blattzahl, um eine möglichst lange Druckzeit zur Gleichgewichtseinstellung zu erreichen.

Die VOC - Probenahme wurde während der Druckphase in drei bzw. vier Zeitabschnitte untergliedert. Je Teilphase wurde eine VOC - Bestimmung über die gesamte Teilphasendauer durchgeführt. Ursprüngliches Ziel dieser Untergliederung war ein Vergleich der praktisch gemessenen Konzentrationen mit den nach der Theorie zu erwartenden Konzentrationen, vergleiche auch Kapitel 2.4 „Theoretische Betrachtungen“.

Ergänzend erfolgte eine VOC - Probenahme über die komplette Nachlaufphase.

Eine weitere VOC - Probenahme erstreckte sich vom Beginn der Druck- bis zum Ende der Nachlaufphase, um einen Vergleich der so ermittelten VOC - Emissionsrate mit den durch die Teilprobenahmen erzielten VOC - Emissionsraten durchführen zu können.

4.2.1.6 Abschließende Arbeiten

- Geräte- und Papierentnahme
- Kammerreinigung
- Vorbereitung der nächsten Prüfung
- Auswertung der Versuchsergebnisse

5 Ergebnisse der Emissionsmessungen

5.1 Allgemeines

Um zu abgesicherten Aussagen bezüglich des Emissionsverhaltens der untersuchten Geräte zu gelangen, wurden verschiedene Messbedingungen gewählt. Dazu gehörten beispielsweise der Einsatz unterschiedlicher Emissionsmesskammern, die Verwendung verschiedener Papiersorten zum Drucken und der Druck mit unterschiedlichen Flächendeckungsgraden. Wiederholungsmessungen unter konstanten Messbedingungen erfolgten ebenfalls.

Im Verlauf des Projektes wurden somit sehr viele Messdaten ermittelt. Die exakten Messwerte sind in Tabelle 30 im Anhang dargestellt. Um eine gewisse Systematik und Interpretation der gewonnenen Daten zu ermöglichen, sind die Ergebnisse der Emissionsmessungen nachfolgend gerätespezifisch zusammengestellt und ausgewertet.

5.2 Voruntersuchungen

Die Voruntersuchungen wurden mit Gerät 0 in der 1 m³ - Kammer B durchgeführt. Dabei konnten grundlegende Erkenntnisse für alle weiteren Versuche gewonnen werden, vergleiche auch Kapitel 6 „Untersuchungen für die Entwicklung des Prüfverfahrens“. Bei Verwendung von Recyclingpapier, dessen Einsatz eine anfängliche Vorgabe des Auftraggebers[‡] war, stieg die rel. F. während des Druckprozesses in der 1 m³ - Kammer B stark an. Teilweise kam es sogar zur Kondensation von Wasserdampf in der Prüfkammer. Für alle weiteren Messungen wurde deshalb das Recyclingpapier auf einen maximalen Wassergehalt von 3,6 % bis 4,2 % getrocknet (vergleiche auch 4.1.2.2 sowie 6.1) und die Luftaustauschrate auf 4 bis 5 h⁻¹ erhöht. In der 20 m³ - Kammer gab es diesbezüglich keine Probleme.

[‡] Außerdem wird Recyclingpapier auch für die Messungen nach den derzeitigen Vergabegrundlagen benutzt.

5.3 Hauptuntersuchungen

5.3.1 Gerät 1

Mit dem Gerät 1 wurden sowohl Wiederholungsmessungen unter Standardbedingungen, d. h. bei einem gedruckten Flächendeckungsgrad schwarz von 5 % unter Verwendung von Recyclingpapier (P 0), als auch mit den verschiedenen Frischfaserpapiersorten P 1, P 2, P 3 und P 4 durchgeführt. Mit Papier 0 wurden außerdem 500 Leerseiten ausgedruckt, was einem Flächendeckungsgrad von 0 % entspricht.

In Abbildung 15 und Abbildung 16 sind die Ergebnisse der gravimetrischen Staub- und TVOC - Messungen dargestellt. Eine messbare Ozonemission während des Druckvorganges war bei allen durchgeführten Versuchen nicht festzustellen.

Vergleicht man die Ergebnisse der mit Recyclingpapier durchgeführten Versuche vom 26. und 27. Februar sowie vom 17. April in Bezug auf die in Abbildung 15 dargestellte SER_{St} , wird deutlich, dass diese um ca. 50 % gegenüber der ersten Messung abnahm. Der Druck von Leerseiten am 27. Februar ließ allerdings von vornherein eine niedrigere SER_{St} erwarten. Das am 27. Februar erzielte Ergebnis wurde am 17. April auch mit einem Flächendeckungsgrad schwarz von 5 % bestätigt. Die mit verschiedenen Frischfaserpapiersorten P 1, P 2, P 3 und P 4 ermittelten SER_{St} liegen, bis auf Papier 1, im Bereich von 0,4 bis 0,6 mg pro Stück und Stunde. Sie sind etwas geringer als die unter Verwendung von Recyclingpapier gemessenen Werte, liegen aber relativ konstant in der gleichen Größenordnung.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass der untersuchte Drucker erst einen gewissen „Betriebszustand“ erreichen musste, um weniger Staub als bei der ersten Untersuchung zu emittieren.

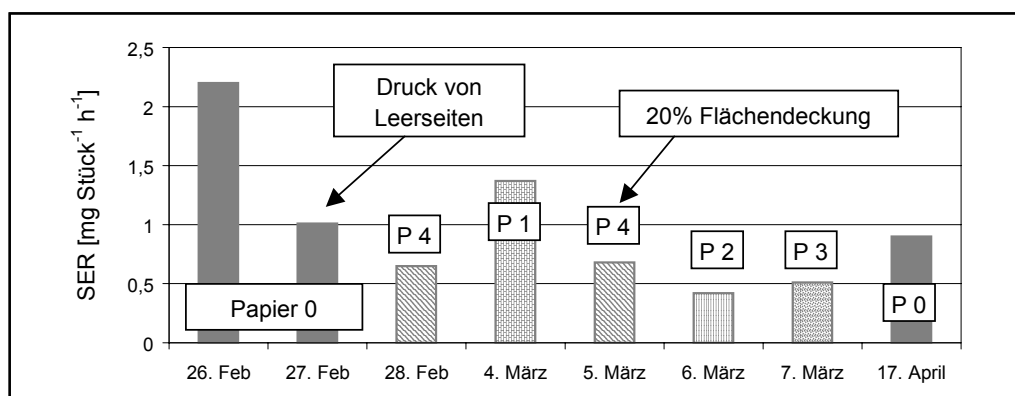


Abbildung 15: Gravimetrisch ermittelte SER_{St} für Gerät 1, 8 Messungen, 5 verschiedene Papiersorten, 1 m³ - Kammer A

In Abbildung 16 sind die TVOC - Emissionsraten für alle acht Messungen aufgeführt. Die mit Abstand höchste TVOC - Konzentration bei Gerät 1 ergab sich für das Papier P 4 mit 20 % Flächendeckung. Der Wert von $10,4 \text{ mg Stück}^{-1} \text{ h}^{-1}$ beträgt knapp das Fünffache im Vergleich zu dem mit $2,2 \text{ mg Stück}^{-1} \text{ h}^{-1}$ bei einem Standardflächendeckungsgrad von 5 % ermittelten. Die anderen innerhalb eines relativ kurzen Zeitraumes für P 1, P 2 und P 3 ermittelten TVOC - Werte sind fast gleich. Festzustellen ist, dass die TVOC - Werte des Gerätes 1 mit dem Recyclingpapier P 0 im Zeitraum vom 26. Februar bis 17. April eine abfallende Tendenz aufweisen.

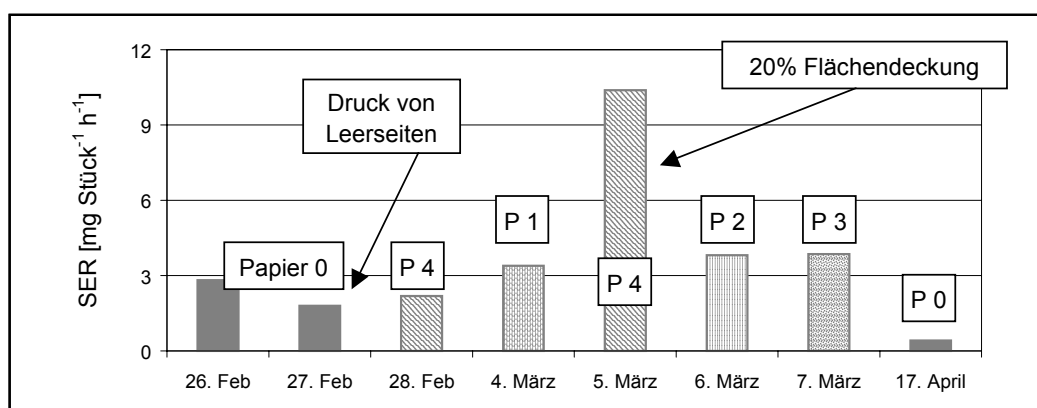


Abbildung 16: SER_{TVOC} für Gerät 1, 8 Messungen, 5 verschiedene Papiersorten, 1 m³ - Kammer A

Bei den in Tabelle 12 für den 26. Februar als Messtag aufgeführten VOC-Werten in der Druckphase (D 3, Ende Druckphase) stellen die Xylole, sowie Hexanal, Benzaldehyd, Phenol und Styrol die Hauptemissionen dar, neben einer Reihe anderer mit signifikanten Werten auftretender Verbindungen. In der Kaltphase stellt Phenol die Hauptemission dar, in der Bereitschaftsphase Benzaldehyd.

Tabelle 12: VOC-Emissionsraten [$\mu\text{g Stück}^{-1} \text{ h}^{-1}$] für Gerät 1, erste Messung

Substanz	Kalt-		Bereitschafts-		Druck- und Nachlaufphase				
	K 1	K 2	B 1	B 2	D 1*	D 2*	D 3*	N*	D 3
Benzol	---	< BG	---	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Toluol	---	< BG	---	< BG	40	24	64	12	92
Hexanal	---	< BG	---	< BG	60	168	228	72	326
Ethylbenzol	---	4	---	4	40	104	124	44	177
m,p-Xylol	---	5	---	4	56	148	164	48	235
Styrol	---	7	---	9	56	140	180	64	258
Heptanal	---	1	---	1	12	36	44	16	63
o-Xylol	---	3	---	3	48	128	164	48	235
Benzaldehyd	---	5	---	58	88	196	248	64	355
Phenol	---	16	---	25	88	188	180	108	258

Substanz	Kalt-		Bereitschafts-		Druck- und Nachlaufphase				
	K 1	K 2	B 1	B 2	D 1*	D 2*	D 3*	N*	D 3
Ethylhexanol	---	< BG	---	3	16	24	24	12	34
Acetophenon	---	2	---	2	52	116	136	36	195
Nonanal	---	2	---	2	24	4	72	24	103
BHT	---	1	---	3	4	4	< BG	4	0
Pentadekan	---	< BG	---	1	4	116	140	48	200
Hexadekan	---	1	---	2	64	176	208	8	298
TVOC	---	47	---	117	652	1572	1976	608	2828

Bei den mit * gekennzeichneten Spalten handelt es sich um scheinbare Emissionsraten, da aufgrund der kurzen Druckzeit noch keine Gleichgewichtseinstellung erfolgt ist bzw. auch in der Nachlaufphase keine Gleichgewichtseinstellung vorliegt, sondern die Konzentrationen abnehmen.

In Abbildung 17 ist das Chromatogramm eines GC / MS - Laufes vom 26. Februar dargestellt. Die analysierte Probe wurde während der Druckphase entnommen. Dieser Versuch wurde mit Recyclingpapier durchgeführt. Im Vergleich dazu ist in Abbildung 18 das Chromatogramm eines GC / MS - Laufes vom 4. März dargestellt. Die analysierte Probe wurde ebenfalls während der Druckphase entnommen. Dieser Versuch wurde jedoch mit Frischfaserpapier 1 (P 1) durchgeführt.

Der Vergleich der beiden Chromatogramme zeigt einen deutlich höheren Anteil an SVOC - Emissionen bei der Verwendung von Recyclingpapier, wenn man den „Buckel“ im Retentionszeitintervall zwischen 28 und 34 Minuten in Abbildung 17 betrachtet. Anzumerken ist, dass der SVOC - Bereich hier bei 28,4 Minuten beginnt. Dies entspricht der Retentionszeit des n-Hexadekans. Der Zusammenhang zwischen verwendeter Papiersorte und SVOC - Emissionen konnte durch direkte Thermodesorption der einzelnen Papiersorten bestätigt werden. Diese Untersuchungen werden ausführlich in Kapitel 6.2 beschrieben.

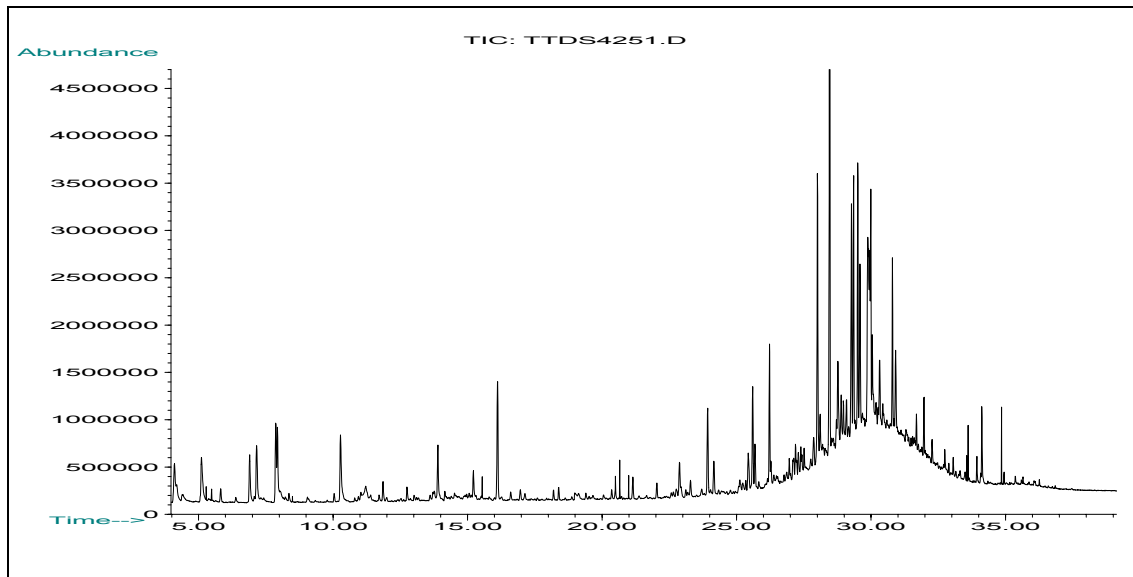


Abbildung 17: Chromatogramm vom 26. Februar aus der Druckphase mit Recyclingpapier (P 0) für Gerät 1, 1 m³ - Kammer A

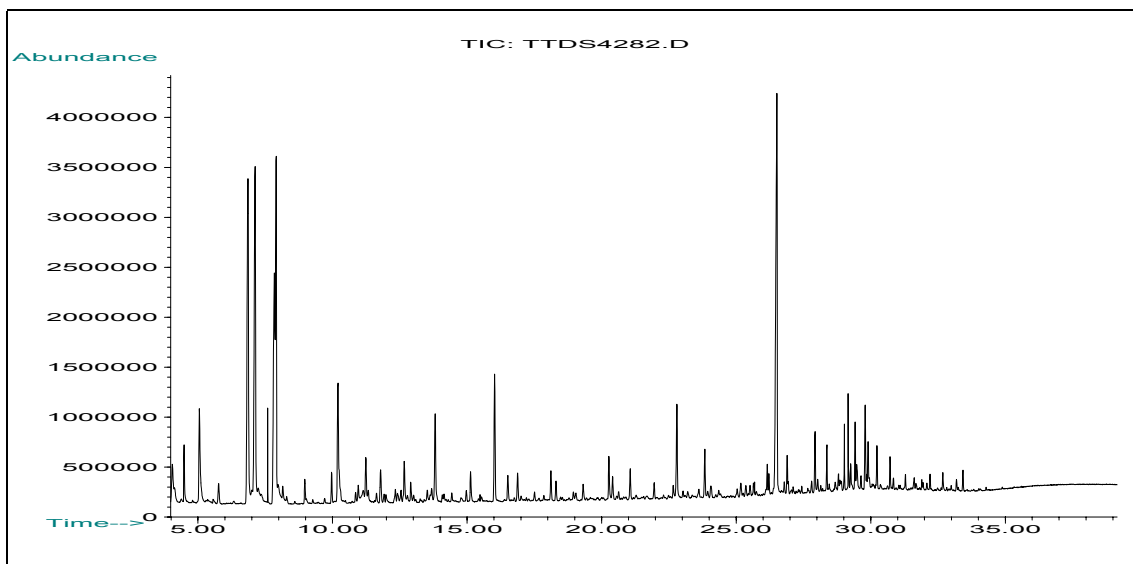


Abbildung 18: Chromatogramm vom 4. März aus der Druckphase mit Frischfaserpapier 1 (P 1) für Gerät 1, 1 m³ - Kammer A

5.3.2 Gerät 2

Für Gerät 2 wurde ein Versuch durchgeführt, dessen Ergebnisse in Abbildung 19 aufgeführt sind. Verglichen mit den anderen untersuchten Geräten waren die ermittelten Emissionsraten für Staub, TVOC und Ozon auffallend gering, wobei eine Ozonemission bei diesem Gerät gerade noch nachweisbar war.

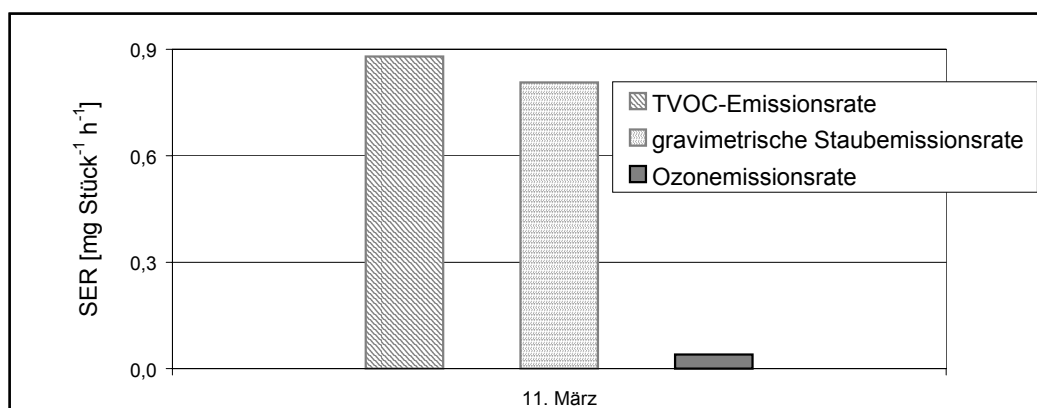


Abbildung 19: Emissionsratenübersicht für Gerät 2, eine Messung, Papiersorte 0, 1 m³ - Kammer A

Hauptemittenten bei den VOC in der Druckphase waren Hexanal und Hexadekan, neben einer Reihe von weiteren VOC, die mit Emissionsraten von weniger als 100 µg h⁻¹ auftraten. In der Kalt- und Bereitschaftsphase waren Toluol und Phenol die Hauptemittenten.

Tabelle 13: VOC-Emissionsraten [µg Stück⁻¹ h⁻¹] für Gerät 2

Substanz	Kalt-		Bereitschafts-		Druck- und Nachlaufphase					
	K 1	K 2	B 1	B 2	D 1*	D 2*	D 3*	D 4*	N*	D 4
Benzol	---	< BG	---	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Toluol	---	11	---	12	120	140	120	76	32	88
Hexanal	---	< BG	---	< BG	236	100	144	168	60	195
Ethylbenzol	---	2	---	8	12	16	20	20	16	23
m,p-Xylol	---	1	---	3	4	8	8	8	4	9
Styrol	---	1	---	2	16	28	32	40	16	46
Heptanal	---	1	---	1	8	16	20	24	52	28
o-Xylol	---	5	---	1	< BG	4	4	4	4	5
Benzaldehyd	---	3	---	6	40	44	60	44	< BG	51
Phenol	---	8	---	18	52	60	76	72	52	84
Ethylhexanol	---	5	---	7	16	20	20	24	12	28
Acetophenon	---	3	---	3	20	24	28	20	36	23
Nonanal	---	4	---	6	36	60	56	68	36	79
BHT	---	< BG	---	3	< BG	12	< BG	12	12	14
Pentadekan	---	1	---	1	16	48	60	68	28	79
Hexadekan	---	1	---	2	28	64	84	92	40	107
TVOC	---	46	---	73	604	644	732	740	400	859

Bei den mit * gekennzeichneten Spalten handelt es sich um scheinbare Emissionsraten, da aufgrund der kurzen Druckzeit noch keine Gleichgewichtseinstellung erfolgt ist bzw. auch in der Nachlaufphase keine Gleichgewichtseinstellung vorliegt, sondern die Konzentrationen abnehmen.

5.3.3 Gerät 3

Für Gerät 3 wurden mehrere Wiederholungsmessungen durchgeführt, wobei über einen längeren Zeitraum Recyclingpapier (P 0) vermessen wurde. Im Dezember wurde zu Vergleichszwecken das Frischfaserpapier 1, zum einen mit 250 Blatt (5. Dezember, 1. Wert), zum anderen mit 500 Blatt (5. Dezember, 2. Wert) zum Drucken eingesetzt. Hierzu erfolgte am 12. Dezember eine Vergleichsmessung in der 20 m³ - Kammer, ebenfalls mit 250 Blatt des Frischfaserpapiers 1.

In Abbildung 20 sind die Ergebnisse der gravimetrischen Staubmessungen dargestellt. Vergleicht man die Ergebnisse der mit Recyclingpapier in den 1 m³ - Kammern A und B durchgeführten Versuche vom 12. März bis zum 20. Juni in Bezug auf die SER_{St} , wird deutlich, dass diese nur geringe Unterschiede aufweisen und gut reproduzierbar sind. Die am 5. Dezember mit dem Frischfaserpapier P 1 ermittelten SER_{St} sind im Gegensatz dazu deutlich geringer. Eine gewisse Abhängigkeit der Staubbemission von der zum Drucken verwendeten Papiersorte scheint zu bestehen.

Ein grundsätzlich anderes Bild zeigt sich für die gravimetrische Staubbestimmung in der 20 m³-Kammer. Die am 5. Dezember mit dem Frischfaserpapier P 1 durchgeführte Messung ergab mit einer ermittelten SER_{St} von 5,0 einen im Vergleich mit der 1 m³ - Kammern B ca. 50 fach erhöhten Wert unter ansonsten konstanten Versuchsbedingungen. Ein erhöhter Staubblindwert in der 20 m³ - Kammer konnte durch Wiederholungsmessungen ausgeschlossen werden.

Der Grund für die hohe SER_{St} scheint an der Probenahme zu liegen. In der 20 m³ - Kammer erfolgte die Probenahme nach Maßgabe des ECMA - Standards [18] in der Nähe des zu untersuchenden Gerätes innerhalb der Prüfkammer. Inhomogenitäten in der Staubverteilung während des Druckprozesses scheinen bei dieser Art der Probenahme aufzutreten, so dass eine um den Faktor drei höhere absolute Staubausswaage als in der 1 m³ - Kammer B erzielt wurde. Daraus berechnete sich dann die hohe SER_{St} . In den 1 m³ - Kammern A und B erfolgte die Staubprobenahme im Gegensatz dazu mittig an der Kammerwand, indem die Filterhalterung an einen vorbereiteten Gewindestutzen angeschraubt wurde. Dadurch wird wahrscheinlich eine homogenere Probenahme ermöglicht.

Der Effekt der im Vergleich mit den 1 m³ - Kammern A und B sehr hohen SER_{St} in der 20 m³ - Kammer trat bei allen untersuchten Geräten, bei denen eine Kammervergleichsmessung durchgeführt wurde, auf.

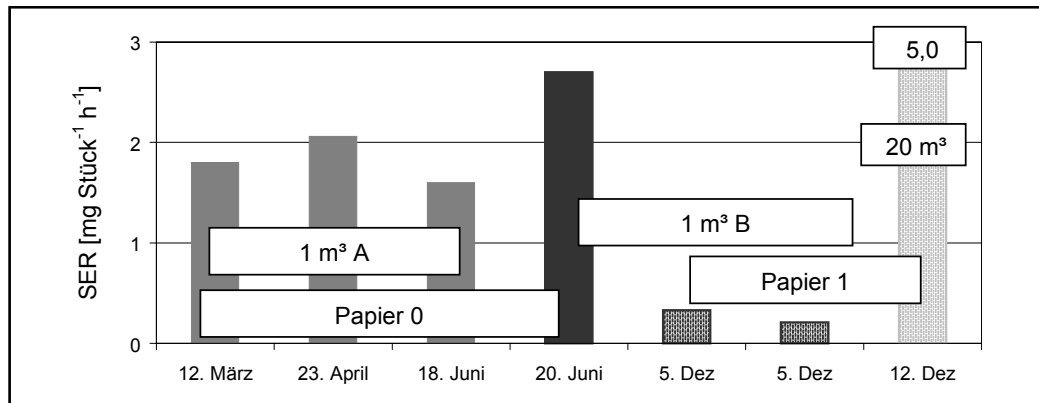


Abbildung 20: Gravimetrisch ermittelte SER_{St} für Gerät 3, 7 Messungen, 2 verschiedene Papiersorten, 1 m³ - Kammern A und B, 20-m³-Kammer

Bei den TVOC - Werten, dargestellt in Abbildung 21, zeigt sich bis auf die letzten beiden Messungen eine weitgehende Konstanz der Emissionen, selbst über den langen Zeitraum von 12. März bis 24. September. Bei den Messungen am 5. Dezember treten größere Unterschiede auf. Außerdem war bei diesen Messungen, gegenüber den vorher durchgeführten, ein anderes Emissionsmuster festzustellen. So traten zum Beispiel Ethylen- und Propylenglykol neu in stark schwankenden Emissionen auf. Da das Gerät vor den Messungen am 5. Dezember einen Defekt hatte, der durch den Kundendienst behoben wurde, ist es wahrscheinlich, dass sich das Emissionsverhalten infolge dieses Eingriffes geändert hat.

Das zu Beginn der Untersuchungen an Gerät 3 ermittelte VOC - Emissionsspektrum ist Tabelle 14 zu entnehmen. Auffallend ist, dass der Hauptemittent eine nicht identifizierbare VOC war, wie auch eine Gruppe von Verbindungen, die in Tabelle 14 als Alkanbuckel gekennzeichnet ist. Diese Gruppe war einer genauen Identifizierung und Quantifizierung nicht zugänglich. Diese Verbindungen wurden deshalb mit dem Responsefaktor von Toluol quantifiziert. In der Kalt- und Bereitschaftsphase waren Phenol und die Alkane („Alkanbuckel“) die Hauptemittenten, die nicht identifizierbare Verbindung aus dem Druckprozess war hier hingegen nicht feststellbar. Dies spricht für eine Emission aus dem Toner während des Druckprozesses, da die nicht identi-

zierte Verbindung auch bei den Toneruntersuchungen festgestellt worden war (siehe Kapitel 6.3).

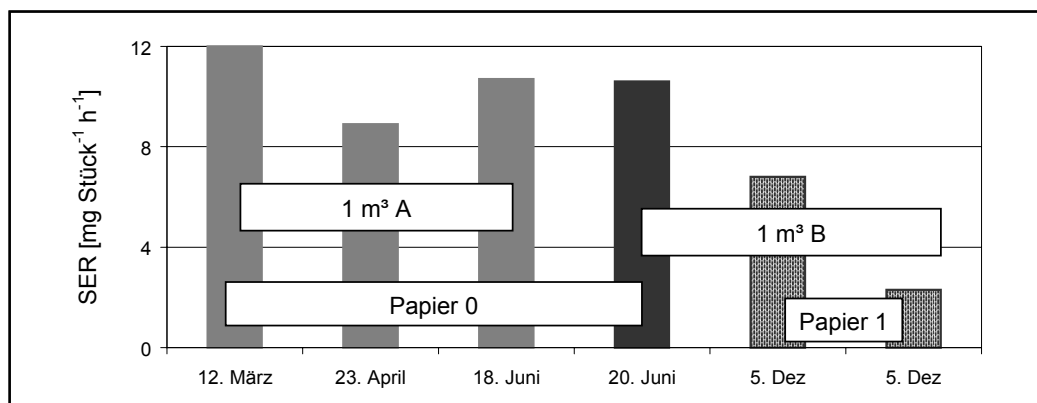


Abbildung 21: SER_{TVOC} für Gerät 3, 6 Messungen, 2 verschiedene Papiersorten, 1 m³ - Kammern A und B, 20 m³ - Kammer

Tabelle 14: VOC-Emissionsraten [$\mu\text{g Stück}^{-1} \text{h}^{-1}$] für Gerät 3, erste Messung

Substanz	Kalt-		Bereitschafts-		Druck- und Nachlaufphase				
	K 1	K 2	B 1	B 2	D 1*	D 2*	D 3*	N*	D 3
Benzol	---	< BG	---	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Toluol	---	15	---	17	24	28	40	20	58
Hexanal	---	1	---	3	76	212	320	128	461
Ethylbenzol	---	2	---	3	48	112	156	68	225
m,p-Xylol	---	2	---	2	16	28	40	16	58
Styrol	---	3	---	10	24	48	68	44	98
Heptanal	---	1	---	2	20	68	96	44	138
o-Xylol	---	1	---	1	20	44	64	28	92
Benzaldehyd	---	6	---	7	116	264	380	132	548
Phenol	---	23	---	43	180	292	392	204	565
Alkanbuckel	---	41	---	37	1180	3432	4572	1320	6588
Ethylhexanol	---	3	---	5	8	16	20	12	29
VOC, unidentifiziert	---	< BG	---	< BG	388	988	1216	412	1752
Acetophenon	---	2	---	2	28	52	76	24	110
Nonanal	---	4	---	6	104	344	440	224	634
BHT	---	< BG	---	3	116	168	204	156	294
Pentadekan	---	1	---	1	36	88	116	36	167
Hexadekan	---	2	---	2	52	116	152	52	219
TVOC	---	107	---	144	2436	6300	8352	2920	12035

Bei den mit * gekennzeichneten Spalten handelt es sich um scheinbare Emissionsraten, da aufgrund der kurzen Druckzeit noch keine Gleichgewichtseinstellung erfolgt ist bzw. auch in der Nachlaufphase keine Gleichgewichtseinstellung vorliegt, sondern die Konzentrationen abnehmen.

Für die Ozonmessungen, deren Ergebnisse in Abbildung 22 dargestellt sind, fällt die gute Übereinstimmung der über einen langen Zeitraum wiederholt durchgeführten

Versuche auf, trotz der oben diskutierten Probleme. Für Ozon wurden einige zusätzliche Messungen durchgeführt, um festzustellen, ob es bei einer Vielzahl von Druckprozessen über einen längeren Zeitraum möglicherweise zu einer Erhöhung der Ozonemissionsrate kommt. Wie ersichtlich, ist es nicht zu einem Anstieg gekommen. Die Ozonemissionsraten wurden gut reproduzierbar bestimmt. Allerdings war das Ozonemissionsniveau auch relativ hoch. Gerät 3 weist zusammen mit Gerät 4 die höchsten in diesem Projekt gemessenen Ozonemissionsraten auf.

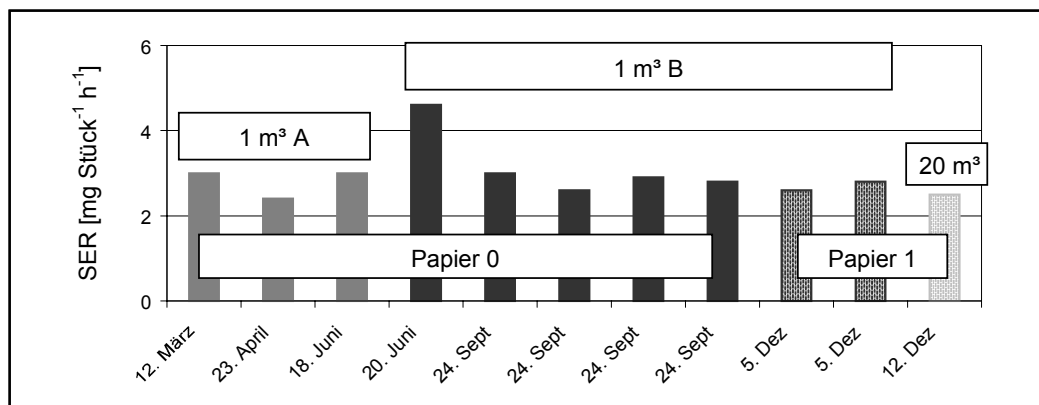


Abbildung 22: SER_{Ozon} für Gerät 3, 11 Messungen, 2 verschiedene Papiersorten, 1 m³ - Kammern A und B, 20 m³ - Kammer

5.3.4 Gerät 4

Mit dem Gerät 4 wurden unter Verwendung von Recyclingpapier (P 0) Vergleichsmessungen zwischen den drei zur Verfügung stehenden Prüfkammern durchgeführt.

Vergleicht man die Ergebnisse der mit Recyclingpapier durchgeführten Versuche im Zeitraum vom 14. März bis zum 3. Juli in Bezug auf die in Abbildung 23 dargestellte SER_{St} , wird deutlich, dass diese unabhängig von der eingesetzten 1 m³ - Kammer deutlich abnimmt. Eine qualitative Korrelation mit den Ergebnissen der TVOC - Messungen (Abbildung 24) ist gegeben. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass der untersuchte Drucker, ähnlich wie Gerät 1, erst einen gewissen „Betriebszustand“ erreichen musste, um weniger Staub als zu Beginn zu emittieren.

Ein grundsätzlich anderes Bild zeigt sich für die gravimetrische Staubbestimmung in der 20 m³ - Kammer. Die am 5. Dezember mit dem Frischfaserpapier P 1 durchgeführte Messung ergab mit einer ermittelten SER_{St} von 5,0 einen im Vergleich mit der 1 m³ - Kammern B drastisch erhöhten Wert unter ansonsten konstanten Versuchsbedingungen. Ein erhöhter Staubblindwert in der 20 m³ - Kammer konnte durch Wie-

derholungsmessungen ausgeschlossen werden. Als wahrscheinliche Erklärung dieses Verhaltens kann das bereits bei Gerät 3 Beschriebene gelten.

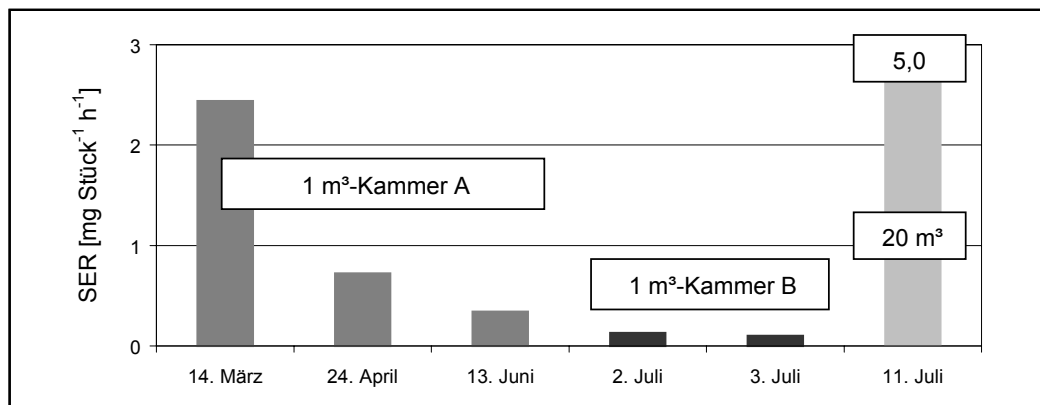


Abbildung 23: Gravimetrisch ermittelte SER_{St} für Gerät 4, 6 Messungen, Papier 0

Für die TVOC - Werte (Abbildung 24) ist über die Zeit ebenfalls eine Abnahme festzustellen, wobei die zeitlich enger zusammenliegenden Kammervergleichsmessungen eine relativ gute Übereinstimmung aufwiesen.

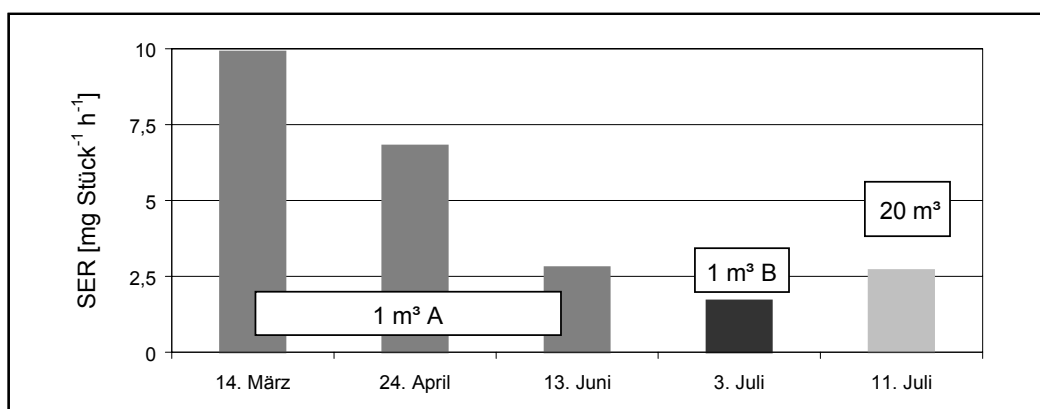


Abbildung 24: SER_{TVOC} für Gerät 4, 5 Messungen, Papier 0

Das zu Beginn der Untersuchungen an Gerät 3 ermittelte VOC - Emissionsspektrum ist Tabelle 15 zu entnehmen. Als auffallende Hauptkomponente trat bei diesem Gerät Toluol auf, das zwar auch im Toner enthalten war, aber nur in vergleichsweise geringen Anteilen, siehe auch Kapitel 6.3. Offensichtlich war in diesem Gerät eine andere bedeutende Toluolquelle vorhanden. Weitere Verbindungen, wie Styrol, Ethylbenzol, Xylole, aber auch Nonanal traten in höheren Konzentrationen auf. Nonanal tritt als Reaktionsprodukt von Ozon mit Tenax und möglicherweise auch als Reaktionsprodukt von Ozon mit flüchtigen organischen Verbindungen auf. Die genannten Verbin-

dungen waren aber auch in der Kalt- und Bereitschaftsphase die hauptsächlich emittierten Stoffe.

Tabelle 15: VOC-Emissionsraten [$\mu\text{g Stück}^{-1} \text{h}^{-1}$] für Gerät 4, erste Messung

Substanz	Kalt-		Bereitschafts-		Druck- und Nachlaufphase					
	K 1	K 2	B 1	B 2	D 1*	D 2*	D 3*	D 4*	N*	D 4
Benzol	---	< BG	---	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Toluol	---	107	---	833	2764	4704	5436	5852	12	6952
Hexanal	---	1	---	< BG	32	64	84	88	72	105
Ethylbenzol	---	15	---	32	180	324	416	444	44	527
m,p-Xylol	---	11	---	23	136	244	328	360	48	428
Styrol	---	58	---	90	360	480	640	712	64	846
Heptanal	---	1	---	< BG	16	36	140	56	16	67
o-Xylol	---	5	---	6	60	104	140	148	48	176
Benzaldehyd	---	< BG	---	4	32	144	164	120	64	143
Phenol	---	19	---	13	52	64	76	56	108	67
Ethylhexanol	---	27	---	12	56	52	60	60	12	71
Acetophenon	---	4	---	2	20	32	36	28	36	33
Nonanal	---	6	---	3	116	228	288	308	24	366
BHT	---	10	---	9	8	20	20	12	4	14
Pentadekan	---	1	---	1	8	20	24	24	48	29
Hexadekan	---	1	---	1	16	32	40	40	8	48
TVOC	---	266	---	1029	3856	6548	7892	8308	608	9869

Bei den mit * gekennzeichneten Spalten handelt es sich um scheinbare Emissionsraten, da aufgrund der kurzen Druckzeit noch keine Gleichgewichtseinstellung erfolgt ist bzw. auch in der Nachlaufphase keine Gleichgewichtseinstellung vorliegt, sondern die Konzentrationen abnehmen.

Auch bei diesem Gerät traten wieder, wie bei Gerät 3, höhere Ozonemissionen auf, die aber wiederum auf vergleichsweise konstantem Niveau waren (Abbildung 25).

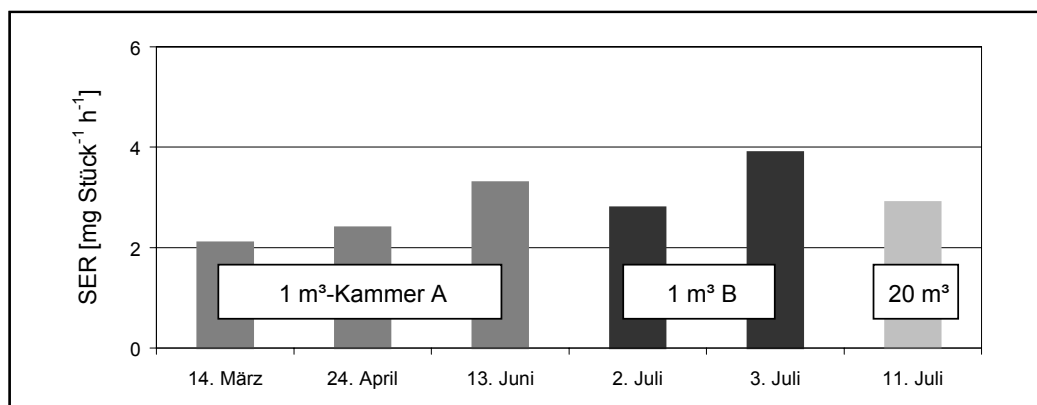


Abbildung 25: SER_{O₃} für Gerät 4, 6 Messungen, Papier 0

5.3.5 Gerät 5

Für Gerät 5 wurde lediglich ein Versuch größenbedingt in der 20 m³ - Kammer durchgeführt, dessen Ergebnisse in Abbildung 26 dargestellt sind. Für Ozon wurde bei diesem Gerät eine gerade noch nachweisbare Emission festgestellt.

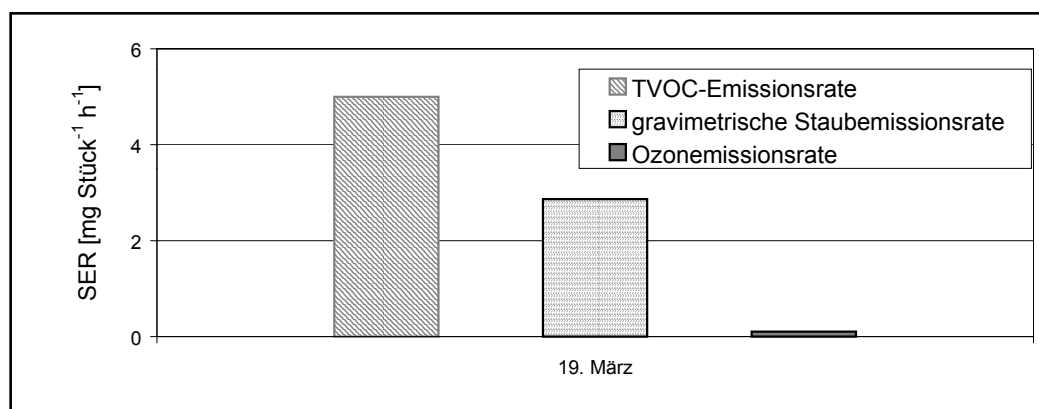


Abbildung 26: Emissionsratenübersicht für Gerät 5, eine Messung, Papiersorte 0, 20 m³ - Kammer

Wie Tabelle 16 zeigt, war Toluol Hauptemission bei diesem Gerät, gefolgt von Benzaldehyd, Benzylalkohol und Acetophenon, aber auch Nonanal mit höheren Werten (vgl. Gerät 4). Die genannten Verbindungen traten auch in der Kalt- und Bereitschaftsphase auf.

Tabelle 16: VOC-Emissionsraten [$\mu\text{g Stück}^{-1} \text{h}^{-1}$] für Gerät 5

Substanz	Kalt-		Bereitschafts-		Druck- und Nachlaufphase					
	K 1	K 2	B 1	B 2	D 1*	D 2*	D 3*	D 4*	N*	D 4
Benzol	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Toluol	600	380	280	220	200	660	700	560	160	1955
Hexanal	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Ethylbenzol	20	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
m,p-Xylol	20	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Styrol	< BG	20	20	20	< BG	< BG	20	40	40	140
Heptanal	140	< BG	20	< BG	< BG	< BG	< BG	40	20	140
o-Xylol	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Benzaldehyd	100	60	60	60	160	160	80	200	60	698
Phenol	40	40	40	60	100	100	80	80	60	279
Benzylalkohol	380	420	240	200	60	180	180	180	< BG	628
Ethylhexanol	20	20	20	20	< BG	< BG	< BG	40	20	140
Acetophenon	20	20	40	40	20	80	40	200	40	698
Nonanal	60	60	40	40	20	80	120	120	60	419
TVOC	1400	1020	760	660	560	1260	1220	1460	460	5097

Bei den mit * gekennzeichneten Spalten handelt es sich um scheinbare Emissionsraten, da aufgrund der kurzen Druckzeit noch keine Gleichgewichtseinstellung erfolgt ist bzw. auch in der Nachlaufphase keine Gleichgewichtseinstellung vorliegt, sondern die Konzentrationen abnehmen.

5.3.6 Gerät 6

Gerät 6 konnte, bedingt durch seine Größe, nur in der 20 m³ - Kammer untersucht werden. Zum Einsatz kam Recyclingpapier.

Die Ergebnisse der gravimetrischen Staubbestimmung, dargestellt in Abbildung 27, zeigen eine tendenzielle Zunahme der Staubemissionsrate. Eine messbare Ozonemission während des Druckvorganges war nicht festzustellen.

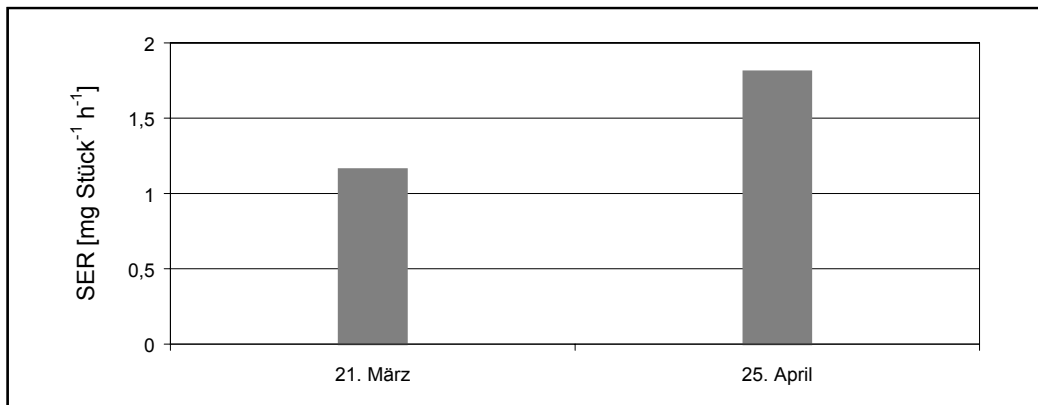


Abbildung 27: Gravimetrisch ermittelte SER_{St} für Gerät 6, 2 Messungen, Papier 0, 20 m³ - Kammer

Die hauptsächlich emittierte Verbindung war Propylenglykol, sowohl in der Druckphase, als auch mit auffallend hohen Emissionsraten in der Kalt- und Bereitschaftsphase (Tabelle 17). Weitere wesentliche Verbindungen waren Benzaldehyd, Acetophenon, Nonanal und Phenol, sowohl für die Druck- als auch für die Kalt- und Bereitschaftsphase.

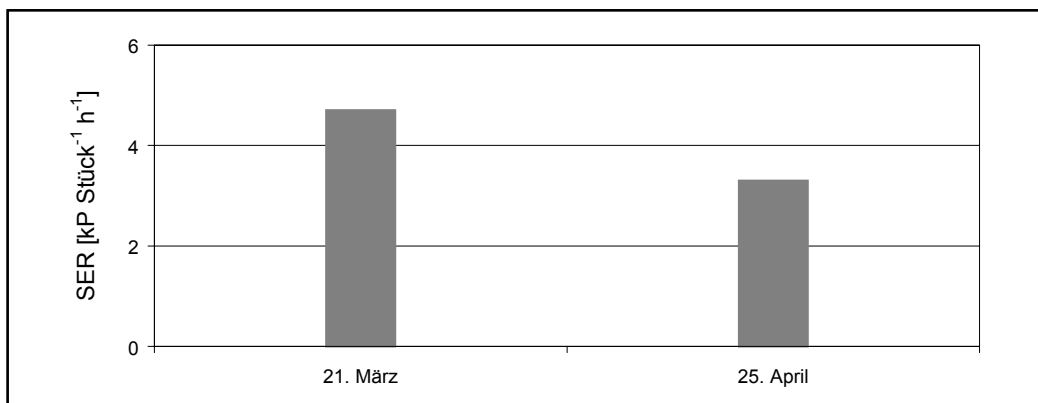


Abbildung 28: SER_{TVOC} für Gerät 6, 2 Messungen, Papier 0, 20 m³ - Kammer

Tabelle 17: VOC-Emissionsraten [$\mu\text{g Stück}^{-1} \text{h}^{-1}$] für Gerät 6, erste Messung

Substanz	Kalt-		Bereitschafts-		Druck- und Nachlaufphase					
	K 1	K 2	B 1	B 2	D 1*	D 2*	D 3*	D 4*	N*	D 4
Benzol	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Toluol	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Hexanal	20	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	60	< BG
Ethylbenzol	20	20	20	< BG	20	80	60	40	0	113
m,p-Xylol	20	20	60	40	80	60	60	40	40	113
Styrol	20	20	40	60	60	60	40	40	40	113
Propylenglykol	580	520	1360	780	640	940	760	660	1000	1868
Heptanal	20	20	40	20	< BG	< BG	< BG	40	40	113
o-Xylol	< BG	< BG	20	< BG	< BG	20	< BG	< BG	20	< BG
Benzaldehyd	40	40	120	80	300	220	200	160	80	453
Phenol	40	60	100	80	80	140	100	120	120	340
Ethylhexanol	40	20	60	40	40	60	40	40	40	113
Acetophenon	60	40	220	220	220	260	220	240	180	679
Nonanal	120	100	220	160	120	200	160	180	160	509
TVOC	980	860	2260	1480	1560	2040	1640	1560	1780	4414

Bei den mit * gekennzeichneten Spalten handelt es sich um scheinbare Emissionsraten, da aufgrund der kurzen Druckzeit noch keine Gleichgewichtseinstellung erfolgt ist bzw. auch in der Nachlaufphase keine Gleichgewichtseinstellung vorliegt, sondern die Konzentrationen abnehmen.

5.3.7 Gerät 7

Für Gerät 7, das zusätzlich in das Messprogramm aufgenommen wurde, wurden in der 1 m^3 - Kammer A unter identischen Prüfbedingungen mit Recyclingpapier an zwei aufeinanderfolgenden Tagen Wiederholungsmessungen durchgeführt.

Die Ergebnisse der gravimetrischen Staubbestimmung, dargestellt in Abbildung 29, sind mit denen der anderen untersuchten Geräte vergleichbar. Der Unterschied zwischen den beiden ermittelten Werten ist auf das nicht reproduzierbare Emissionsverhalten des Gerätes zurückzuführen.

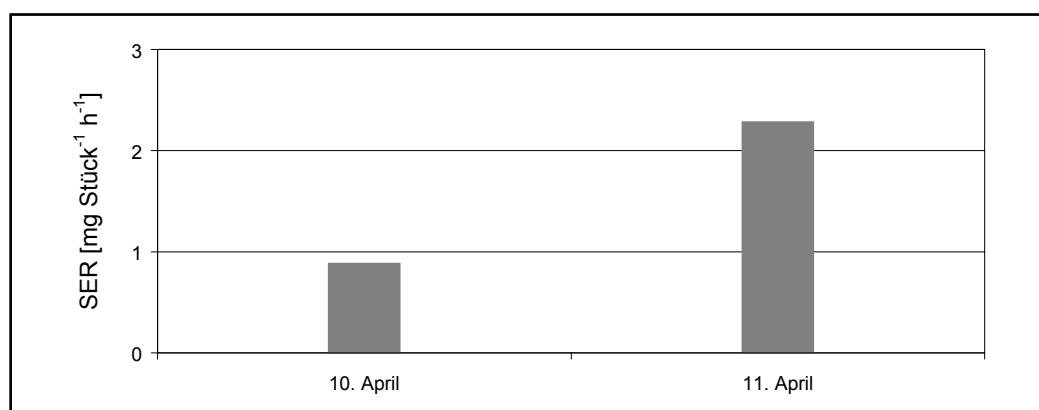


Abbildung 29: Gravimetrisch ermittelte SER_{St} für Gerät 7, 2 Messungen, Papier 0, 1 m^3 - Kammer A

Die innerhalb von zwei Tagen ermittelten TVOC - Emissionsraten (Abbildung 30) zeigten eine relativ gute Vergleichbarkeit. Sie sind die höchsten in diesem Projekt ermittelten TVOC - Emissionsraten.

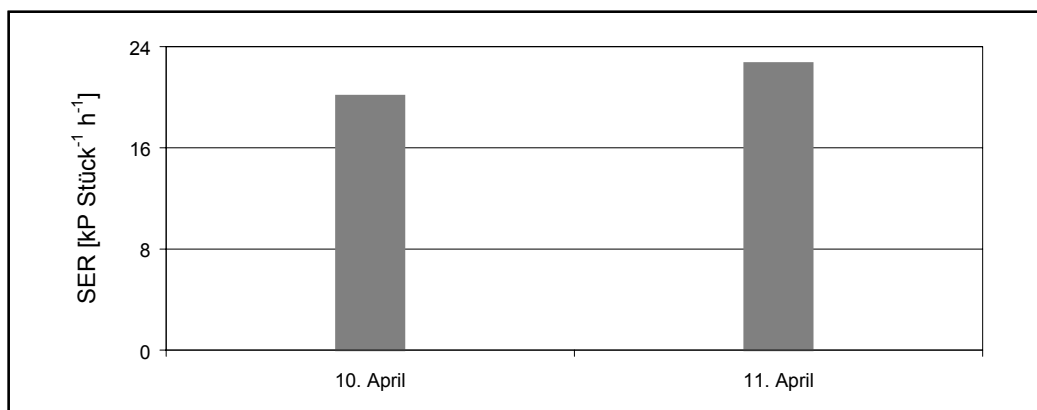


Abbildung 30: SER_{TVOC} für Gerät 7, 2 Messungen, Papier 0, 1 m³ - Kammer A

Hauptemissionen waren, wie schon bei Gerät 3, eine nicht identifizierte Verbindung und mehrere Alkane („Alkanbuckel“), sowie Hepten, Styrol und Xylole, sowohl in der Druck-, als auch in der Kalt- und Bereitschaftsphase.

Tabelle 18: VOC-Emissionsraten [$\mu\text{g Stück}^{-1} \text{h}^{-1}$] für Gerät 7, zweite Messung

Substanz	Kalt-		Bereitschafts-		Druck- und Nachlaufphase			
	K 1	K 2	B 1	B 2	D 1*	D 2*	N*	D 2
Benzol	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Hepten	177	212	283	221	1148	2036	872	3605
Toluol	15	16	19	16	112	192	48	340
Hexanal	< BG	< BG	< BG	< BG	24	64	20	113
Ethylbenzol	5	6	8	6	56	136	48	241
m,p-Xylol	11	14	19	15	152	384	136	680
Styrol	36	49	70	55	688	1692	568	2996
o-Xylol	4	5	6	5	60	156	72	276
Benzaldehyd	6	7	6	5	60	144	80	255
Phenol	3	1	3	3	8	16	108	28
nicht identifiziert	17	3	31	26	2964	6568	2312	11628
Acetophenon	2	3	2	2	16	40	< BG	71
Alkanbuckel	11	19	< BG	< BG	416	1176	468	2082
Nonanal	5	4	5	4	32	< BG	< BG	< BG
Pentadekan	1	1	1	1	12	< BG	12	< BG
Hexadekan	1	1	1	1	20	56	< BG	99
TVOC	294	341	454	360	5768	12660	4744	22414

Bei den mit * gekennzeichneten Spalten handelt es sich um scheinbare Emissionsraten, da aufgrund der kurzen Druckzeit noch keine Gleichgewichtseinstellung erfolgt ist bzw. auch in der Nachlaufphase keine Gleichgewichtseinstellung vorliegt, sondern die Konzentrationen abnehmen.

Eine messbare Ozonemission während des Druckvorganges war nicht festzustellen.

5.3.8 Gerät 8

Mit dem Gerät 8 wurden unter Verwendung von Recyclingpapier (P 0) Vergleichsmessungen zwischen den drei zur Verfügung stehenden Prüfkammern durchgeführt.

Vergleicht man die Ergebnisse der mit Recyclingpapier durchgeführten Versuche in den 1 m³ - Kammern A und B in Bezug auf die Abbildung 31 dargestellte SER_{St}, zeigt sich eine leicht ansteigende Tendenz der Werte auf niedrigem Niveau.

Ein grundsätzlich anderes Bild zeigt sich wiederum für die gravimetrische Staubbestimmung in der 20 m³ - Kammer. Die am 9. Juli durchgeführte Messung ergab mit einer ermittelten SER_{St} von 4,14 mg pro Stück und Stunde einen im Vergleich mit den 1 m³ - Kammern A und B stark erhöhten Wert unter ansonsten konstanten Versuchsbedingungen. Ein erhöhter Staubblindwert in der 20 m³ - Kammer konnte durch Wiederholungsmessungen ausgeschlossen werden. Als wahrscheinliche Erklärung dieses Verhaltens kann das bereits bei Gerät 3 Beschriebene gelten.

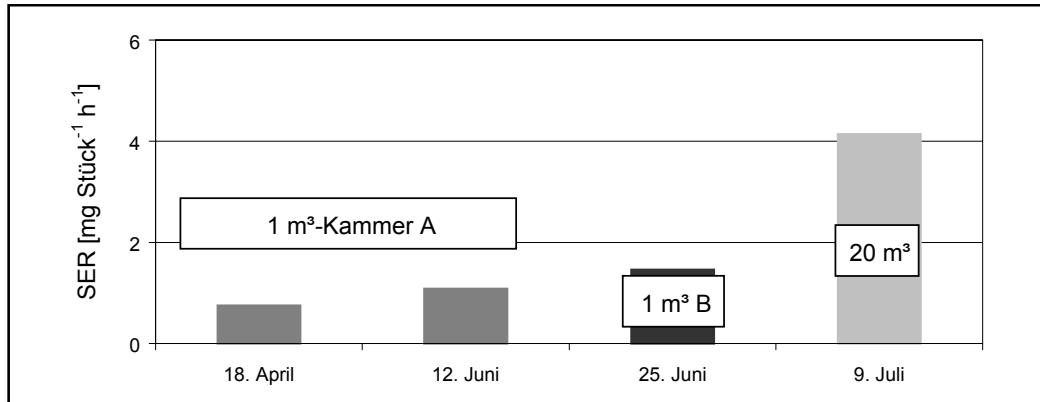
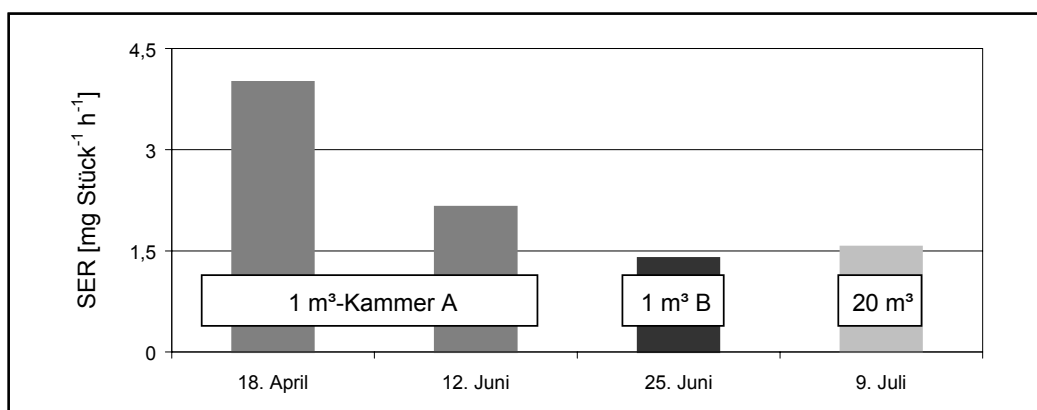


Abbildung 31: Gravimetrisch ermittelte SER_{St} für Gerät 8, 4 Messungen, Papier 0

Bei den in Abbildung 32 dargestellten TVOC - Messungen ist, wie dies bei mehreren Geräten festzustellen war, ein ausgeprägter Konzentrationsabfall über die Zeit ersichtlich. Die zeitnah am gealterten Gerät ermittelten Vergleichsmessungen zwischen 1 m³ - und 20 m³ - Kammer stimmten gut überein.

Abbildung 32: SER_{TVOC} für Gerät 8, 4 Messungen, Papier 0

Hauptsubstanzen sind Xylole, Styrol, Ethylbenzol, aber auch Benzaldehyd, Acetophenon und Hexanal, die, abgesehen von Hexanal, auch in der Kalt- und Bereitschaftsphase, jedoch in geringen Konzentrationen vorliegen, wie aus Tabelle 19 ersichtlich.

Tabelle 19: VOC-Emissionsraten [$\mu\text{g Stück}^{-1} \text{h}^{-1}$] für Gerät 8, erste Messung

Substanz	Kalt-		Bereitschafts-		Druck- und Nachlaufphase					
	K 1	K 2	B 1	B 2	D 1*	D 2*	D 3*	D 4*	N*	D 4
Benzol	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Toluol	2	2	2	1	< BG	< BG	20	12	< BG	16
Hexanal	1	< BG	< BG	< BG	< BG	88	132	228	72	305
Ethylbenzol	4	4	5	5	64	160	220	356	112	477
m,p-Xylol	6	5	5	5	72	180	244	372	128	498
Styrol	4	5	10	17	80	180	248	404	144	541
Heptanal	< BG	< BG	< BG	< BG	16	24	24	48	16	64
o-Xylol	4	3	4	4	64	164	224	372	116	498
Benzaldehyd	8	5	5	6	84	164	212	308	92	413
Phenol	6	8	11	14	64	128	156	208	72	279
Ethylhexanol	3	3	2	2	12	28	32	52	16	70
Acetophenon	3	2	4	3	48	88	112	176	48	236
Nonanal	5	4	5	5	40	64	84	124	36	166
BHT	< BG	< BG	< BG	< BG	28	44	52	84	24	113
Pentadekan	1	1	1	1	24	60	80	108	28	145
Hexadekan	2	1	1	1	44	100	124	184	48	247
TVOC	49	43	55	64	640	1472	1964	3036	952	4068

Bei den mit * gekennzeichneten Spalten handelt es sich um scheinbare Emissionsraten, da aufgrund der kurzen Druckzeit noch keine Gleichgewichtseinstellung erfolgt ist bzw. auch in der Nachlaufphase keine Gleichgewichtseinstellung vorliegt, sondern die Konzentrationen abnehmen.

Eine messbare Ozonemission während des Druckvorganges war nicht festzustellen.

5.3.9 Gerät 9

Mit dem Gerät 9 wurden sowohl Untersuchungen mit Recyclingpapier als auch Vergleichsmessungen zwischen der 1 m³ - Kammer B und der 20 m³ - Kammer unter Verwendung von Frischfaserpapier 1 durchgeführt. Am 2. Dezember wurden 250 Blatt und am 3. Dezember 500 Blatt in der 1 m³ - Kammer B gedruckt. Hierzu erfolgte am 10. Dezember eine Vergleichsmessung in der 20 m³ - Kammer, ebenfalls mit 250 Blatt.

Vergleicht man die Ergebnisse der in der 1 m³ - Kammer B durchgeführten Versuche in Bezug auf die in Abbildung 33 dargestellte SER_{St}, wird deutlich, dass diese im Lauf der Zeit deutlich abnimmt. Dies kann jedoch, ähnlich wie bei Gerät 3, auch auf die Verwendung von Frischfaserpapier (P 1) anstelle von Recyclingpapier zurückzuführen sein.

Ein grundsätzlich anderes Bild zeigt sich wiederum für die gravimetrische Staubbestimmung in der 20 m³ - Kammer. Die am 10. Dezember durchgeführte Messung ergab mit einer ermittelten SER_{St} von 7,63 einen im Vergleich mit der 1 m³ - Kammern B drastisch erhöhten Wert unter ansonsten konstanten Versuchsbedingungen. Ein erhöhter Staubblindwert in der 20 m³ - Kammer konnte durch Wiederholungsmessungen ausgeschlossen werden. Als wahrscheinliche Erklärung dieses Verhaltens kann das bereits bei Gerät 3 Beschriebene gelten.

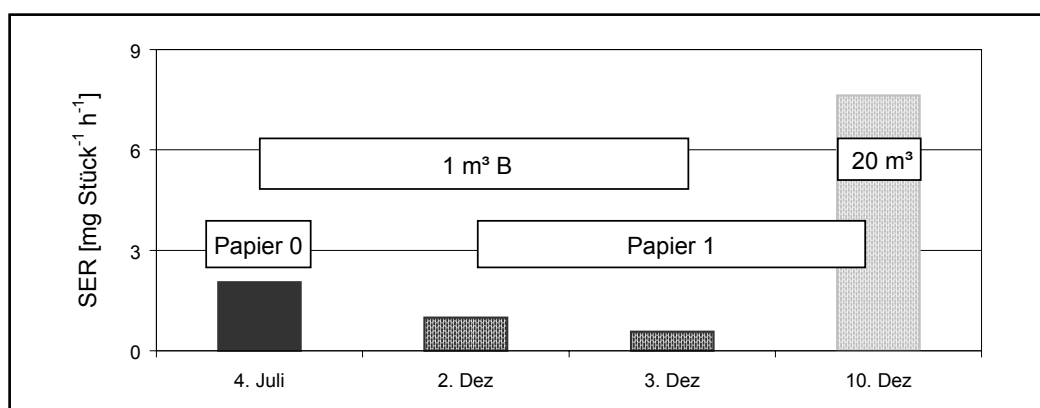


Abbildung 33: Gravimetrisch ermittelte SER_{St} für Gerät 9, 4 Messungen, Papier 0 und 1

Eine messbare Ozonemission während des Druckvorganges war nicht festzustellen.

Wie aus Abbildung 34 ersichtlich ist, stimmen die aus der jeweils letzten Druckphase berechneten TVOC - Emissionsraten für die beiden unterschiedlichen Papiermengen (250 Blatt am 2. Dezember und 500 Blatt am 3. Dezember) sehr gut überein. Auch die Messung in der 20 m³ - Kammer ergibt eine TVOC - Emissionsrate, die mit denen in der 1 m³ - Kammer B ermittelten sehr gut übereinstimmt. Hauptsubstanzen sind Xylole, Styrol sowie Ethylbenzol, wie aus Tabelle 20 ersichtlich.

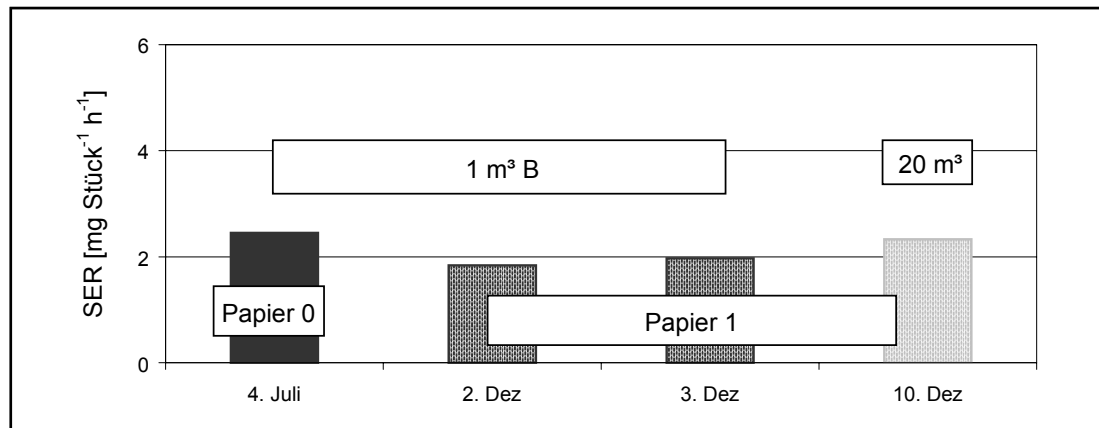


Abbildung 34: SER_{TVOC} für Gerät 9, 4 Messungen, Papier 0 und 1

Tabelle 20: VOC-Emissionsraten [$\mu\text{g Stück}^{-1} \text{h}^{-1}$] für Gerät 9, erste Messung

Substanz	Kalt-		Bereitschafts-		Druck- und Nachlaufphase					
	K 1	K 2	B 1	B 2	D 1*	D 2*	D 3*	D 4*	N*	D 4
Benzol	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG
Toluol	2	2	1	1	9	18	40	22	9	27
Hexanal	< BG	< BG	< BG	< BG	18	57	88	101	31	124
Ethylbenzol	4	5	5	5	97	251	348	392	128	478
m,p-Xylol	3	4	4	5	97	251	348	392	132	478
Styrol	3	5	3	4	44	128	70	202	70	247
Heptanal	4	5	4	< BG	62	79	< BG	88	18	107
o-Xylol	2	2	2	3	66	172	238	268	233	328
Benzaldehyd	2	2	2	2	31	75	101	106	31	129
Phenol	6	2	7	8	31	35	57	31	18	38
Ethylhexanol	1	1	1	1	4	9	13	13	4	16
Acetophenon	1	1	1	1	22	53	66	75	22	91
Nonanal	2	1	1	1	13	35	44	48	18	59
BHT	< BG	< BG	< BG	< BG	13	31	35	40	13	48
Pentadekan	< BG	1	< BG	< BG	22	62	79	75	22	91
Hexadekan	< BG	< BG	< BG	< BG	18	48	62	62	22	75
TVOC	30	31	< BG	31	546	1302	1588	1914	770	2337

Bei den mit * gekennzeichneten Spalten handelt es sich um scheinbare Emissionsraten, da aufgrund der kurzen Druckzeit noch keine Gleichgewichtseinstellung erfolgt ist bzw. auch in der Nachlaufphase keine Gleichgewichtseinstellung vorliegt, sondern die Konzentrationen abnehmen.

6 Untersuchungen für die Entwicklung des Prüfverfahrens

6.1 Klima

Für die Entwicklung des Prüfverfahrens wurden die ersten Versuche mit Drucker 0 in der 1 m³ - Kammer B mit Recyclingpapier bei einer Luftaustauschrate von 1 h⁻¹ durchgeführt. Die Verwendung von Recyclingpapier war eine anfängliche Vorgabe des Auftraggebers. Abbildung 35 veranschaulicht die Ergebnisse dieses Versuches. Die rel. F. stieg während des Druckvorganges auf über 95 % an, dabei kam es zur Kondensation von Wasserdampf in der Prüfkammer, besonders an den lokal kälteren Stellen, wie dem Kammerboden, da während des Druckens die Walzen des Druckers auf bis zu 180 °C erhitzt werden. Dies ist auf die vermehrte Wasserfreisetzung aus dem Recyclingpapier zurückzuführen. Die mit einer Infrarotkamera aufgenommenen Temperaturbilder zeigen deutlich die starke Wärmeentwicklung. In Abbildung 36 ist als Beispiel die Infrarotaufnahme eines Papiers während des Ausdrucks dargestellt.

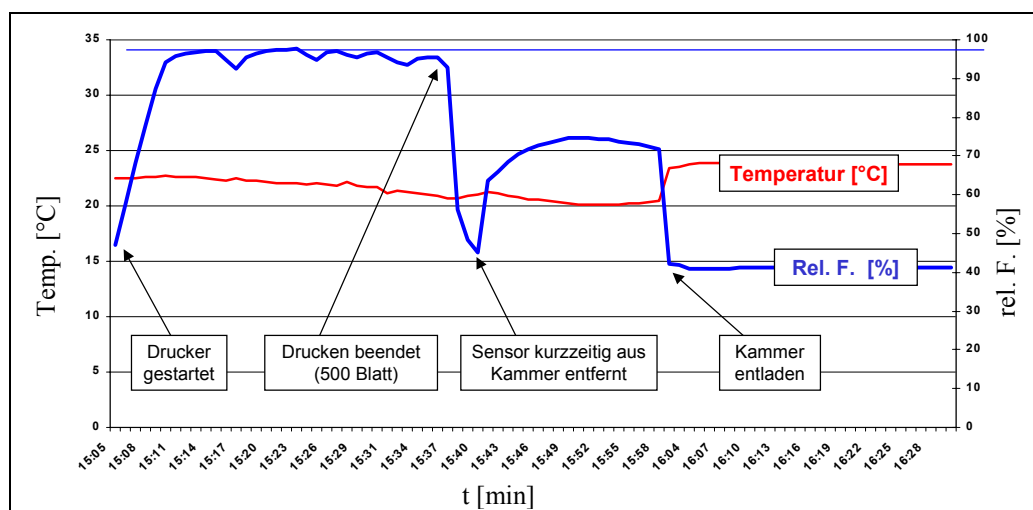


Abbildung 35: Drucker 0, 1 m³ - Kammer B, Luftwechsel $n=1 \text{ h}^{-1}$, nicht konditioniertes Recyclingpapier

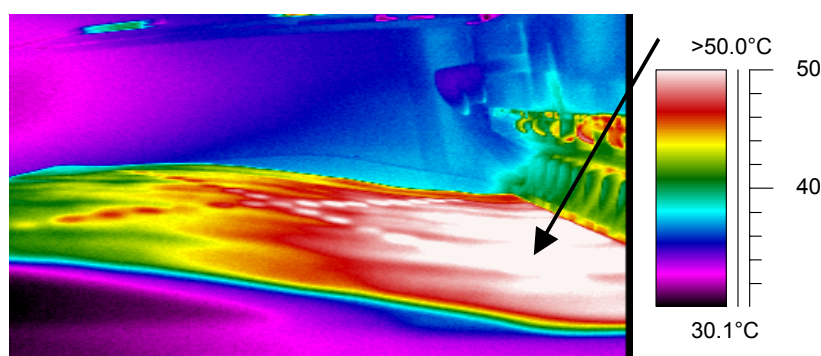


Abbildung 36: Infrarotaufnahme eines Papiers während des Drucks [rechts der Papierauswurf des Druckers, links das bedruckte Blatt (Pfeil)]

Die Versuchsbedingungen wurden deshalb geändert und zunächst das Recyclingpapier konditioniert, d. h. 7 Tage bei 50 °C im Trockenschrank vorgetrocknet. Die Luftaustauschrate wurde zunächst bei 1 h⁻¹ belassen. Abbildung 37 zeigt die Ergebnisse dieses Versuches. Die rel. F. stieg während des Druckvorganges immer noch auf ca. 90 % an, lokal kondensierte auch noch Wasserdampf in der Prüfkammer.

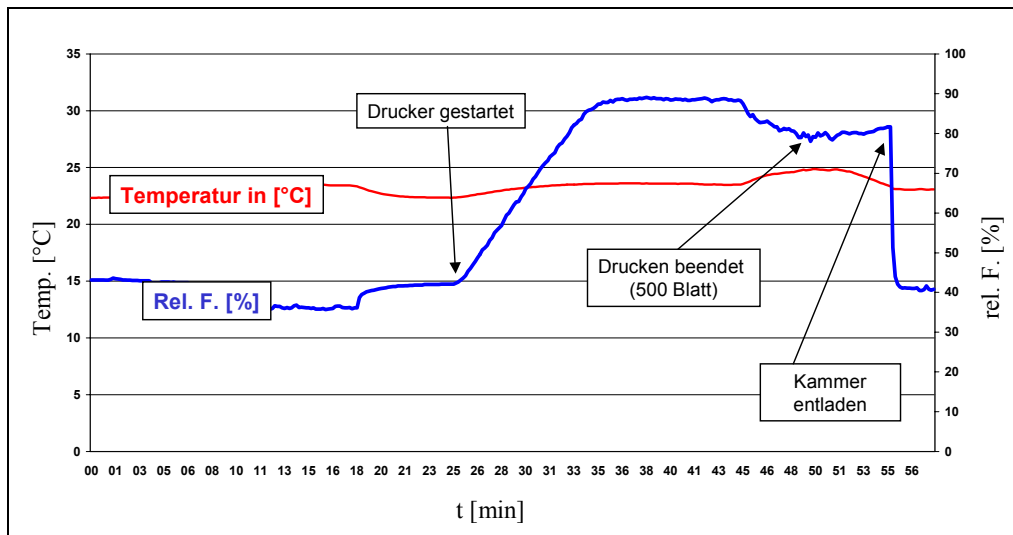


Abbildung 37: Drucker 0, 1 m³ - Kammer B, Luftwechsel $n=1 \text{ h}^{-1}$, getrocknetes Recyclingpapier (50 °C / 7 Tage)

In Abbildung 38 sind die Ergebnisse bei einer Luftaustauschrate von 5 h⁻¹ und Verwendung von nicht konditioniertem Recyclingpapier dargestellt. Die rel. F. stieg während des Druckvorganges immer noch auf ca. 95 % an. Wenige Stellen auf dem Kammerboden wiesen kondensiertes Wasser auf.

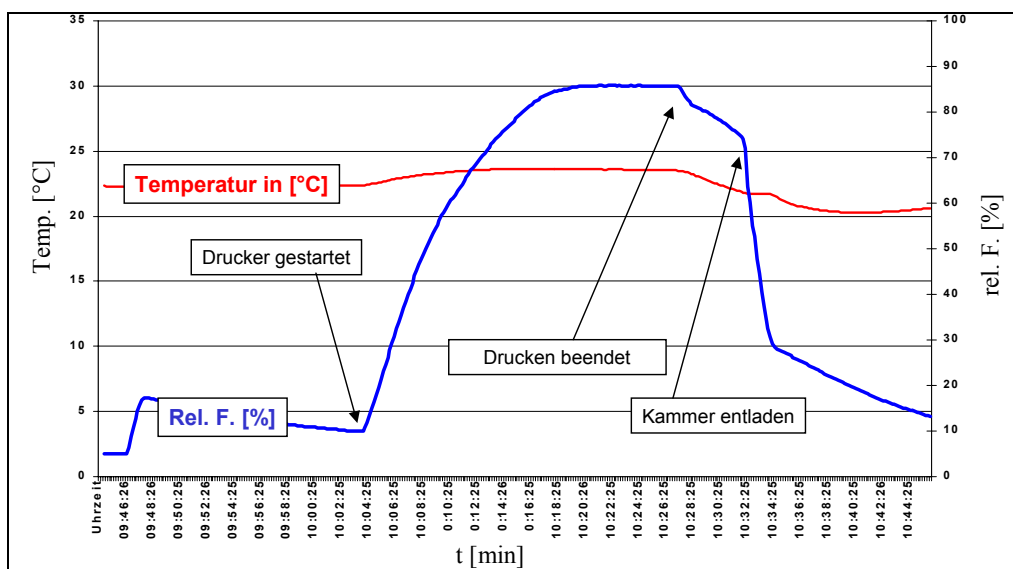


Abbildung 38: Drucker 0, 1 m³ - Kammer B, Luftwechsel $n=5 \text{ h}^{-1}$, nicht getrocknetes Recyclingpapier

Nachdem die Vorversuche ausgewertet waren (siehe auch 4.2.1 sowie 5.2) wurden für die 1 m³ - Kammern A und B folgende Prüfbedingungen festgelegt:

- Einsatz von Frischfaserpapier oder vorgetrocknetem Recyclingpapier
- Einsatz einer hohen Lufttaustauschrate beim Verwendung kleiner Emissionsmesskammern mit einem Volumen kleiner oder gleich 5 m³
- Einsatz von trockener Zuluft mit maximal 10 % rel. F. beim Druckstart

Unter Einhaltung dieser Bedingungen ließ sich bei den nachfolgenden Gerätemessungen im Druckbetrieb die rel. F. im Bereich von 60 % bis 70 % halten. (siehe Abbildung 39 sowie die Klimakurven im Anhang). Die Temperatur lag in Abhängigkeit von der verwendeten Kammer zwischen 23 °C und 26 °C. In der 20 m³ - Kammer traten diese Klimaprobleme nicht auf.

6.2 Papier

Bei den Prüfkammermessungen wurden im Vergleich mit den ermittelten VOC - Konzentrationen zum Teil hohe Konzentrationen von schwerer flüchtigen organischen Verbindungen (SVOC) gefunden, siehe auch Kapitel 5.3.1. Als Quelle hierfür kam auch das verwendete Papier in Frage. Um eventuelle Emissionen aus dem Papier allein nachzuweisen, wurde das Papier mit der Direkt - TDS (siehe 3.6.1) untersucht. Zuerst wurde damit das für die Druckeruntersuchungen eingesetzte Recyclingpapier analysiert. Abbildung 41 zeigt das dabei erhaltene Chromatogramm. Die bei den Prüfkammermessungen gefundenen SVOC stammen demnach aus dem eingesetzten Papier, da eine sehr gute Übereinstimmung des Peakmasters und der identifizierten Einzelsubstanzen mit den bei der Kammermessung (vergleiche Abbildung 17) auftretenden SVOCs besteht.

Die Abweichung der Klima- von den Standardbedingungen (23 °C, 50 % rel. F.), die beim Druckprozess, insbesondere in kleinen Emissionsmesskammern auftreten, erscheinen aus nachfolgendem Grund akzeptabel. Durch die lokal im Drucker oder Kopierer auftretenden hohen Temperaturen von bis zu 180 °C werden an diesen Stellen Hauptursachen der VOC - Emissionen liegen. Das Mikroklima im Gerät ist dort ohnehin stark abweichend von den in der Kammer vorliegenden Bedingungen. Der Einfluss etwas abweichender Kammerbedingungen auf das Emissionsverhalten und das Messergebnis kann damit als vernachlässigbar angesehen werden.

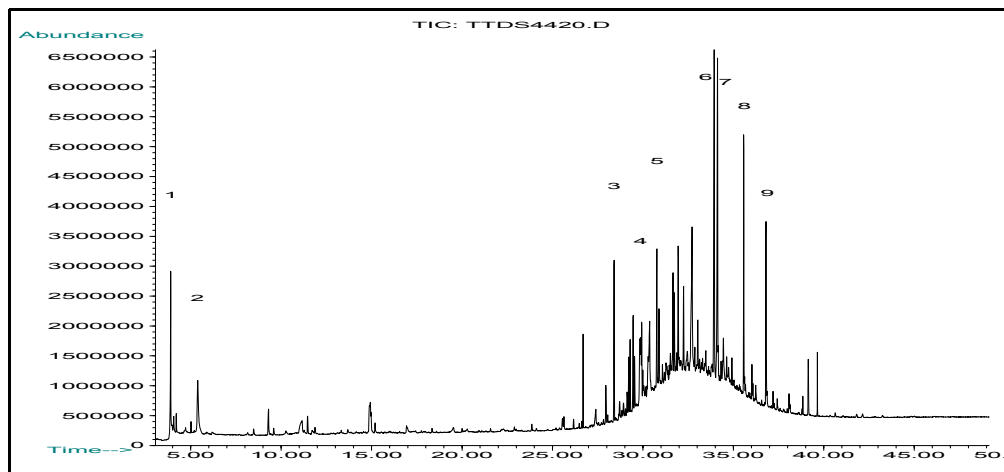


Abbildung 41: Chromatogramm einer Direkt - TDS des eingesetzten Recyclingpapiers (1: Essigsäure, 2: Hexanal, 3: Isopropyllaurat, 4: Diisopropylnaphthalin, 5: Oktadecan, 6: Octadecen, 7: Methyloleat, 8: Eicosen, 9: Docosen)

Zum Vergleich wurden auch Frischfaserpapiere mit der Direkt - TDS untersucht. Abbildung 42 zeigt ein Beispielchromatogramm dafür. Insgesamt wurden aus den untersuchten Frischfaserpapieren deutlich weniger SVOCs abgegeben als aus den untersuchten Recyclingpapieren.

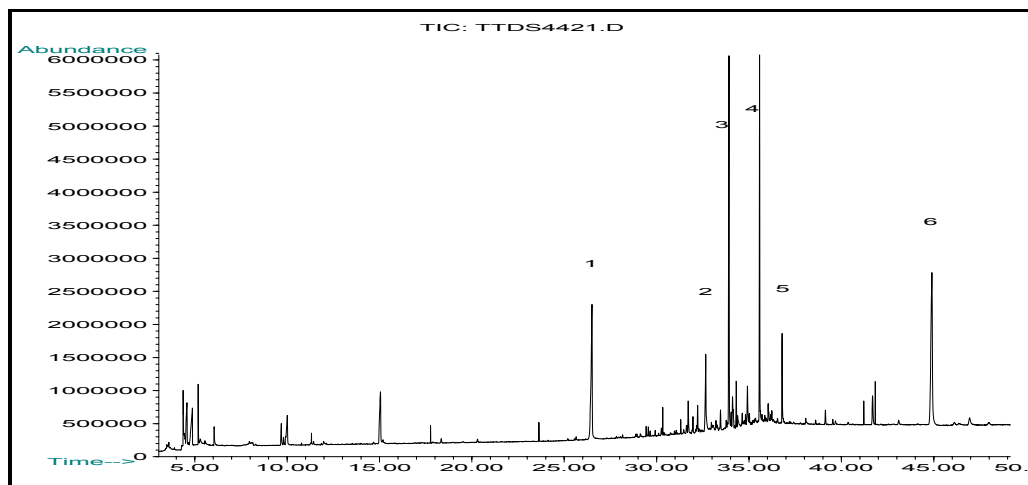


Abbildung 42: Chromatogramm einer Direkt-TDS des Frischfaserpapiers 1 (1: ortho-Hydroxybiphenyl, 2: Hexadecansäure, 3: Octadecen; 4: Eicosen, 5: Docosen, 6: nicht identifiziert)

6.3 Toner

Alle 32 Toner, die zur Verfügung gestellt worden waren, wurden mit den unter 3.6.2 beschriebenen Verfahren untersucht. Tabelle 21 zeigt die dabei erzielten Ergebnisse für einige ausgewählte Verbindungen und die daraus resultierende Summe an VOC.

Dabei wurden die Werte ermittelt, indem bis n-Propylbenzol auf d₆-Benzol kalibriert wurde. Die Summe in der letzten Spalte bezieht sich lediglich auf die sechs explizit erwähnten Komponenten. Es wurden z.T. noch weitere Komponenten gaschromatographisch nachgewiesen, die qualitativ in Tabelle 23 aufgeführt sind.

Tabelle 21: Gesamtübersicht über alle 32 untersuchten Toner

Probe	Einwaage [g]	Benzol [mg kg ⁻¹]	Toluol [mg kg ⁻¹]	p, m-Xylol [mg kg ⁻¹]	o-Xylol [mg kg ⁻¹]	n-Propylbenzol [mg kg ⁻¹]	Styrol [mg kg ⁻¹]	Summe [mg kg ⁻¹]
T-01	1,997	-	1,4	-	-	-	4,9	6
T-02	1,998	-	1,0	32	42	1,0	40	120
T-03	2,017	2,6	30	0,8	0,6	7,9	80	120
T-04	2,020	3,2	105	3,4	2,1	28	150	290
T-05	2,024	-	4,6	24	12	42	890	970
T-06	1,809	11	0,8	8,0	8,0	31	180	240
T-07	2,003	-	0,5	-	-	-	19	20
T-08	2,019	28	-	7,6	2,6	14	31	80
T-09	2,000	0,2	-	0,3	-	-	56	60
T-10	1,958	15	0,5	2,6	2,7	10	77	110
T-11	2,095	4,2	180	4,5	3,1	37	110	340
T-12	2,075	-	-	-	-	-	0,7	1
T-13	2,101	-	-	22	20	5,6	35	80
T-14	2,138	-	-	-	-	2,3	7,5	10
T-15	2,076	-	0,4	-	-	0,9	1,0	2
T-16	1,969	12	1,7	23	19	15	970	1040
T-17	1,890	13	1,0	22	18	16	1000	1070
T-18	1,993	-	0,4	-	-	-	1,2	2
T-19	1,986	-	0,3	-	-	-	-	0,3
T-20	2,020	-	1,4	-	-	-	25	30
T-21	1,945	-	0,8	-	-	-	-	1
T-22	2,037	1,9	5,0	0,7	1,1	3,5	17	30
T-23	1,397	-	1,3	8,6	14	-	20	40
T-24	2,014	0,2	0,4	13	10	2,1	27	50
T-25	1,965	-	0,7	6,1	11	-	25	40
T-26	2,132	-	-	6,0	6,4	1,4	24	40
T-27	1,937	-	0,9	0,8	-	-	2,2	4
T-28	1,781	-	0,6	-	-	-	0,6	1
T-29	1,934	-	2,2	10	6,0	1,7	20	40
T-30	2,028	-	-	-	-	-	-	
T-31	1,866	-	-	31	20	1,6	41	90
T-32	1,986	-	4,9	13	9,0	-	36	60

-: nicht nachweisbar (unterhalb der Bestimmungsgrenze von ca. 0,1 mg/kg)
(Komponenten Benzol, Toluol, Xylole, n-Propylbenzol kalibriert mit d₆-Benzol als internen Standard, Styrol mit d₈-Styrol ausgewertet)

Basierend auf den in Tabelle 21 dargestellten Ergebnissen sind für den Rundversuch der Headspacemethode sechs verschiedene Toner ausgewählt worden. Hier wurde der komplette Bereich der festgestellten Konzentrationen berücksichtigt. Eine Zusammenstellung der Tonerperzentilwerte findet sich in Tabelle 22.

Tabelle 22: Perzentilwerte der Tonersummenwerte, berechnet aus Tabelle 21

Perzentil	95.	90.	75.	50.	25.
Konzentration [mg kg ⁻¹]	1005	340	115	40	8,15

Tabelle 23 zeigt weitere Verbindungen, die in den Tonern nachgewiesen werden konnten. Diese Verbindungen wurden nicht alle einzeln quantifiziert, da sie nur vereinzelt in den unterschiedlichen Tonern vorlagen. Die aufgeführten Verbindungen sind nicht durchgängig mit Standardverbindungen über einen Retentionszeitvergleich kontrolliert, sondern stellen z. T. nur die plausiblen Ergebnisse aus einer Datenbankrecherche dar. Eine Komponente, die in keiner Datenbank zu finden war, die aber häufig gefunden wurde, z.T. als Hauptkomponente, war eine Verbindung mit dem in Abbildung 43 dargestellten Massenspektrum.

Tabelle 23: Weitere Verbindungen aus den Headspaceuntersuchungen der Toner, die nicht quantifiziert wurden, aber mit deutlichen Peaks auftraten

Toner Nummer BAM	Zusätzliche Komponenten
T-01	Siloxane, Benzochinon (wenig)
T-22	Ethylbenzol, 1-Butanol, Diethylbenzol, Siloxane, Methylisobutylketon, Benzaldehyd,
T-02	1-Butanol, Ethylbenzol, Benzaldehyd, Acetophenon
T-03	unb. Verb., Ethylbenzol, 1-Butanol, Benzaldehyd, Siloxane, 1-Butanol
T-04	Ethylbenzol
T-05	unb. Verb.
T-06	Ethylbenzol, Ethylhexanol, Benzaldehyd, Ethylhexylacetat
T-08	1-Butanol, Benzaldehyd, Ethylbenzol, Diethylbenzol, Ethoxyethanol, n-Butylether
T-09	Methylisobutylketon, 1-Butanol, Benzaldehyd, Siloxan
T-10	1-Butanol, Benzaldehyd, Ethylbenzol, Diethylbenzol, Ethylhexanol, Ethylhexylacetat, n-Butylether
T-11	Ethylbenzol, unb. Verb. (Hauptkomponente)
T-12	Siloxane
T-13	Ethylbenzol, 1-Butanol, Decan, Dodecan, α -Methylstyrol

Toner Nummer BAM	Zusätzliche Komponenten
T-14	Ethylbenzol, n-Butylether, Decan, Dodecan, 1-Octanol, unb. Verb.
T-15	Dodecan, 1-Octanol, unb. Verb.
T-16	Ethylbenzol, n-Butylether, Benzaldehyd, Propensäurebutylether
T-17	Ethylbenzol, n-Butylether, Benzaldehyd, Propensäurebutylether
T-18	Siloxane, Benzochinon
T-19	2-Butanon, Methylisobutylketon
T-23	1-Butanol, Benzaldehyd, Ethylbenzol, Acetophenon
T-24	Ethylbenzol, 1-Butanol, Benzaldehyd, Acetophenon
T-25	1-Butanol, Siloxane, Benzaldehyd, Ethylbenzol
T-26	Ethylbenzol, 1-Butanol, Benzaldehyd, Acetophenon
T-27	Siloxane
T-28	Siloxane
T-29	1-Butanol, Siloxane, Ethylbenzol, unb. Verb., Trimethylcyclohexanon
T-30	Siloxane
T-31	Hochfluorierte Hexane, Ethylbenzol, Tributylamin (?), Trimethylcyclohexanon
T-32	Ethylbenzol, Methylisobutylketon

unb. Verb. = unbekannte Verbindung, vermutlich Ether oder Ester (s. Abbildung 43)

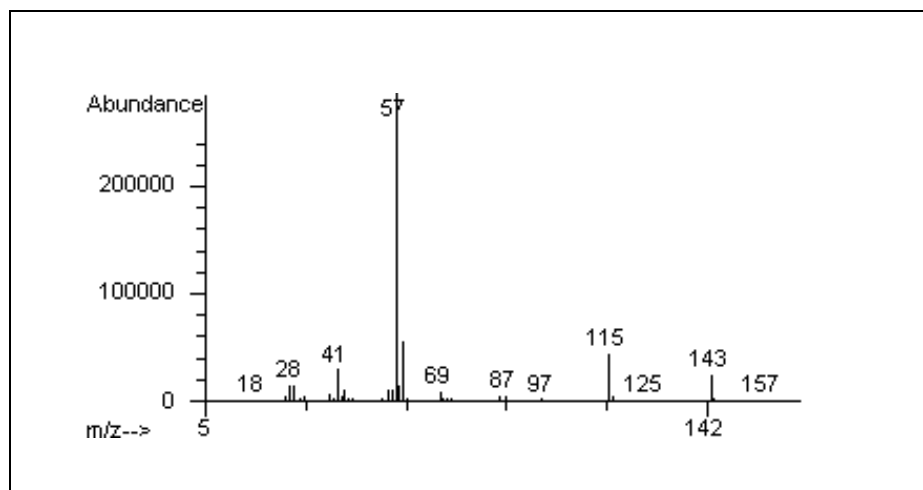


Abbildung 43: Massenspektrum der nicht identifizierten Verbindung, die jedoch häufig in Tonern nachweisbar war (vermutlich ein Ester oder Ether)

6.4 Untersuchungen zum Alterungsverhalten ausgewählter Geräte

Die Ergebnisse der Emissionsmessungen wurden bereits in Kapitel 5 ausführlich dargestellt. An dieser Stelle soll noch einmal auf das Alterungsverhalten der Geräte eingegangen werden.

Für die Geräte 3, 4 und 8 wurden Wiederholungsmessungen unter konstanten Versuchsbedingungen durchgeführt. Einem eventuell auftretenden „Alterungsverhalten“ der untersuchten Geräte, bedingt beispielsweise durch Materialalterung, Transport oder Tonerverlust im Rahmen des Rundversuchs sollte damit nachgegangen werden. Das Alterungs- bzw. Langzeitemissionsverhalten ist für eine Beurteilung der Dauerbelastung der Innenraumluft von großem Interesse.

TVOC

Für die Geräte 3, 4 und 8 ist der zeitliche Verlauf der TVOC - Emissionsrate in Abbildung 44 dargestellt.

Die Messungen vom 12. März bis 20. Juni zeigen eine konstante TVOC - Emissionsrate für Gerät 3. Betrachtet man die einzelnen VOC, ist anzumerken, dass für die leichterflüchtigen Substanzen, wie z.B. die Xylole und Styrol eine Abnahme der Emissionsrate zu beobachten war. In Bezug auf die TVOC - Emissionsrate wurde dieser Sachverhalt aber durch die Konstanz und Höhe der Emissionsraten des „Alkanbuckels“ und der nicht identifizierbaren Substanz ausgeglichen. Für Gerät 4 ist im Zeitraum zwischen dem 14. März und 3. Juli eine deutliche Abnahme der TVOC - Emissionsrate festzustellen. Ein ähnliches Verhalten zeigt Gerät 8 über den Zeitraum vom 18. April bis zum 25. Juni.

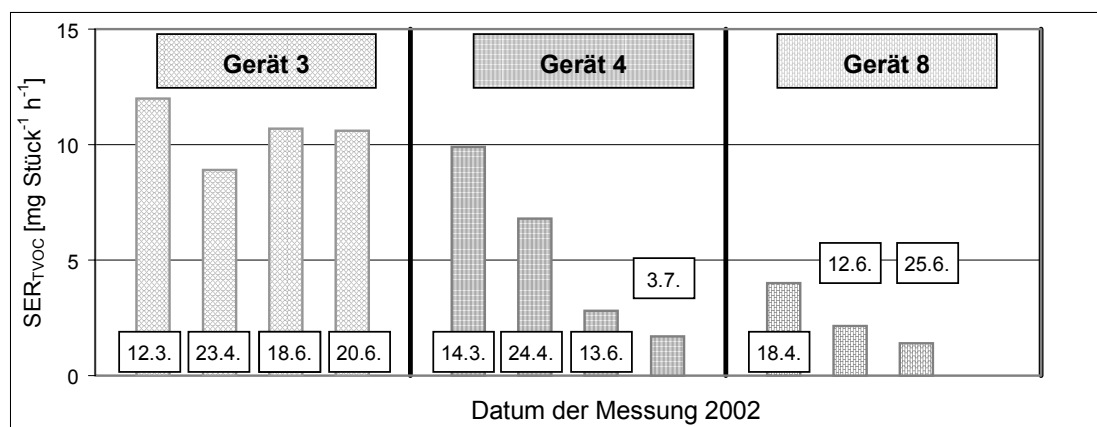


Abbildung 44: SER_{TVOC} für die Geräte 3, 4 und 8 im zeitlichen Verlauf

Ozon und Staub

Die Ozonemissionsrate bei den Messungen an den Geräten 3 und 4, dargestellt in Abbildung 45, zeigt bei den Versuchen im Zeitraum von März bis September bzw. März bis Juli im Gegensatz zu der TVOC - Emissionsrate keinen deutlichen Alterungseffekt.

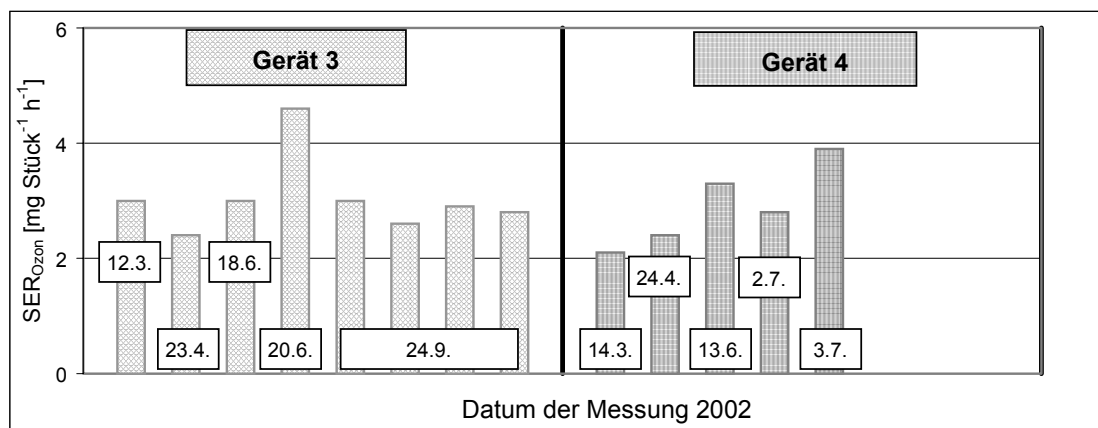


Abbildung 45: SER_{Ozon} für die Geräte 3 und 4 im zeitlichen Verlauf

Für die Geräte 3, 4 und 8 ist der zeitliche Verlauf der Staubemissionsraten in Abbildung 46 argestellt.

Für das Gerät 3 zeigt sich für die gravimetrisch ermittelten Staubemissionsraten eine relative Konstanz im Laufe der Messungen von März bis Juni. Für Gerät 4 hingegen lässt sich eine deutliche Abnahme im Laufe der Messungen von März bis Juli erkennen, während für Gerät 8 wieder ein leichter Anstieg der gravimetrisch ermittelten Staubemissionsraten feststellbar ist.

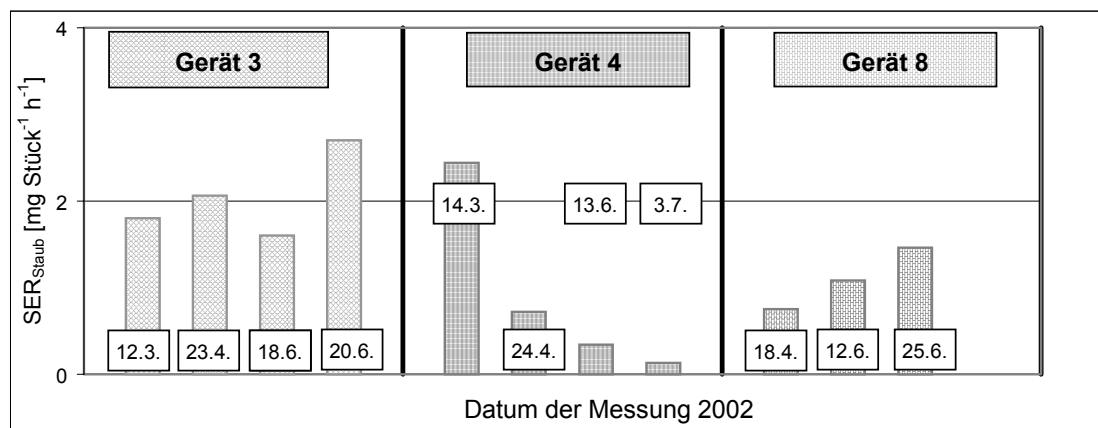


Abbildung 46: SER_{Staub} für die Geräte 3, 4 und 8 im zeitlichen Verlauf

6.5 Vergleich der Messungen in unterschiedlichen Prüfkammern

Zum Einsatz kamen hierbei die 1 m³ - Kammern A und B sowie die 20 m³ - Kammer, siehe Kapitel 3.1. In allen drei Kammern wurden mit Recyclingpapier die Geräte 4 und 8 vermessen. Für Gerät 3 war nur ein Vergleich zwischen den beiden 1 m³ - Kammern A und B möglich.

TVOC

Für die Geräte 3, 4 und 8 ist der Vergleich der TVOC - Emissionsrate in Abbildung 47 dargestellt.

Für Gerät 3 sind die in den beiden 1 m³ - Kammern ermittelten Werte sehr gut vergleichbar. Für Gerät 4 liegt die in der 1 m³ - Kammer B ermittelte TVOC - Emissionsrate bei 60 % des Wertes von Kammer A. Die in der 20 m³ - Kammer gemessene TVOC - Emissionsrate stimmt mit dem Wert aus der 1 m³ - Kammer A sehr gut überein. Die gemessenen Luftkonzentrationen der Einzelsubstanzen in der 20 m³ - Kammer lagen dabei aber teilweise nur knapp über der Bestimmungsgrenze und können deshalb mit einem größeren Fehler behaftet sein. Für Gerät 8 stimmen die Werte der 1 m³ - Kammer B und der 20 m³ - Kammer gut überein, in der 1 m³ - Kammer A wurde eine um 50 % höhere TVOC - Emissionsrate bestimmt.

Bei diesen Kammervergleichen ist zu beachten, dass die Geräte teilweise immer noch ein ausgeprägtes Alterungsverhalten aufweisen (vergleiche Kapitel 6.4), so dass eine auf den ersten Blick weniger gute Vergleichbarkeit auf diesen Effekt zurückzuführen sein wird.

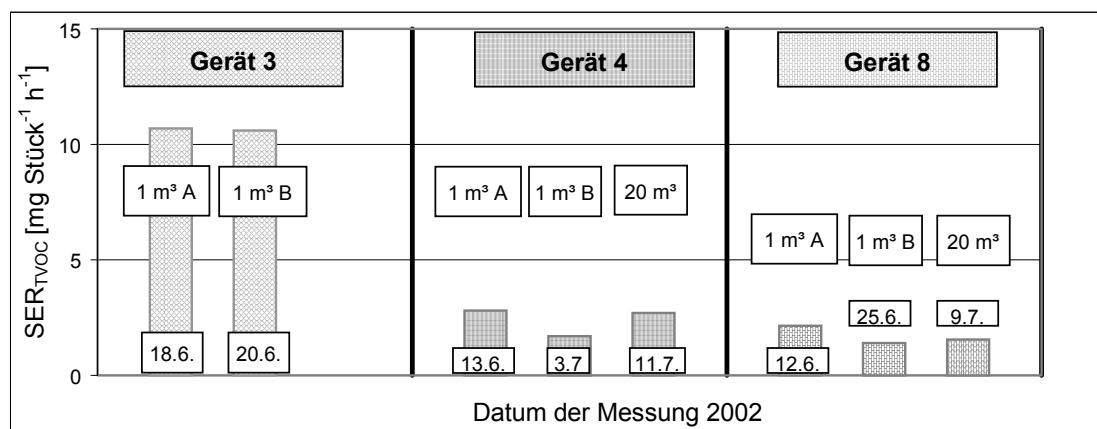


Abbildung 47: SER_{TVOC} für die Geräte 3, 4 und 8 im Kammervergleich

Ozon

Die Emissionsraten für Ozon in den drei eingesetzten Prüfkammern sind für die Geräte 3 und 4 in Abbildung 48 dargestellt. Insgesamt sind die Vergleichbarkeit und Wiederholbarkeit als sehr gut zu bezeichnen.

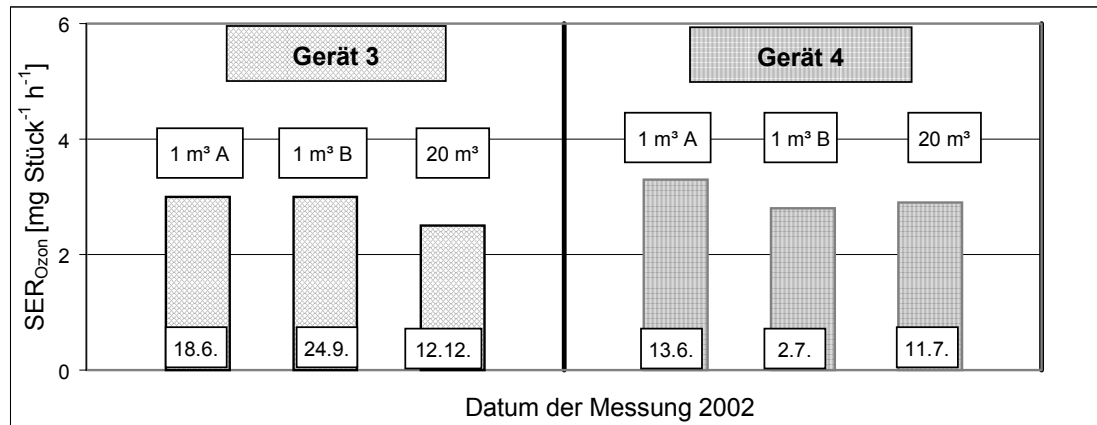


Abbildung 48: SER_{O_3} für die Geräte 3 und 4 im Kammervergleich

Staub

Für die Geräte 3, 4 und 8 ist der Vergleich der Staubemissionsrate in Abbildung 49 dargestellt.

Für alle Geräte fällt auf, dass die für die 20 m³ - Kammer berechnete Staubemissionsrate wesentlich höher ist als in den 1 m³ - Kammern A und B.

Der Grund dafür scheint in der Art und Weise der Probenahme in der 20 m³ - Kammer zu liegen. In der 20 m³ - Kammer wurde die Staubprobenahme in der Nähe des Gerätes durchgeführt, wie dies auch im ECMA - Standard 328 [18] beschrieben ist. Offensichtlich kann es aber je nach Abluftstrom des Gerätes zu örtlichen Konzentrationserhöhungen kommen, da die Luft in der Nähe des Gerätes noch nicht ausreichend durchmischt ist und somit unter Umständen keine Verdünnung des Abluftstroms durch die Prüfkammerluft erfolgen konnte. Die Ergebnisse von drei vergleichend untersuchten Geräten bestätigen diesen Sachverhalt.

In der im Rahmen des Projektes erarbeiteten Prüfvorschrift (siehe Kapitel 15.8 im Anhang) wurde dieses Problem gelöst, indem die Staubprobenahme in allen Prüfkammern einschließlich der 20 m³ - Kammer nicht in der Nähe des Gerätes sondern mittig an der Kammerwand erfolgt. Eine ständige Durchmischung der Kammerluft sollte somit gewährleistet sein.

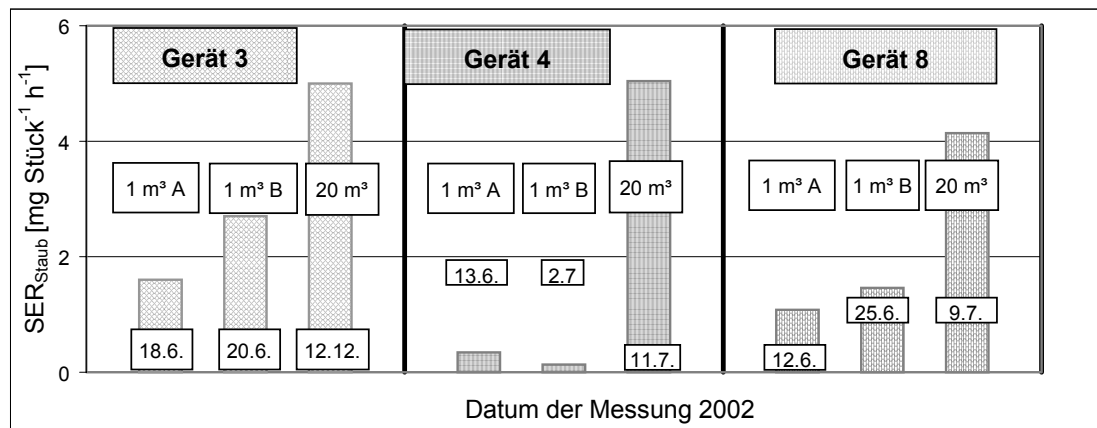


Abbildung 49: SER_{Staub} für die Geräte 3, 4 und 8 im Kammervergleich

6.6 Einfluss der Anzahl gedruckter Blätter auf die Emissionsraten

Im Dezember 2002 wurde mit den Geräten 3 und 9 ein spezieller Vergleich unternommen, wobei die Anzahl der gedruckten Blätter variiert wurde. Außerdem erfolgten Untersuchungen in der 1 m³ - Kammer A und in der 20 m³ Kammer. Die Messungen wurden mit Frischfaserpapier 1 durchgeführt. Nachfolgend sind die Ergebnisse dieser Untersuchungen dargestellt. Außerdem erfolgte die Berechnung der TVOC - Emissionsrate gleichzeitig nach unterschiedlichen Methoden. Dieser Vergleich wird in Punkt 6.7 erläutert.

In Abbildung 50 sind für die Geräte 3 und 9 die TVOC - Emissionsraten, berechnet aus der Druck- und Nachlaufphase, dargestellt. Der Vergleich zeigt eine sehr gute Übereinstimmung für Gerät 9 sowohl für 250 als auch für 500 gedruckte Blätter unabhängig vom Volumen der eingesetzten Prüfkammer. Für Gerät 3 differieren die Werte etwas stärker. Dies ist wahrscheinlich auf die zwischenzeitlich erfolgte Reparatur des Gerätes, die zu einer Änderung des VOC - Emissionsverhaltens führte (siehe Kapitel 5.3.3), zurückzuführen.

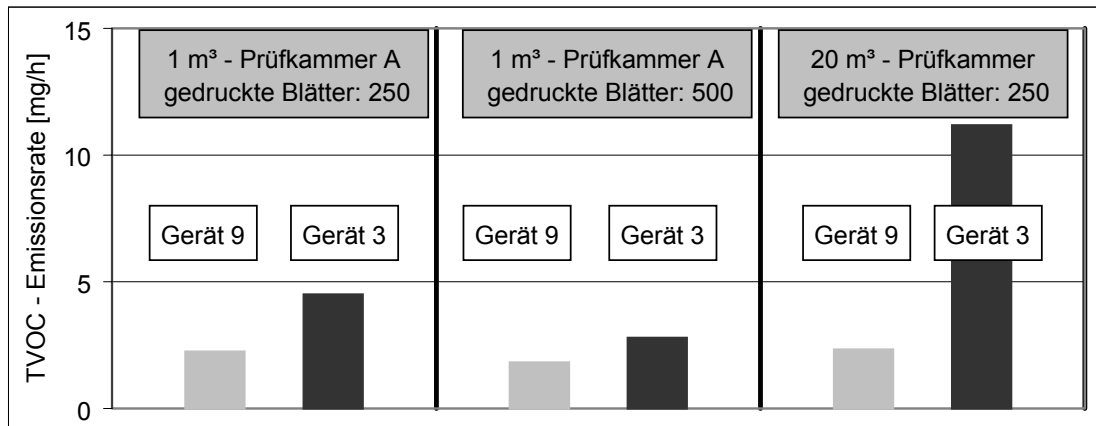


Abbildung 50: SER_{TVOC} für die Geräte 3 und 9 im Vergleich: verschiedene Messkammern, unterschiedliche Anzahl der gedruckten Blätter

In Abbildung 51 sind für die Geräte 3 und 9 die ermittelten Ozonemissionsraten dargestellt. Der Vergleich zeigt eine sehr gute Übereinstimmung für Gerät 3 sowohl für 250 als auch für 500 gedruckte Blätter unabhängig vom Volumen der eingesetzten Prüfkammer. Für Gerät 9 konnte keine Ozonemission nachgewiesen werden.

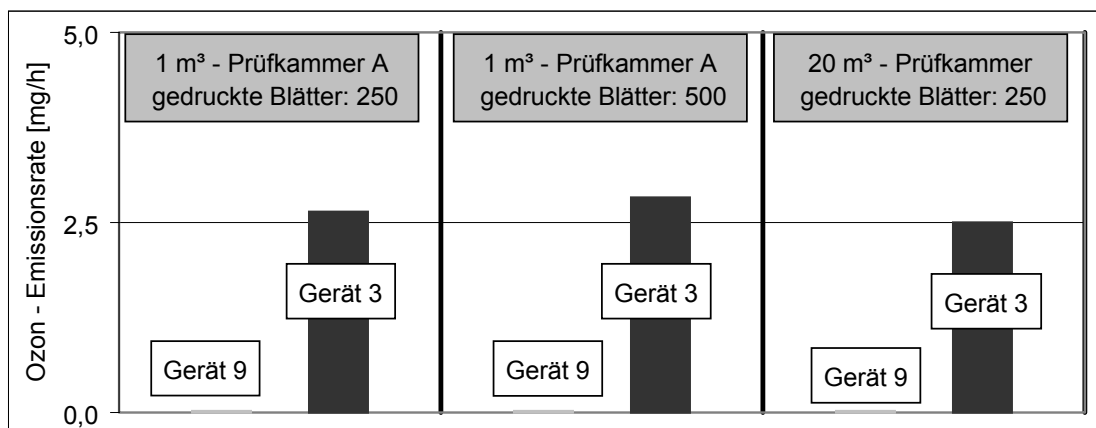


Abbildung 51: SER_{Ozon} für die Geräte 3 und 9 im Vergleich: verschiedene Messkammern, unterschiedliche Anzahl der gedruckten Blätter

In Abbildung 52 sind für die Geräte 3 und 9 die ermittelten Staubemissionsraten dargestellt. Die Vergleichbarkeit der Staubemissionsraten zwischen 250 und 500 gedruckten Blättern ist angesichts der niedrigen Messwerte in der 1 m³ - Kammer A als gut zu bezeichnen. Auf das Problem der unverhältnismäßig hohen Staubemissionsraten in der 20 m³ - Kammer wurde bereits mehrfach, besonders in den Kapiteln 5.3.3 und 6.5 eingegangen.

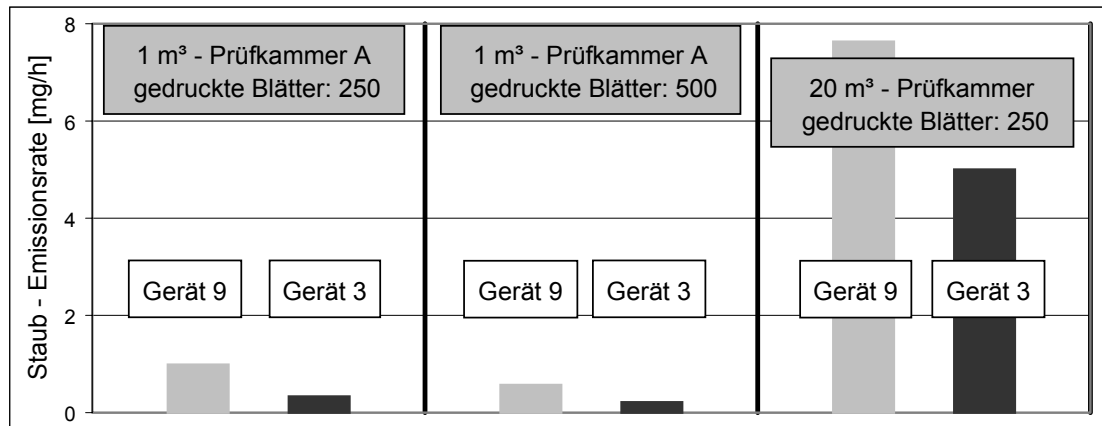


Abbildung 52: SER_{Staub} für die Geräte 3 und 9 im Vergleich: verschiedene Messkammern und unterschiedlicher Anzahl der gedruckten Blätter

6.7 Vergleich unterschiedlicher Berechnungsmethoden der SER_{TVOC}

Die TVOC - Emissionsrate wurde für einige Versuche gleichzeitig nach unterschiedlichen Berechnungsmethoden ermittelt. In Abbildung 53 sind für die Geräte 3 und 9, bezogen auf die 1 m³ - Kammer A, die TVOC - Emissionsraten nach unterschiedlichen Berechnungsmethoden dargestellt. Zum einen wurde die SER_{TVOC} während der letzten Druckphase (Symbol „D“ in Abbildung 53), zum anderen aus der gesamten Druck- und Nachlaufphase (Symbol „DN“ in Abbildung 53) ermittelt. Die verwendeten Formeln finden sich in Kapitel 3.5. Der Vergleich zeigt eine sehr gute Übereinstimmung für Gerät 9 sowohl für 250 als auch für 500 gedruckte Blätter. Für Gerät 3 differieren die Werte etwas stärker. Dies ist wahrscheinlich auf die zwischenzeitlich erfolgte Reparatur des Gerätes, die zu einer Änderung des VOC - Emissionsverhaltens führte, zurückzuführen.

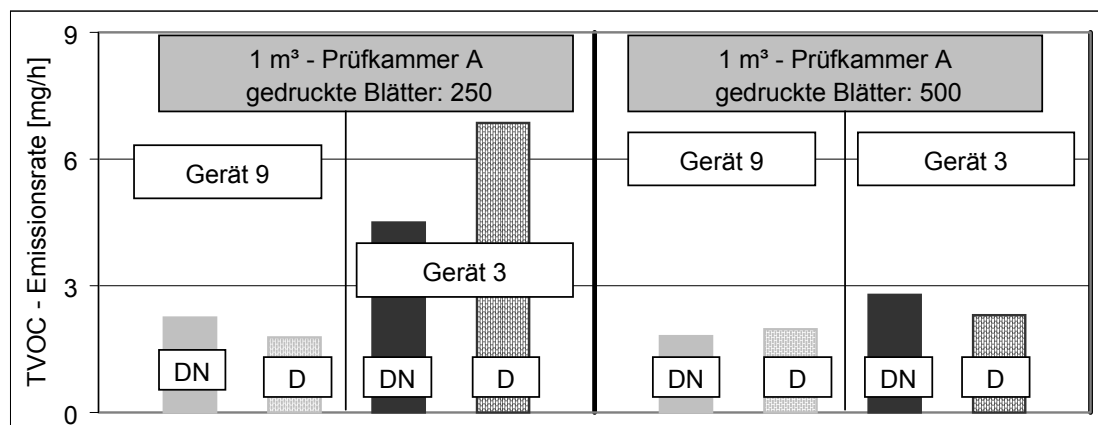


Abbildung 53: SER_{TVOC} für die Geräte 3 und 9 im Vergleich: unterschiedliche Anzahl der gedruckten Blätter und verschiedene Berechnungsmethoden

6.8 Partikelzählung

Die toxikologische Relevanz ultrafeiner Aerosole wird in jüngster Zeit zunehmend hinterfragt, da diese bei gleicher Massenkonzentration eine stärkere biologische Wirksamkeit als größere Teilchen zu haben scheinen [24], [7], [64]. In [56] und [55] werden einige noch ungelöste Fragestellungen zu Partikelemissionen aufgeworfen: „Da man nichts Gesichertes über die Wirkungsmechanismen weiß, ist nicht klar, welche Messdaten am Arbeitsplatz erhoben werden sollen. Ist es die Teilchenkonzentration, die Oberflächenkonzentration, oder - weniger wahrscheinlich - die Massenkonzentration?...“ [56].

Im Rahmen dieses Forschungsprojektes zum Emissionsverhalten von Hardcopygeräten wurden ergänzende Untersuchungen mit Hilfe eines Partikelzählers durchgeführt. Die Probenahme erfolgte innerhalb der Emissionsprüfkammern. Durch einen ca. 0,5 Meter langen Schlauch wurde die angesaugte Luft zum außerhalb der Kammern stehenden Messgerät geleitet. In der 20 m³ - Kammer erfolgte die Probenahme für die gravimetrische Staubbestimmung und für die Partikelzählung nahezu ortsgleich in der Nähe des zu untersuchenden Gerätes in Anlehnung an den ECMA - Standard 328. In den 1 m³ - Kammern A und B erfolgte die Probenahme für die gravimetrische Staubbestimmung außen an der Kammerwand. Alle im Weiteren angegebenen Partikelemissionsraten beziehen sich auf die Partikelgrößen von kleiner 0,1 bis 10 µm.

Ultrafeine Partikel sind Stäube, Rauche und Nebel, deren Partikel kleiner als 100 nm (0,1 µm) sind [56]. Die kleinste messbare Größenklasse des uns zu Verfügung stehenden Partikelzählers belief sich auf kleiner 0,1 bis 1 µm. Darin sind die ultrafeinen Partikel nur zum Teil enthalten. Deshalb können die Ergebnisse der Untersuchungen an dieser Stelle nur ein erster Hinweis zum Emissionsverhalten von Hardcopygeräten hinsichtlich ultrafeiner Partikel sein. Da aber interessante Ergebnisse erzielt wurden, werden die Partikelmessergebnisse hier mit angeführt. Sofern dieser Parameter in eine spätere Bewertung mit einbezogen werden soll, besteht noch weiterer Untersuchungsbedarf, da es aus messtechnischen Gründen im Rahmen dieses Forschungsprojektes nicht möglich war, die ultrafeinen Partikel eingehender zu untersuchen.

In Abbildung 54 ist am Beispiel von Gerät 3 ein typisches Partikelzählerergebnis für die Größenklasse kleiner 0,1 bis 1,0 µm über den gesamten Messzyklus dargestellt.

Jedes Öffnen der Prüfkammer verursacht ein Signal. Deutlich zu erkennen ist, dass während des eigentlichen Druckprozesses die Teilchenemission signifikant ansteigt.

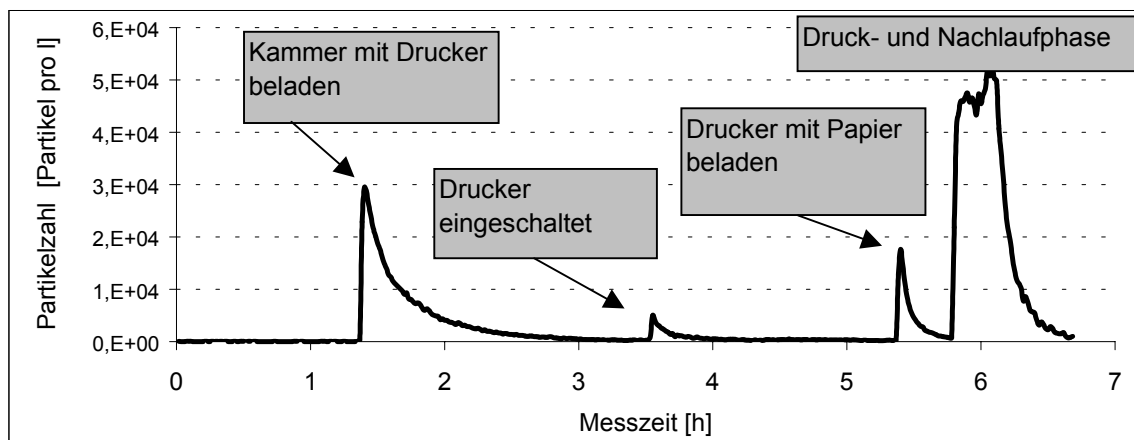


Abbildung 54: Beispiel eines typischen Partikelzählerergebnisses für die Größenklasse kleiner 0,1 bis 1,0 μm über den gesamten Messzyklus (Gerät 3 in der 1 m^3 - Kammer A)

Die berechneten Partikelemissionsraten für alle durchgeführten Versuche sind in Tabelle 30 im Anhang dargestellt. An dieser Stelle soll es darum gehen, die erhaltenen Ergebnisse einer ersten Wichtung zu unterziehen und einige interessante Aspekte zu verdeutlichen. Als Beispiel sind in Abbildung 55 die unter den verschiedensten Versuchsbedingungen ermittelten Partikelemissionsraten für Gerät 1 graphisch dargestellt. Interessanterweise wurden die höchsten Partikelemissionsraten beim Drucken von leeren Recyclingpapierseiten festgestellt. Aber auch eine Erhöhung des Flächendeckungsgrades bei Papiersorte 4 (P 4) von 5 % (Standard) auf 20 % führte zu einer Erhöhung der Partikelemissionsrate.

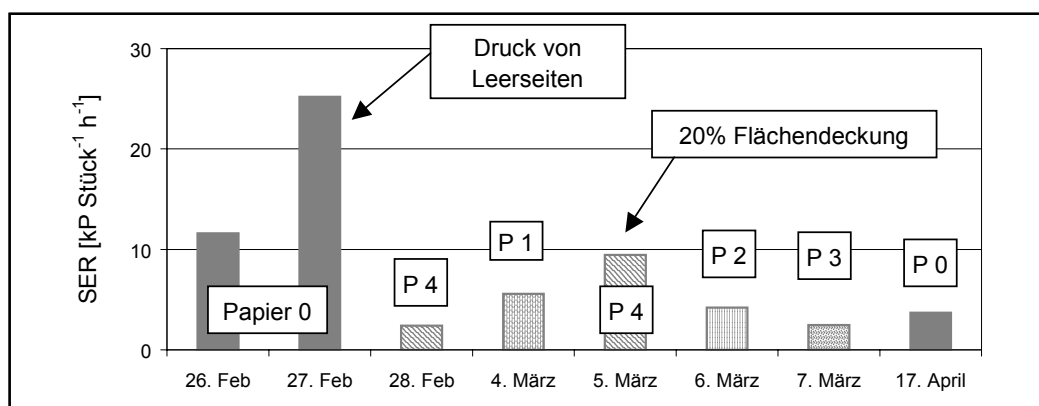


Abbildung 55: Partikelemissionsraten für Gerät 1, 8 Messungen, 5 verschiedene Papiersorten, 1 m^3 - Kammer A

Abbildung 56 zeigt in einer Übersicht die für alle untersuchten Geräte unter vergleichbaren Prüfbedingungen ermittelten Partikelemissionsraten. Es wird deutlich, dass es offensichtlich Geräte gibt, die im Vergleich mit anderen eher geringe Partikelemissionen aufweisen. Diese Unterschiede sind teilweise beträchtlich.

Vergleicht man die in Kapitel 5 “Ergebnisse der Emissionsmessungen” angegebenen gravimetrisch ermittelten Staubemissionsraten mit den entsprechenden Partikelemissionsraten, so ist eine Korrelation zwischen einer hohen gravimetrisch ermittelten Staubemissionsrate und der Partikelemissionsrate nur zum Teil gegeben. Um diesen Zusammenhang genauer beschreiben zu können, besteht gleichfalls noch weiterer Untersuchungsbedarf.

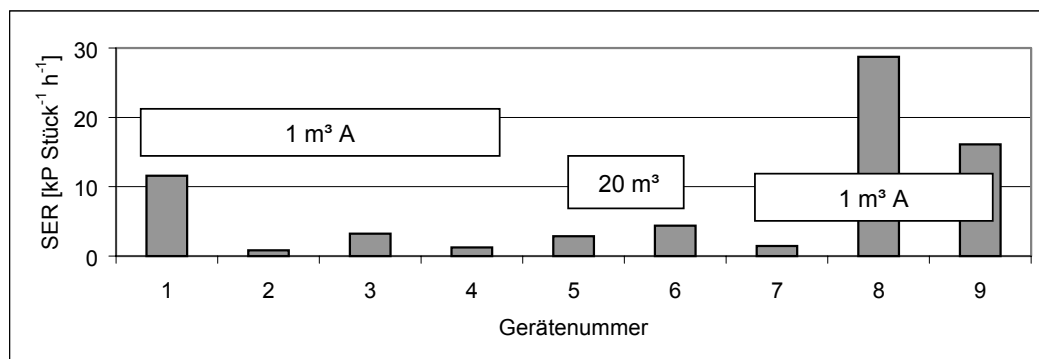


Abbildung 56: Übersicht der mit Recyclingpapier ermittelten Partikelemissionsrate für alle untersuchten Geräte

Folgende Sachverhalte lassen sich aus den Messungen mit Sicherheit ableiten. Bei jedem Druckprozess werden Partikel emittiert. Zu welchen Anteilen diese aus dem Papier, dem Toner oder dem Gerät selbst stammen, lässt sich nur vermuten. Die Anzahl der emittierten Partikel ist umso höher, je kleiner deren Größe ist. Da man über die Wirkungen dieser kleinen Partikel relativ wenig weiß, eine gesundheitliche Beeinträchtigung aber nicht ausgeschlossen werden kann, sollten weitere Untersuchungen erfolgen.

7 Rundversuche

7.1 VOC-, Staub- und Ozonemissionsmessungen

Jeweils vier ausgewählte Drucker sollten in einem Rundversuch bei vier Prüfstellen hinsichtlich ihrer Emissionen an VOCs, Ozon und Staub vermessen werden. Dazu wurden die Geräte nach der ersten Messung in der BAM mit einem BAM - Transporter zur ersten Prüfstelle gefahren. Nach 2 Wochen wurden die Geräte wieder abgeholt und nochmals in der BAM vermessen. Danach erfolgte die Auslieferung an die zweite Prüfstelle, von dort zur dritten Prüfstelle und danach zur BAM zurück.

Aufgrund der Prüfkammergrößen konnten nicht alle Geräte an allen Instituten vermessen werden. Bei einem Institut ergaben sich Probleme bei der Prüfkammervorbereitung, so dass im zeitlichen Rahmen des Ringversuchs nur ein Gerät geprüft wurde. Eine Prüfstelle führte nur die VOC - Messungen an zwei Geräten durch. Diese Prüfstelle konnte den Luftwechsel der Prüfkammer nicht überprüfen, so dass die Emissionsraten mit dem vom Prüfkammerhersteller angegebenen maximalen Luftwechsel von 8 h^{-1} aus den gemessenen Konzentrationen berechnet wurden.

Im folgenden sind die Emissionsraten in μg pro Stück und Stunde für ausgewählte VOCs (Zielsubstanzen für den Ringversuch) angegeben.

Tabelle 24: Vergleich der Emissionsraten [μg Stück $^{-1}$ h $^{-1}$] ausgewählter VOCs der letzten Druckphase für Gerät 1

Substanz [μg Stück $^{-1}$ h $^{-1}$]	Institut 1	Institut 2	Institut 4
Benzol	n.n.	6	n.n.
Toluol	64	14	26
Hexanal	228	n.n.	n.n.
Ethylbenzol	124	195	167
o, m, p- Xylol	328	435	418
Styrol	180	230	242
Summe	924	874	853

Tabelle 25: Vergleich der Emissionsraten [μg Stück $^{-1}$ h $^{-1}$] ausgewählter VOCs der letzten Druckphase für Gerät 3

Substanz [μg Stück $^{-1}$ h $^{-1}$]	Institut 1	Institut 2	Institut 4
Benzol	n.n.	17	n.n.
Toluol	40	n.n.	45
Hexanal	320	n.n.	n.n.

Substanz [$\mu\text{g Stück}^{-1} \text{ h}^{-1}$]	Institut 1	Institut 2	Institut 4
Ethylbenzol	156	60	56
o, m, p- Xylol	104	41	59
Styrol	68	46	54
Summe	688	147	214

Tabelle 26: Vergleich der Emissionsraten [$\mu\text{g Stück}^{-1} \text{ h}^{-1}$] ausgewählter VOCs der letzten Druckphase für Gerät 4

Substanz [$\mu\text{g Stück}^{-1} \text{ h}^{-1}$]	Institut 1	Institut 2
Benzol	n.n.	n.n.
Toluol	5852	6065
Hexanal	88	26
Ethylbenzol	444	385
o, m, p- Xylol	508	415
Styrol	712	600
Summe	7604	7491

Für Gerät 6, welches von den Instituten 1, 2 und 3 vermessen wurde, konnten nur von Institut 1 einige der Zielsubstanzen mit Konzentrationen von $2 \mu\text{g} / \text{m}^3$ nachgewiesen werden. Institut 2 und 3 konnten keine der Substanzen nachweisen (Nachweisgrenze 2 bzw. $5 \mu\text{g} / \text{m}^3$).

Für die Bildung eines Mittelwertes der Ergebnisse und die Berechnung einer Standardabweichung, wie für Statistikzwecke normalerweise üblich, sind die Ergebnisse von maximal drei Prüfstellen aus dem Ringversuch nicht ausreichend.

Der Vergleich der Ergebnisse für Gerät 4 zeigt eine sehr gute Übereinstimmung der Messwerte für die Einzelsubstanzen sowie deren Summe.

Für Gerät 1 stimmt der Summenwert der drei Prüfstellen ebenfalls sehr gut überein, allerdings sind die Messwerte der Einzelsubstanzen teilweise sehr unterschiedlich. So wird Hexanal von Institut 2 und 4 nicht gefunden, ist bei Institut 1 aber eine Hauptkomponente. Institut 2 findet als einziges Benzol. Die von diesem Institut angegebenen Benzolwerte liegen jedoch im Bereich der NG bzw. BG des Messverfahrens, könnten aber auch auf einen leicht erhöhten Blindwert bei der Tenaxprobenahme zurückzuführen sein.

Für Ethylbenzol, die Xylole und Styrol liegen die Werte von Institut 1 niedriger als die der anderen beiden Institute. Dies steht im Gegensatz zu den Ergebnissen für Gerät 3, bei dem diese Substanzen von Institut 1 mit etwas höheren Werten angegeben werden. Auch hier wird Hexanal nur von Institut 1 nachgewiesen. Benzol wird wieder nur von Institut 2 angegeben, welches allerdings Toluol nicht findet. Hierfür stimmen die Ergebnisse von Institut 1 und 4 sehr gut überein. Insgesamt sind für Gerät 3 die größten Abweichungen zwischen den Prüfstellen bezüglich der VOCs festzustellen.

An der vergleichenden Messung der Staub- und Ozonemissionsraten für vier unterschiedliche Hardcopygeräte haben zwei Institute teilgenommen. Die Messung des Institutes 2 wurde durch die Wiederholungsbestimmungen des Institutes 1 zeitlich eingerahmt. Tabelle 27 zeigt die Messergebnisse im Vergleich. Da lediglich zwei Prüfinstitute an den Vergleichsmessungen teilnahmen, ist der Aussagegehalt der Ergebnisse im Vergleich nicht hoch.

Tabelle 27: Vergleich der Staub- und Ozonemissionsraten [$\text{mg Stück}^{-1} \text{h}^{-1}$], bestimmt in den Instituten 1 und 2

Gerät	Substanz [$\text{mg Stück}^{-1} \text{h}^{-1}$]	Institut 1	Institut 2	Institut 1
1	Ozon	< 0,02	0,32	< 0,02
	Staub	2,20	1,02	0,90
3	Ozon	3,00	3,40	2,40
	Staub	1,80	0,11	2,06
4	Ozon	2,10	2,70	2,40
	Staub	2,44	0,07	0,72
6	Ozon	< 0,02	0,25	< 0,02
	Staub	1,16	0,37	1,81

Qualitativ lässt sich feststellen, dass die ermittelten Ozonemissionsraten zwischen beiden Instituten relativ gut übereinstimmen. Bei den Geräten mit einer deutlichen Ozonemission liegen die Ergebnisse dicht beieinander. Bei den Geräten mit einer sehr geringen Ozonemission liegen die Ozonemissionsraten für Institut 1 unterhalb der Nachweisgrenze, während Institut 2 einen (geringen) Wert ermittelt. Die gemessenen Staubemissionsraten sind bei einem Gerät relativ gut vergleichbar, bei den anderen drei Geräten treten große Unterschiede auf. Die vom Institut 2 für diese drei Geräte angegebenen Staubemissionsraten dürften eng an der Bestimmungsgrenze des gravimetrischen Staubmessverfahrens liegen.

7.2 Toneranalysen

Mit sechs der unter 6.3 beschriebenen 32 Toner ist ein Rundversuch mit vier beteiligten Instituten durchgeführt worden. Dabei sollte nach Möglichkeit mit der gleichen Methode gemessen werden, die den Teilnehmern zur Verfügung gestellt wurde. Bedingt durch die apparativen Voraussetzungen sind zwei der Teilnehmer (Institut 3 + 4) jedoch davon abgewichen und bei den beiden Instituten (1 + 2), die mit dem in 3.6.2 beschriebenen Verfahren gemessen haben, wurde ab Ethylbenzol mit d_9 -Styrol ausgewertet, womit die Summenwerte eher überschätzt werden (siehe Abbildung 57). Eines der anderen Institute (Nr. 3) hat die Toner thermisch desorbiert mit einem dynamischen System, das Eluat auf Tenax gesammelt und dann die Analyse durchgeführt. Das Institut 4 hat zwar auch eine statische Headspacemethode eingesetzt, allerdings wurden die Toner mit einem schwerflüchtigen Lösemittel (Dimethylacetamid) überschichtet und dann erst erhitzt. Die Abbildung 57, Abbildung 58 und Abbildung 59 zeigen trotz der z. T. relativ großen Unterschiede in der Methode eine relativ gute Übereinstimmung der Ergebnisse.

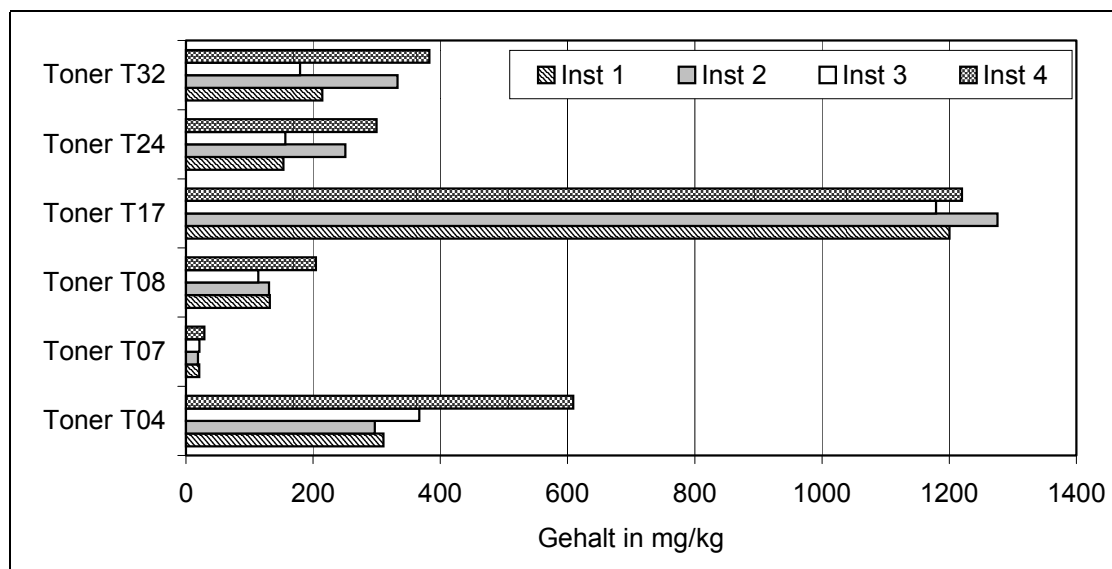


Abbildung 57: Vergleich der Summen der untersuchten VOC aus Tonern zwischen den 4 Instituten

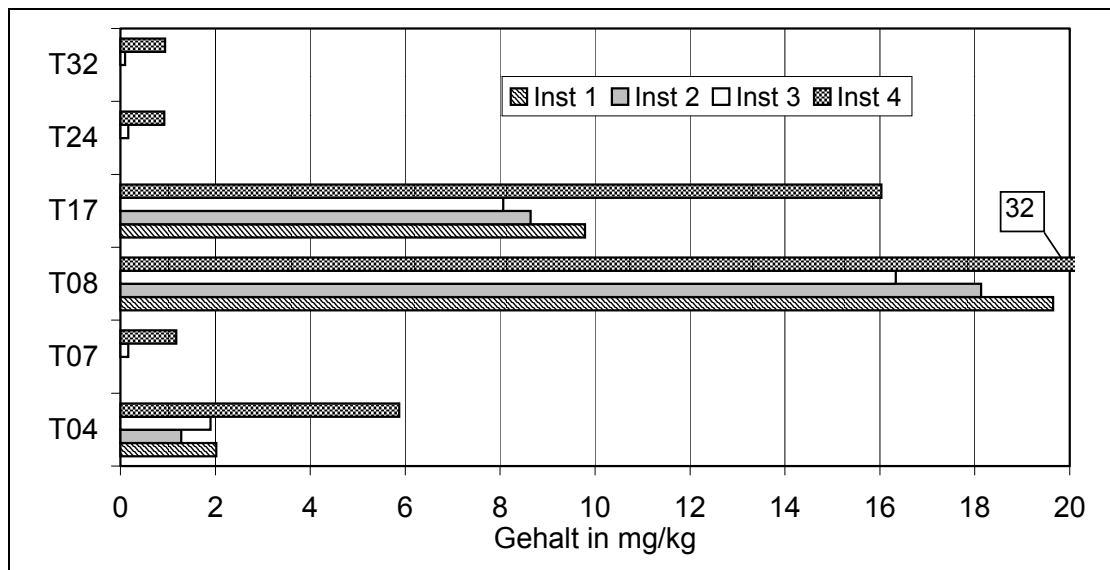


Abbildung 58: Vergleich der Benzolwerte aus Tonern der 4 beteiligten Institute.

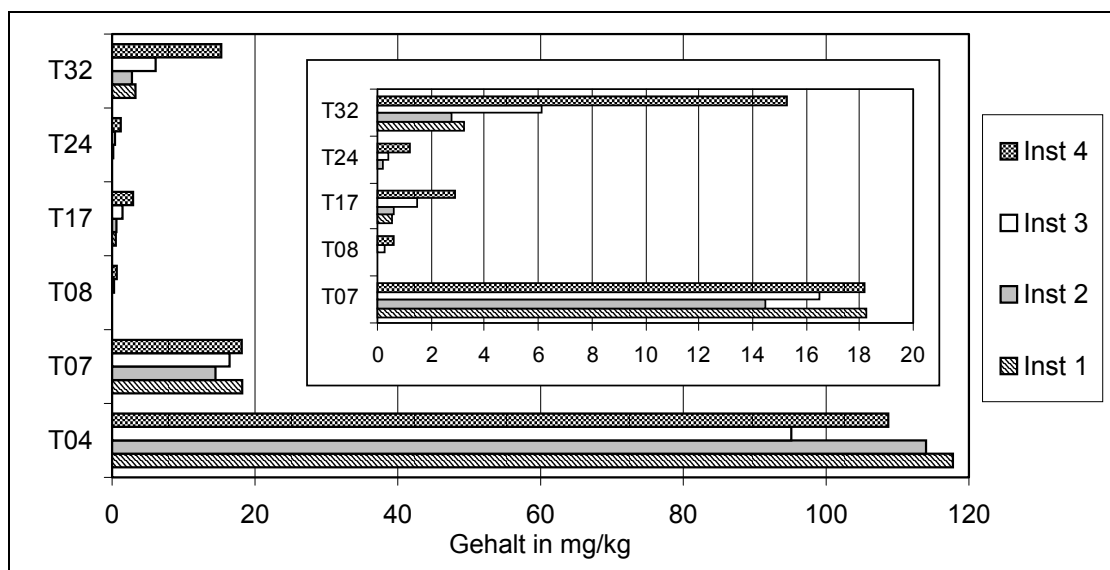


Abbildung 59: Vergleich der Styrolwerte aus Tonern der 4 beteiligten Institute.

8 Diskussion und Schlussfolgerungen

Die zu Beginn des Vorhabens durchgeführten Voruntersuchungen machten deutlich, dass grundsätzlich die Bestimmung von Staub-, Ozon-, und VOC - Emissionsraten aus Hardcopygeräten auch bei den kurzen zur Verfügung stehenden Druckzeiten möglich ist. Favorisiert wurde zunächst der sogenannte Equilibrium - Approach [18]. Hierbei müssen Bedingungen geschaffen werden, bei denen sich eine Gleichgewichtskonzentration in der Kammer einstellt, die dann über die Zeit nahezu konstant ist (stationärer Zustand). Dies kann geschehen, indem entweder die Versuchsdauer lang genug ist (2 bis 3 Stunden bei einer Luftaustauschrate von 1 h^{-1}) oder die Luftaustauschrate in der Kammer so erhöht wird, dass die Gleichgewichtseinstellung in der maximal zur Verfügung stehenden Druckzeit von 36 Minuten erfolgen kann. Dies ist durch Luftaustauschraten von 4 bis 5 h^{-1} grundsätzlich erreichbar.

Die üblichen Emissionsmesskammern sind für solch hohe Luftaustauschraten jedoch nicht ausgelegt, dies gilt insbesondere für große Kammern, wie die im Vorhaben eingesetzte 20 m^3 - Kammer. Für die kleineren Kammern mit einem Volumen von 1 m^3 zeigte sich aber, dass hohe Luftaustauschraten von 4 - 5 h^{-1} durchaus realisierbar sind, wenn die Kammern entweder im Spülmodus betrieben werden oder der reguläre Luftdurchsatz durch Verwendung anderer Luftdurchflussregler erhöht wird. Der Einsatz der genannten 1 m^3 - Kammern erfolgte, da diese für VOC - Emissionsmessungen speziell entwickelt wurden und sich durch die vorhandene Reinstluftversorgung und auch sonst durch geringe Ozonhalbwertszeiten und ein hervorragendes Blindwertverhalten auszeichnen.

In den Vorversuchen zeigte sich, dass in den 1 m^3 - Kammern im Verlauf des Druckprozesses erhebliche Probleme mit der relativen Luftfeuchtigkeit, bis hin zur Kondensation, auftreten können, selbst bei gleichzeitig ansteigender Temperatur in den Kammern (Kapitel 6.1). Durch Erhöhung der Luftaustauschraten auf 4 - 5 h^{-1} mit trockener Zuluft und der Vortrocknung von Recyclingpapier bzw. der Verwendung von Frischfaserpapier, das weniger Wasser beim Druckprozess abgibt, wurden diese Probleme gelöst.

Bei der Durchführung der Untersuchungen an den einzelnen Hardcopygeräten zeigte sich, dass diese sehr unterschiedliche Emissionseigenschaften hatten. Für die gravimetrisch ermittelten Staubemissionen, dargestellt in Abbildung 60, waren die Un-

terschiede eher gering. Sie sind nach den vorliegenden Erkenntnissen wahrscheinlich überwiegend auf den Eintrag von Papierfasern zurückzuführen. Diese Aussage basiert zum einen auf Informationen von Expertenkreismitgliedern. Zum anderen wird sie experimentell gestützt durch die Tatsache, dass eine Erhöhung des Flächenbedeckungsgrades von 5 % auf 20 % keine Erhöhung der Staubemissionsrate zur Folge hat (vergleiche Kapitel 5.3.1). Wie die Versuche außerdem zeigten, wird auch beim Druck von leeren Seiten Staub freigesetzt.

Im Gegensatz zur Staubemission ergaben sich für die Ozon- (Abbildung 61) und VOC - Emissionen (Abbildung 62) deutliche Unterschiede.

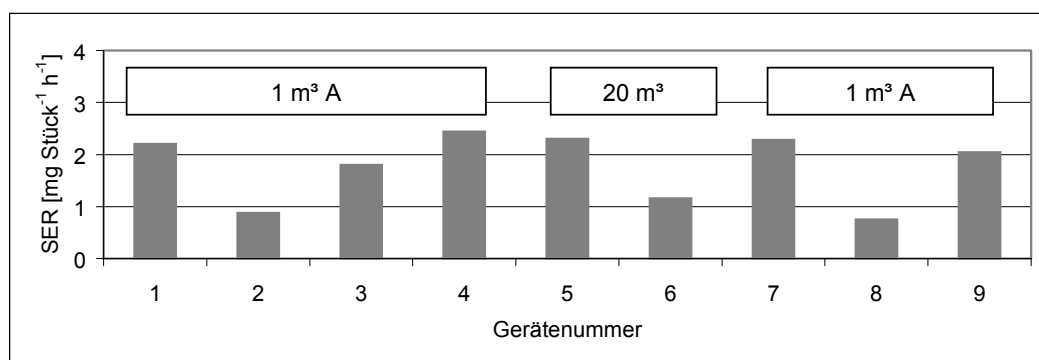


Abbildung 60: Übersicht der mit Recyclingpapier gravimetrisch ermittelten SER_{St} für alle untersuchten Geräte

Auch bei dem begleitend eingesetzten Partikelzählverfahren war ersichtlich, dass es offensichtlich Geräte gibt, die eher geringe Partikelemissionen aufweisen, wogegen sich bei anderen höhere Emissionen feststellen lassen. Eine Korrelation zwischen einer hohen gravimetrisch ermittelten Staubemissionsrate und der Partikelemissionsrate ist nur zum Teil gegeben. Um diesen Zusammenhang genauer beschreiben zu können, besteht noch weiterer Untersuchungsbedarf. Wegen der nach wie vor offenen Fragen der Vergleichbarkeit und auch Bewertung von Messergebnissen, die insbesondere mit unterschiedlichen Partikelzählverfahren erzielt werden, sind diese nicht in die Bewertung der untersuchten Geräte eingeflossen. Das Partikelzählverfahren ist deshalb auch nicht Gegenstand des entwickelten Prüfverfahrens geworden. Es dient an dieser Stelle lediglich dazu, zusätzliche Aussagen zu den gravimetrisch ermittelten Staubemissionsraten zu erhalten.

Abbildung 61 zeigt in einer Übersicht die Ozonemissionsraten aller untersuchten Geräte, ermittelt unter vergleichbaren Versuchsbedingungen. Die Geräte 5 und 6 mussten auf Grund ihrer Größe in der 20 m³ - Prüfkammer vermessen werden. Alle ande-

ren Geräte wurden in der 1 m³ - Kammer A geprüft. Bei Betrachtung der Ozonemissionen fiel auf, dass es völlig emissionsfreie bzw. sehr gering emittierende Geräte gibt und andere mit deutlichen Ozonemissionen.

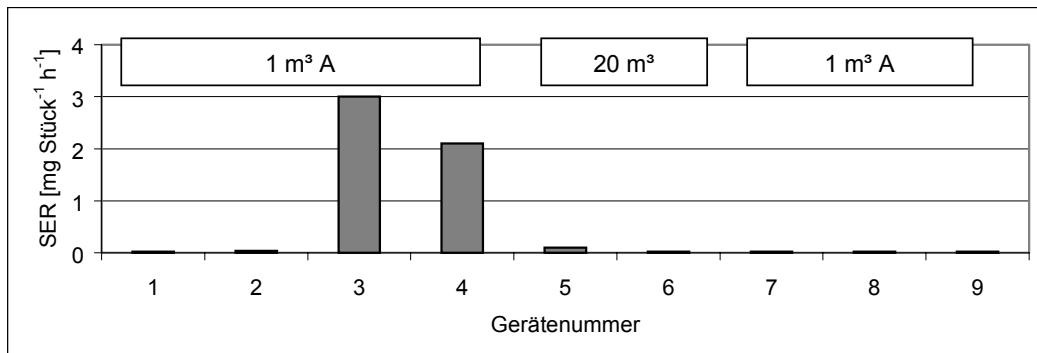


Abbildung 61: Übersicht der mit Recyclingpapier ermittelten SER_{Ozon} für alle untersuchten Geräte

Bei den VOC - Emissionen wiesen alle Geräte sowohl Emissionen in der Kalt- und Bereitschaftsphase und wie erwartet höhere Emissionen in der Druckphase auf. Auch hier zeigten sich aber deutliche Unterschiede zwischen den einzelnen Geräten.

Die festgestellten VOC - Emissionen waren zum einen auf die verwendeten Toner zurückzuführen, zum anderen auf die in den Geräten eingesetzten Materialien und andere Betriebsstoffe, wie das verwendete Papier. Während der Beitrag des Papiers für die VOC - Emissionen eher als gering anzusehen ist, zeigten sich aber teilweise, insbesondere für das eingesetzte Recyclingpapier, deutliche SVOC - Emissionen. Hierbei stellt sich jedoch nach dem gegenwärtigen Erkenntnisstand die Frage, inwieweit SVOC - Emissionen mit dem eingesetzten Kurzzeitmessverfahren zuverlässig gemessen werden können. Im Zweifelsfall kommt es aufgrund von sogenannten Senkeneffekten, bei denen schwerflüchtige organische Verbindungen an Oberflächen, z.B. Kammerwänden, aber auch an Gerätematerialien adsorbieren, eher zu geringeren Werten für die berechneten Emissionsraten als diese real vorliegen.

Das Auftreten der SVOC bei Verwendung von Recyclingpapier, wie auch die gegenüber Frischfaserpapier verstärkte Wasserabgabe führte zu der Schlussfolgerung, dass aus prüftechnischen Gründen im Prüfverfahren für die Bestimmung der Geräteemissionen Frischfaserpapier einzusetzen ist. Grund ist, dass bei der Bestimmung der Geräteemissionen, inklusive der zugehörigen Toner, möglichst eine von Störeinflüssen freie Bestimmung der Emissionsraten erfolgen muss. Abbildung 62 zeigt in einer Übersicht die TVOC - Emissionsraten aller untersuchten Geräte ermittelt unter

vergleichbaren Versuchsbedingungen. Die Geräte 5 und 6 mussten auf Grund ihrer Größe in der 20 m³ - Prüfkammer vermessen werden. Alle anderen Geräte wurden in der 1 m³ - Kammer A geprüft.

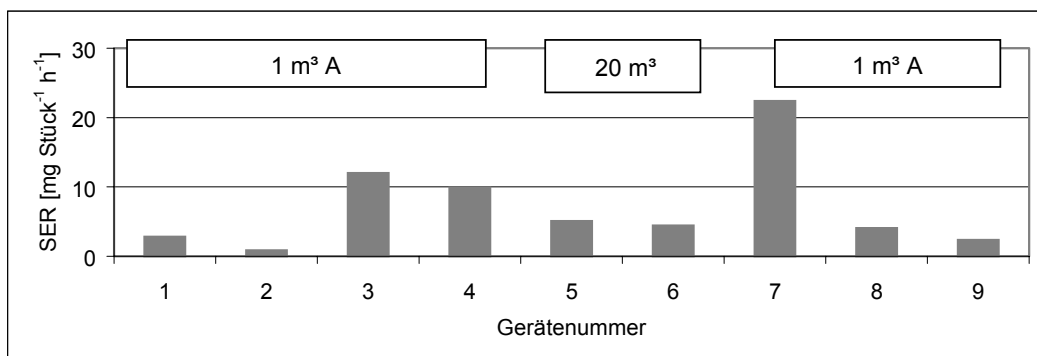


Abbildung 62: Übersicht der mit Recyclingpapier ermittelten SER_{TVOC} für alle untersuchten Geräte

Hinsichtlich der Vergleichbarkeit unterschiedlicher Emissionsmesskammern ist festzuhalten, dass diese mit gewissen Einschränkungen als gut zu bezeichnen ist. So sind in der 20 m³ - Kammer die sich einstellenden Konzentrationen der emittierten Stoffe in der Luft deutlich geringer als in den 1 m³ - Kammern. Die Ursache liegt in der stärkeren Verdünnung innerhalb des großen Prüfkammervolumens. Es kommt hinzu, dass bei den realisierbaren Luftaustauschraten von in der Regel nicht über 1 h⁻¹ die nach 15 bis maximal 30 Minuten vorliegenden Konzentrationswerte noch weit unter der Gleichgewichtskonzentration liegen. Grundsätzlich erhöht sich mit verringerten Konzentrationen auch die Messunsicherheit.

Aus den genannten Gründen war für die Ermittlung der Emissionsraten aus den Messungen in der eingesetzten 20 m³ - Kammer auch nicht der oben genannte Equilibrium - Approach anwendbar, sondern die VOC - Emissionsraten mussten aus der von Beginn der Druckphase bis zum Ende der über vier Luftwechsel währenden Nachlaufphase integrativ berechnet werden. Dies bedeutet einen relativ hohen Zeitaufwand für Messungen in großen Prüfkammern.

Weiterhin wurde für das Prüfverfahren (siehe Kapitel 15.8 im Anhang) der pragmatische Schluss gezogen, dass kleine Geräte in kleinen Kammern und große Geräte in großen Kammern zu untersuchen sind. Trotzdem ist festzuhalten, dass als Endergebnis unter Verwendung der Prüfvorschrift Emissionsraten berechnet werden können. Somit kann ein von Testparametern weitgehend unabhängiger Bewertungsmaßstab geschaffen werden.

9 Realraumszenario

Bei der Bewertung von Daten aus Messungen in Emissionsprüfkammern stellt sich die Frage nach deren Übertragbarkeit auf reale Räume. Wesentliche Parameter hierbei sind einerseits die Prüfkammer- bzw. Raumgröße und die Luftaustauschrate, andererseits die mittels Kammermessungen ermittelten Emissions- oder Konzentrationswerte im Vergleich zu den maximal zulässigen Raumlufkonzentrationswerten (vgl. Abschnitt 2.2 Innenraumlufqualität).

Für die Realraumbetrachtung wird als Standardfall in Anlehnung an [21] ein Raumvolumen von 17,4 m³ und eine Luftaustauschrate von 0,5 h⁻¹ zugrundegelegt. Hinsichtlich der VOC - Belastung der Raumluf durch Hardcopygeräte stehen TVOC sowie Styrol und Benzol im Vordergrund der Betrachtungen. Dem TVOC- Wert als Summenparameter kommt besondere Bedeutung zu. Auch Styrol, als häufiger charakteristischer Bestandteil von tonerbedingten Emissionen, ist gesondert zu betrachten. Dies gilt auch für Benzol, das es als krebserregender Stoff besonders zu minimieren gilt. Styrol ist in den bisherigen Umweltzeichenvergabebegründungen nach RAL-UZ 62 [46], RAL-UZ 85 [50], und RAL-UZ 95 [51] als einziger VOC begrenzt worden.

Die maximalen anteiligen Konzentrationszielwerte für die genannten Stoffe, wie auch für Staub und Ozon sind Tabelle 28 zu entnehmen. Diese Werte sind unter Berücksichtigung der Tatsache festgelegt worden, dass die für die Innenraumluf formulierten Zielwerte für TVOC von 200 bis 300 µg m⁻³ [36], [37], [61], [62] und für Styrol von 30 µg m⁻³ [59] nicht durch eine Produktgruppe alleine in Anspruch genommen werden dürfen.

Analoges gilt für die hilfsweise herangezogenen, für die Außenluft festgelegten Grenzwerte von 5 µg m⁻³ für Benzol [53], 120 µg m⁻³ für Ozon (als 8 - Stunden - Mittelwert) [54] und 40 µg m⁻³ für Staub (PM₁₀) [52].

Der in Tabelle 28 für den Beitrag des Gerätes angegebene Benzolhöchstwert von 0,5 µg pro m³ entspricht lediglich einem Zehntel der nach der EU-Tochter-Richtlinie [53] zukünftig für die Außenluft zulässigen Benzolkonzentration und berücksichtigt in besonderem Maße die Einstufung als krebserzeugende Verbindung.

Tabelle 28: Konzentrationszielwerte für die anteilige Belastung der Innenraumluft durch Hardcopygeräte und daraus abgeleitete Emissionsraten bzw. Konzentrationswerte für Kammerrmessungen

Betriebsmodus	Verbindung	c_R [$\mu\text{g m}^{-3}$]	F	SER_K [$\mu\text{g h}^{-1}$]	c_K [$\mu\text{g m}^{-3}$]	
					$V_K=1\text{m}^3, n_K=5\text{h}^{-1}$	$V_K=20\text{m}^3, n_K=1\text{h}^{-1}$
Druck (1000 Seiten, 10 Stunden), Nutzungsfaktor 1/10	TVOC	100	0,1	8700	1740	435
	Benzol	0,5		43	8,8	2,2
	Styrol	12		1044	208	52
	Ozon	20		(1740)	(348)	(87)
	Staub	40		3480	696	174
Kalt- und Bereit	TVOC ¹⁾	100	1	870	174	43

1) TVOC für Tischgeräte; für Standgerät 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ weil größerer Raum und kein Dauerarbeitsplatz

Für die Ableitung von zulässigen Emissionsraten aus den Konzentrationszielwerten für den Innenraum (Modellraum) sind in Tabelle 28 einige vereinfachende Annahmen gemacht. Erstens werden Senkeneffekte (Adsorption an Oberflächen) im Modellraum und in der Kammer vernachlässigt. Zweitens ist davon auszugehen, dass Drucker und Kopierer nicht ununterbrochen über 24 Stunden betrieben werden, wofür sie auch nicht ausgelegt sind. Es ist aus Vereinfachungsgründen ein Druckaufkommen von maximal 1000 Seiten in zehn Stunden zugrundegelegt. Das entspricht ca. 10 % des ununterbrochenen Druckbetriebes eines leistungsstarken Tischgerätes. Daraus ergibt sich ein Nutzungsfaktor von 1 / 10 (0,1) für den Druckbetrieb. In der Kalt- bzw. Bereitschaftsphase hingegen befindet sich das Gerät den Rest des Tages, daher wird ein Nutzungsfaktor von 1 zugrundegelegt. Die sich daraus ergebenden zulässigen Emissionsraten (SER_K) sind nach Gleichung 17 berechnet.

$$\text{SER}_K = \frac{c_R * n_R * V_R}{F}$$

Gleichung 17

Zur Information sind in Tabelle 28 auch die für zwei verschiedene Kammergrößen mit unterschiedlichen Luftaustauschraten zu erwartenden Maximalkonzentrationen angegeben. Sie sind nach Gleichung 18 berechnet.

$$c_K = \frac{c_R * n_R * V_R}{F * n_K * V_K}$$

Gleichung 18

c_R :	Konzentration des jeweiligen Analyten im Modellraum	$[\mu\text{g m}^{-3}]$
c_K :	Konzentration des jeweiligen Analyten in der Prüfkammer	$[\mu\text{g m}^{-3}]$
F:	Nutzungsfaktor	[dimensionslos]
n_K :	Luftaustauschrate in der Prüfkammer	$[\text{h}^{-1}]$
n_R :	Luftaustauschrate im Modellraum ($0,5 \text{ h}^{-1}$)	$[\text{h}^{-1}]$
SER_K :	Emissionsrate des jeweiligen Analyten in der Prüfkammer	$[\mu\text{g Stück}^{-1} \text{h}^{-1}]$
V_K :	Volumen der Prüfkammer	$[\text{m}^3]$
V_R :	Volumen des Modellraumes ($17,4 \text{ m}^3$)	$[\text{m}^3]$

Die Emissionsraten bzw. Kammerkonzentrationswerte für Ozon sind in Tabelle 28 in Klammern gesetzt, da für die angegebenen Werte der Ozonabbau vernachlässigt wurde.

Aus Tabelle 28 ist ersichtlich, dass in den aus messtechnischen und Kostengründen zunehmend für Tischgeräte eingesetzten kleinen Emissionsmesskammern, wie z.B. der 1 m^3 - Kammer, selbst bei der zugrundegelegten hohen Luftaustauschrate von 5 pro Stunde wesentlich höhere Konzentrationen ermittelt werden, als in der größeren Kammer (20 m^3 bei $n = 1 \text{ h}^{-1}$). Dies ist aus Sicht einer bei höheren Konzentrationen verringerten Messunsicherheit von Vorteil, darf aber nicht zu der Annahme verleiten, dass die ermittelten höheren Konzentrationen kritisch wären. Denn Grund für die Erhöhung sind die Prüfbedingungen. Die aus den Kammerkonzentrationswerten errechneten gerätespezifischen Emissionsraten sind hingegen gleich. Dies ist auch der Grund, warum für die RAL - UZ - Vergabe zulässige Emissionswerte als Emissionsrate und nicht als Konzentrationswerte angegeben werden. Die in Tabelle 29 aufgeführten zulässigen Emissionsraten im Rahmen der Umweltzeichenvergabe sind gerundete Werte, die aus Tabelle 28 abgeleitet sind und in dieser Tabelle in mg h^{-1} angegeben werden.

Die höhere zulässige TVOC - Emissionsrate für Standgeräte in der Bereitschaftsphase ergibt sich aus der Überlegung, dass diese großen Geräte nicht in kleinen Büros eingesetzt werden, sondern in der Regel gesondert oder in großen Räumen stehen. Teilweise wiesen die Standgeräte außerdem höhere Emissionen in der Kalt- bzw. Bereitschaftsphase auf als die Tischgeräte. Für die Ableitung der Emissionsraten ist daher nicht der oben genannte Standardraum von $17,4 \text{ m}^3$ zugrundegelegt worden, sondern ein Standardraum mit einem rund dreifachen Volumen von 50 m^3 .

Die zulässige Emissionsrate für Standgeräte im Druckbetrieb ist hingegen die gleiche wie für Tischgeräte, da die untersuchten Standgeräte trotz teilweise wesentlich höhe-

ren Druckaufkommens keine höheren Emissionsraten im Druck zeigten als die Tischgeräte.

Tabelle 29: Zulässige Höchstwerte für Emissionsraten aus Hardcopygeräten nach RAL-UZ 62 neu [45], RAL-UZ 85 neu [49] und RAL-UZ 114 [48]

Substanz	SER _U [mgh ⁻¹]		
	Druckphase	Bereitschaftsphase	
		Tischgeräte	Standgeräte
TVOC	10	1	3
Benzol	0,05	-	-
Styrol	1,0	-	-
Ozon	2	-	-
Staub	4	-	-

10 Zusammenfassung

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden neben der Durchführung verschiedener Vorversuche neun Hardcopygeräte (Drucker und Kopierer) auf ihr Emissionsverhalten bezüglich Staub, Ozon und VOC (TVOC) untersucht. Hierbei war festzustellen, dass die Geräte deutliche Unterschiede hinsichtlich ihres Emissionsverhaltens aufwiesen. Dies galt insbesondere für Ozon und VOC bzw. TVOC. Die Staubemissionen zeigten nur relativ geringe Unterschiede, die überwiegend auf den Papiereinsatz zurückzuführen sind. Die Unterschiede in der Ozonemission basieren auf den verschiedenen Funktionsprinzipien der eingesetzten Geräte bzw. der Wirksamkeit der eingesetzten Ozonfilter.

Bei den VOC - Emissionen waren sowohl hinsichtlich deren Summe (TVOC) als auch der festgestellten Einzel - VOC deutliche Unterschiede feststellbar. Eine Emission von Benzol konnte in keinem Fall ermittelt werden. Styrol, wie auch andere aromatische Verbindungen, insbesondere Toluol, o-, m- und p-Xylol wurden bei fast allen Geräten festgestellt. Für diese Verbindungen ist der eingesetzte Toner eine mögliche Emissionsquelle. Allerdings wurden beispielsweise bei einem Gerät auch höhere Toluolemissionen ermittelt, obwohl der im Gerät verwendete Toner nur vergleichsweise geringe Toluolgehalte aufwies. Weitere bei den Geräten festgestellte Verbindungen waren Benzaldehyd, Acetophenon, Phenol und Hexanal. Als primäre Hexanalquelle ist nach den vorliegenden Erkenntnissen das Papier anzusehen. Auffallend bei einem Gerät war der hohe Anteil an nicht genau identifizierbaren oder unidentifizierbaren Verbindungen, für welche der verwendete Toner eine mögliche Ursache ist.

Insgesamt ist aber festzustellen, dass für die ermittelten VOC - Emissionen auf Basis der vorliegenden Daten keine allgemeingültige Aussage über die Hauptquellen möglich ist. Vielmehr muss das Gerät in Verbindung mit Toner und Papier als System betrachtet werden, in dem zwar Toner und Papier aber auch verwendete Gerätematerialien und weitere Gerätebetriebsmittel, wie Kühl- und Schmierstoffe als VOC - Emissionsquellen in Frage kommen. Gerätematerialien und Betriebsmittel dürften auch eine wesentliche Ursache für die in der Kalt- und Bereitschaftsphase bei allen Geräten festgestellten VOC - Emissionen sein, wobei auch hier wieder große Unterschiede zwischen den Geräten feststellbar waren. Diese VOC - Emissionen des nicht eingeschalteten bzw. im Bereitschaftsmodus befindlichen Gerätes sind nicht ungewöhnlich, sie sind eine Eigenschaft fast aller Materialien und Produkte [67], [27].

Eine etwas andere Situation ergibt sich für die bei nahezu allen Geräten festgestellten SVOC - Emissionen, insbesondere wenn Recyclingpapier zum Einsatz kam. Hier ist das verwendete Recyclingpapier, in Verbindung mit hohen Fixiertemperaturen im Druckbetrieb von bis zu 180 °C, als wesentliche Quelle anzusehen. Anzumerken ist jedoch, dass nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand bei dem für Hardcopygeräte eingesetzten Prüfverfahren, das ein Kurzzeitmessverfahren ist, SVOC - Emissionen nicht zuverlässig erfassbar sein werden.

Bei der Entwicklung des „Prüfverfahrens für die Bestimmung von Emissionen aus Hardcopygeräten“ im Rahmen der Umweltzeichenvergabe, das diesem Bericht beiliegt, flossen die Ergebnisse des Vorhabens ein. Hierbei wurden auch die Erfahrungen und Anregungen von Prüfinstituten, Herstellern und des Umweltbundesamtes aus drei Sitzungen des projektbegleitenden Expertenkreises wie auch durch weitere Beratungen berücksichtigt. Dieses Prüfverfahren wurde in die Entwürfe der neuen Vergabegrundlagen für Drucker (RAL-UZ 85 [50]), Kopierer (RAL-UZ 62 [46]) und Multifunktionsgeräte (RAL-UZ 114 [48]) aufgenommen.

Für das entwickelte Prüfverfahren stellen Emissionsmesskammern in Anlehnung an ENV 13419-1 [21] die messtechnische Basis dar. Für die VOC- bzw. TVOC- Bestimmung aus der Prüfkammerluft kommt das leistungsfähige Probenahme- und Analysenverfahren nach ISO 16000-6 [38] (Tenax / Thermodesorption, GC / MS) zur Anwendung. Die Bestimmung der Ozonkonzentration in der Prüfkammerluft erfolgt mit einem Ozonanalysator, der nach dem Prinzip der Chemilumineszenz arbeitet. Die Staubkonzentration wird über ein gravimetrisches Verfahren unter Feuchtekorrektur ermittelt. Das zu Vergleichszwecken in einer Reihe von Versuchen mitgeführte Partikelzählverfahren fand keinen Eingang in die Prüfvorschrift, da dieses Verfahren zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht als Routinemessverfahren für die Bestimmung von Staubemissionen aus Hardcopygeräten angesehen werden kann.

Diese Festlegungen sind im Wesentlichen konform zum ECMA-Standard 328 [18]. Abweichungen von der dort beschriebenen und bisher häufig praktizierten Vorgehensweise ergeben sich jedoch für die eigentliche Messprozedur. Ausgehend von der weitgehend akzeptierten Überlegung, dass die Anwesenheit von Personen in der Prüfkammer wie auch das Öffnen der Kammer während der Prüfung zum Papier nachlegen unterbleiben muss, steht für den ununterbrochenen Druckbetrieb nur eine relativ kurze Zeit zur Verfügung. Je nach Papiervorrat, Papierablagekapazität und

Gerätetyp (Druckgeschwindigkeit) ist bei elektrophotographischen Druck- und Kopiergeräten ein ununterbrochener Druckbetrieb von maximal 15 bis 30 Minuten realisierbar. Um auf dieser Basis zuverlässige Emissionsraten der Geräte ermitteln zu können, wurden zwei unterschiedliche Vorgehensweisen als geeignet ermittelt.

Zum einen kann unter bestimmten Bedingungen eine direkte Ermittlung der Emissionsrate von VOC und Ozon zum Ende des Druckbetriebes erfolgen, die gilt auch für die Bestimmung der VOC - Emissionsrate zum Ende der Bereitschaftsphase.

Die andere Möglichkeit ist die Probenahme vom Beginn der Druckphase bis zum Ende einer direkt nachgeschalteten Nachlaufphase, die über 4 Luftwechsel gehen muss. Letzteres Verfahren ist in jedem Fall für die Ermittlung der Staubemissionsrate anzuwenden.

Neben der Ermittlung von Emissionsraten bei den untersuchten Geräten und der Erarbeitung des Prüfverfahrens war ein weiteres Ziel des Vorhabens die Durchführung von Rundversuchen. Für den geplanten Rundversuch zur Bestimmung des Emissionsverhaltens von Hardcopygeräten wurden aus den neun untersuchten Geräten vier besonders geeignete Geräte ausgewählt. Von den ursprünglich vorgesehenen fünf Prüfinstituten nahmen nur vier an diesem Rundversuch teil, von denen wiederum nur zwei alle Messungen im vollem Umfang durchführten. Die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zwischen diesen beiden Instituten war relativ gut.

An dem weiteren Rundversuch zur Ermittlung der VOC - Gehalte von sechs unterschiedlichen Tonern nahmen wie geplant vier Institute teil. Für die Auswahl der sechs Toner wurden zuvor von der BAM 32 Toner untersucht, die sehr deutliche Unterschiede hinsichtlich der enthaltenen VOC und deren Konzentration im Toner aufwiesen. Ergebnis des Rundversuches war eine relativ gute Vergleichbarkeit zwischen den Instituten, obwohl teilweise unterschiedliche Headspaceverfahren zur Anwendung kamen.

Trotzdem ist festzuhalten, dass Gehaltsbestimmungen an Tonern nur in sehr beschränktem Umfang Voraussagen über das Emissionsverhalten von Hardcopygeräten als System erlauben, da die Emissionen, wie oben ausgeführt, von einer Reihe von Parametern abhängen.

Selbst wenn Emissionen unter definierten Randbedingungen reproduzierbar bestimmt werden, stellt sich die Frage nach deren Bewertung. Während Emissionsraten zunächst einen direkten Vergleich unterschiedlicher Geräte erlauben, lassen sich aus ihnen unter einer Reihe vereinfachender Annahmen, z. B. der Vernachlässigung von Senkeneffekten, auch Raumluftkonzentrationen abschätzen. Hierbei ist jedoch bei Hardcopygeräten für den Büro- oder Privatgebrauch auch zu berücksichtigen, dass diese nicht „rund um die Uhr“ drucken, wofür sie auch nicht ausgelegt sind, sondern aufgrund der empfohlenen monatlichen Druckvolumina nur mit einem Anteil, der sich auf rund 10 % des Tages abschätzen lässt. Diese Überlegungen wurden auch in die oben genannten Vergabegrundlagen einbezogen, um aus anteiligen Zielwerten für die Innenraumluft maximal zulässige Emissionsraten für Hardcopygeräte abzuleiten.

Durch das erarbeitete Prüfverfahren, mit dem eine vereinheitlichte und reproduzierbare Bestimmung des Emissionsverhaltens von Druckern, Kopierern und Multifunktionsgeräten möglich sein soll, ist in Verbindung mit den entsprechenden Umweltzeichenvergabegrundlagen ein wichtiger Schritt zu einer Begrenzung der Einträge von stofflichen Emissionen in die Innenraumluft erfolgt.

Für Farbgeräte und Tintenstrahlprinter, die nicht Gegenstand der Untersuchungen in diesem Vorhaben waren, ist das Prüfverfahren zunächst versuchsweise anzuwenden. Diese Erfahrungen, wie auch Fragen einer Begrenzung weiterer einzelner VOC, außer Benzol und Styrol, und eine Bestimmung (und Charakterisierung) von Staubemissionen mittels anderer Verfahren, wie z.B. Partikelzählverfahren, sollten bei einer eventuellen späteren Überarbeitung des Prüfverfahrens und der Vergabegrundlagen Berücksichtigung finden. Insbesondere die bei einigen Geräten und Tonern in größerem Umfang festgestellten unidentifizierbaren Verbindungen erfordern zukünftig eine nähere Betrachtung. Auch über Ansätze zur Begrenzung von VOC bzw. SVOC - Gehalten von Recyclingpapieren sollte nachgedacht werden, da diese eine wesentliche Emissionsquelle bei der Verwendung in Hardcopygeräten darstellen können.

11 Quellenverzeichnis

- [1] Ad-hoc-Arbeitsgruppe aus Mitgliedern der Innenraumlufthygiene-Kommission (IRK) des Umweltbundesamtes und des Ausschusses für Umwelthygiene der AGLMB. Richtwerte für die Innenraumluft: Basisschema. Bundesgesundheitsblatt 39 (1996) S. 422-425.
- [2] Ad-hoc-Arbeitsgruppe aus Mitgliedern der Innenraumlufthygiene-Kommission (IRK) des Umweltbundesamtes und des Ausschusses für Umwelthygiene der AGLMB. Richtwerte für die Innenraumluft: Pentachlorphenol. Bundesgesundheitsblatt 40 (1997) S. 234-236.
- [3] Black M. S., Worthan A. W. 1999. Emissions from office equipment. Proceedings of the 8th International Conference on Indoor Air Quality and Climate - Indoor Air '99, Vol 2, pp 454-459. Edinburgh.
- [4] c' t: Anrühig - Wie gesundheitsschädlich sind Laserdrucker? c't 17 (2001) S. 26
- [5] Computerbild: Test - Gift im Toner. Computerbild 8 (2002), S. 180 - 188
- [6] Deutsches Institut für Bautechnik, DIBt-Mitteilungen 32 (2001) 1, S. 3-12
- [7] Diabate S., Völkel K., Wottrich R.: Krank durch Nanopartikel. NACHRICHTEN - Forschungszentrum Karlsruhe 34 (2002) S. 75 - 83
- [8] DIN 19309 Papier für Kopierzwecke
- [9] DIN 33870, Ausgabe: 2001-01 Informationstechnik - Büro- und Datentechnik - Anforderungen und Prüfungen für die Aufbereitung von gebrauchten Tonermodulen schwarz für elektrophotographische Drucker, Kopierer und Fernkopierer
- [10] DIN EN 12281, Ausgabe: 2003-01 Druck- und Büropapier - Anforderungen an Kopierpapier für Vervielfältigungen mit Trockentoner; Deutsche Fassung EN 12281:2002
- [11] DIN EN 20287, Ausgabe: 1994-09 Papier und Pappe - Bestimmung des Feuchtegehaltes - Wärmeschränkverfahren (ISO 287:1985); Deutsche Fassung EN 20287: 1994
- [12] DIN EN ISO 14024, Ausgabe: 2001-02 Umweltkennzeichnungen und -deklarationen - Umweltkennzeichnung Typ I - Grundsätze und Verfahren (ISO 14024:1999); Deutsche Fassung EN ISO 14024:2000
- [13] DIN V ENV 717-1, (Vornorm) Ausgabe: 1999-02 Holzwerkstoffe - Bestimmung der Formaldehydabgabe - Teil 1: Formaldehydabgabe nach der Prüfkammer-Methode; Deutsche Fassung ENV 717-1: 1998
- [14] ECA-Report No. 18, Evaluation of VOC Emissions from Building Products - Solid Flooring Materials. EUR 17334 EN, 1997.
- [15] ECA-Report No. 19, Total Volatile Organic Compounds (TVOC) in Indoor Air Quality Investigations. EUR 17675 EN, 1997.
- [16] ECA-Report No. 2, Formaldehyde Emission from Wood Based Materials: Guideline for the determination of steady state concentrations in test chambers. EUR 12196 EN, April 1989

-
- [17] ECA-Report No. 8, Guideline for the Characterization of Volatile Organic Compounds (VOC) emitted from Indoor Materials and Products using Small Test Chambers"
 - [18] ECMA-Standard 328, Detection and measurement of chemical emissions from electronic equipment, August 2001 (www.ecma.ch).
 - [19] Englert, N.: Richtwerte für die Innenraumluft: Kohlenmonoxid. Bundesgesundheitsblatt 40 (1997) S. 425-428.
 - [20] Englert, N.: Richtwerte für die Innenraumluft: Stickstoffdioxid. Bundesgesundheitsblatt 41 (1998) S. 9-12.
 - [21] Europäische Vornorm ENV 13419-1: Bauprodukte - Bestimmung der Emission von flüchtigen organischen Verbindungen - Teil 1: Emissionsprüfkammer-Verfahren, Oktober 1999.
 - [22] Europäische Vornorm ENV 13419-2: Bauprodukte - Bestimmung der Emission von flüchtigen organischen Verbindungen - Teil 2: Emissionsprüfzellen-Verfahren, Oktober 1999.
 - [23] Europäische Vornorm ENV 13419-3: Bauprodukte - Bestimmung der Emission von flüchtigen organischen Verbindungen - Teil 3: Verfahren zur Probenahme, Lagerung der Proben und Vorbereitung der Prüfstücke, Oktober 1999.
 - [24] Heinrich U.: Ultrafeine Partikeln. In Symposium „Grenzwerte für chemische Einwirkungen an Arbeitsplätzen“. BIA - Report 4 / 98. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften - HVBG, Sankt Augustin (1998), S. 163 - 174
 - [25] Internationale Vornorm ISO / CD 16000-6: Indoor air and emission test chamber air- determination of VOCs; active sampling on TENAX TA, Thermal desorption and gas chromatography, November 2000.
 - [26] ISO 554, Ausgabe: 1976-07 Normalklimate für die Konditionierung und / oder Prüfung; Anforderungen
 - [27] Jann, O., Wilke, O., Brödner, D.: Entwicklung eines Prüfverfahrens zur Ermittlung der Emission flüchtiger organischer Verbindungen aus beschichteten Holzwerkstoffen und Möbeln. UBA-Texte 74/99, UBA, Berlin, 1999
 - [28] Jann, O., Wilke, O., Walther, W., Ullrich, D.: Entwicklung eines standardisierbaren Prüfverfahrens zur Bestimmung des Eintrages von Holzschutzmittel-Wirkstoffen aus behandeltem Holz, Altholz und daraus hergestellten Holzwerkstoffen in die Luft. UBA-Projekt-Nr. 126 06 003, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Abschlußbericht, Berlin, 1997. UBA-Texte 51/99, Umweltbundesamt, Berlin, 1999.
 - [29] Jann, O., Wilke, O.: Möglichkeiten und Grenzen bei der Bestimmung von SVOC-Emissionen aus Materialien und Produkten. VDI-Bericht Nr. 1656, 2002, S. 357-367.
 - [30] Jann, O.: Vergleichende Untersuchungen über die Formaldehydemission von Holzwerkstoffen in Prüfkammern. Teil 1 und 2. Forschungsbericht 106 04 122, UBA-FB 96-034 UBA-Texte 23/96, Umweltbundesamt, Berlin, 1996
 - [31] Kommission Innenraumlufthygiene (IRK), Stand 2002, <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-daten/daten/irk.htm#4>]

-
- [32] Konzeption der Bundesregierung zur Verbesserung der Luftqualität in Innenräumen. Bundesumweltministerium, September 1992, Bonn.
 - [33] LGA (Dr. Jungnickel) persönliche Mitteilung, Februar 2002
 - [34] Link, B.: Richtwerte für die Innenraumluft: Quecksilber. Bundesgesundheitsblatt 42 (1999) S. 168-174.
 - [35] Meyer, U., Möhle, K., Eyerer, P. et al.: Entwicklung, Bau und Inbetriebnahme einer 1 m³-Bauteilmesskammer zur Bestimmung von Emissionen aus Endprodukten. Staub - Reinhaltung der Luft 54, 1994: S. 137 - 142.
 - [36] Mølhave, L., Clausen, G.: The use of TVOC as an indicator in IAQ investigations, Proceedings of Indoor Air 1996, Vol. 2, S. 37-46.
 - [37] Mølhave, L.: Volatile Organic Compounds, Indoor Air Quality and Health. Indoor Air, 4 (1991): S. 357-376
 - [38] Normentwurf DIN ISO 16000-6: Bestimmung von VOC in der Innenraumluft und in Prüfkammern, Probenahme auf TENAX TA, thermische Desorption und Gaschromatographie / MSD bzw. FID, September 2002.
 - [39] ÖKO-TEST: Außen hui, innen pfui. ÖKO-TEST 8 (2001), S. 26 - 29
 - [40] ÖKO-TEST: Verstaubte Technik. ÖKO-TEST 2 (2002), S. 30 - 32
 - [41] Plehn, W., Marutzky, R., Salthammer, T.: Einflüsse auf das Wohnklima. In: Informationsdienst Holz - Wohngesundheit im Holzbau. Herausgeber: Deutsche Gesellschaft für Holzforschung, München und Forstabsatzfond, Bonn, März 1998.
 - [42] RAL - UZ 102 für emissionsarme Wandfarben. Ausgabe: Mai 2000 Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V., Siegburger Straße 39, 53757 Sankt Augustin, www.blauer-engel.de
 - [43] RAL - UZ 12 a für schadstoffarme Lacke. Ausgabe: Januar 1997 Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V., Siegburger Straße 39, 53757 Sankt Augustin, www.blauer-engel.de
 - [44] RAL - UZ 38 für emissionsarme Produkte aus Holz und Holzwerkstoffen. Ausgabe: April 2002 Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V., Siegburger Straße 39, 53757 Sankt Augustin, www.blauer-engel.de
 - [45] RAL - UZ 62 für Kopiergeräte NEU. Ausgabe: wahrscheinlich 2003 Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V., Siegburger Straße 39, 53757 Sankt Augustin, www.blauer-engel.de
 - [46] RAL - UZ 62 für Kopiergeräte. Ausgabe: Januar 2002 Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V., Siegburger Straße 39, 53757 Sankt Augustin, www.blauer-engel.de
 - [47] RAL - UZ 76 für emissionsarme Holzwerkstoffplatten. Ausgabe: Juni 2001 Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V., Siegburger Straße 39, 53757 Sankt Augustin, www.blauer-engel.de
 - [48] RAL - UZ 114 für Hardcopygeräte, Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V., Siegburger Straße 39, 53757 Sankt Augustin, www.blauer-engel.de

-
- [49] RAL-UZ 85 für Drucker NEU. Ausgabe: 2003 Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V., Siegburger Straße 39, 53757 Sankt Augustin, www.blauer-engel.de
- [50] RAL-UZ 85 für Drucker. Ausgabe: März 2002 Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V., Siegburger Straße 39, 53757 Sankt Augustin, www.blauer-engel.de
- [51] RAL-UZ 95 Faxgeräte, Fernkopierer und Faxkombinationsgeräte. Ausgabe: Oktober 2002 Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V., Siegburger Straße 39, 53757 Sankt Augustin, www.blauer-engel.de
- [52] Richtlinie 1999/30/EG des Rates vom 22. April 1999 über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft, ABl. Nr. L 163 vom 29.6. 1999, S. 41 (1. Tochterrichtlinie)
- [53] Richtlinie 2000/69/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. November 2000 über Grenzwerte für Benzol und Kohlenmonoxid in der Luft, ABl. Nr. L 313 vom 13.12.2000, S. 12; ber. ABl. Nr. L 111 vom 20.4.2001, S. 31 (2. Tochterrichtlinie)
- [54] Richtlinie 2002/3/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 12. Februar 2002 über den Ozongehalt der Luft, ABl. Nr. L 67 vom 9.3.2002, S. 14 (3. Tochterrichtlinie)
- [55] Riediger G., Möhlmann C.: Ultrafeine Aerosole an Arbeitsplätzen. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft 61 (2001) S. 429 - 434
- [56] Riediger G.: Ultrafeine Aerosole an industriellen Arbeitsplätzen. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft 63 (2003) S. 65
- [57] Sagunski, H., Heinzow B.: Richtwerte für die Innenraumluft: Bicyclische Terpene (Leitsubstanz α -Pinen). Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz 4 (2003) S. 346 - 352.
- [58] Sagunski, H., Roßkamp E.: Richtwerte für die Innenraumluft: Tris(2-chlorethyl)phosphat. Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz 3 (2002) S. 300 - 306.
- [59] Sagunski, H.: Richtwerte für die Innenraumluft: Styrol. Bundesgesundheitsblatt 41 (1998) S. 392-421.
- [60] Sagunski, H.: Richtwerte für die Innenraumluft: Toluol. Bundesgesundheitsblatt 39 (1996) S. 416-421.
- [61] Seifert, B.: Regulating Indoor Air, Proceedings of the 5th International Conference on Indoor Air Quality and Climate - Indoor Air '90: 35 - 49.
- [62] Seifert, B.: Richtwerte für die Innenraumluft, Bundesgesundheitsblatt 1999, 42, 270-278.
- [63] Smola T., Georg H., Hohensee H.: Gesundheitsgefahren durch Laserdrucker? Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft 62 (2002), 295 - 301
- [64] Stone V., Donaldson K.: Small particles - big problem. Aerosol Soc. Newsletter 33 (1998), S. 12 - 14
- [65] Test: Laserdrucker. 7 (1999) 72 - 77
- [66] Wensing M, Kummer T., Riemann A., Schwampe W. 2002. Emissions from electronic devices: examination of computer monitors and laser printers in a 1

-
- m³ emission test chamber. Proceedings of the 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate - Indoor Air '02, Vol 2 pp 554-559. Monterey: Indoor Air '02.
- [67] Wilke O., Jann O.: Untersuchung und Ermittlung emissionsarmer Klebstoffe und Bodenbeläge. UBA - Texte 27 / 03, UBA (2003)
- [68] Witten, J., H. Sagunski und B. Wildeboer: Richtwerte für die Innenraumluft: Dichlormethan. Bundesgesundheitsblatt 40 (1997) S. 278-284.

12 Abkürzungsverzeichnis

AgBB	Ausschuss für die gesundheitliche Bewertung von Bauprodukten
CEN	Europäisches Komitee für Normung
BG	Bestimmungsgrenze
COST	European Committee in the Field of Scientific and Technical Research
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
DKD	Deutscher Kalibrierdienst
ECA	European Collaborative Action
ECMA	European Computer Manufacturer Association
FID	Flammenionisationsdetektor
GC	Gaschromatographie
LCI	Lowest Concentration of Interest
LGA	Landesgewerbeanstalt (Nürnberg)
HS	Headspace
IRK	Kommission Innenraumlufthygiene
MS	Massenspektrometer
NIK	niedrigste interessierende Konzentration
NG	Nachweisgrenze
POM	Particulate Organic Matter
RAL	Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung e.V.
RV	Rundversuch
SVA	Sachverständigenausschuss
SVOC	Semi Volatile Organic Compound
TC	Technical Committee
TDS	Thermodesorption
TVOC	Total Volatile Organic Compounds
UBA	Umweltbundesamt
UZ	Umweltzeichen
VOCEM	Interlaboratory Comparison for Measuring VOC Emissions
VOC	Volatile Organic Compound
VVOC	Very Volatile Organic Compound
WG	Working group

13 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	AgBB - Ablaufschema	13
Abbildung 2:	VOC - Konzentrationsverläufe am Beispiel von Terpenen	16
Abbildung 3:	Theoretischer Konzentrationsverlauf in einer 1 m ³ - Kammer.....	18
Abbildung 4:	Theoretischer Konzentrationsverlauf in einer 20 m ³ - Kammer.....	18
Abbildung 5:	Theoretischer prozentualer Konzentrationsverlauf	19
Abbildung 6:	Konzentrationsverlauf bei einer Luftaustauschrate von $n = 4 \text{ h}^{-1}$	20
Abbildung 7:	Prinzipdarstellung der Standard - VOC - 1 m ³ - Kammer Typ B	25
Abbildung 8:	Bild der 1 m ³ - Emissionsmesskammer Typ B	25
Abbildung 9:	Bild der 1 m ³ - Emissionsmesskammer A	26
Abbildung 10:	Prinzipdarstellung Kleinprüfkammerapparatur	27
Abbildung 11:	Prinzipschema der 20 m ³ - Formaldehydprüfkammer	28
Abbildung 12:	Bild der 20 m ³ - Emissionsmesskammer	28
Abbildung 13:	Temperaturprogramm für die gaschromatographische Trennung ..	37
Abbildung 14:	Bestimmung der Wiederfindungsrate von Standardlösungen	44
Abbildung 15:	Gravimetrisch ermittelte SER _{St} für Gerät 1	53
Abbildung 16:	SER _{TVOC} für Gerät 1	54
Abbildung 17:	Chromatogramm vom 26. Februar aus der Druckphase	56
Abbildung 18:	Chromatogramm vom 4. März aus der Druckphase	56
Abbildung 19:	Emissionsratenübersicht für Gerät 2	57
Abbildung 20:	Gravimetrisch ermittelte SER _{St} für Gerät 3	59
Abbildung 21:	SER _{TVOC} für Gerät 3	60
Abbildung 22:	SER _{Ozon} für Gerät 3	61
Abbildung 23:	Gravimetrisch ermittelte SER _{St} für Gerät 4	62
Abbildung 24:	SER _{TVOC} für Gerät 4	62
Abbildung 25:	SER _{Ozon} für Gerät 4	63
Abbildung 26:	Emissionsratenübersicht für Gerät 5	64
Abbildung 27:	Gravimetrisch ermittelte SER _{St} für Gerät 6	65
Abbildung 28:	SER _{TVOC} für Gerät 6	65
Abbildung 29:	Gravimetrisch ermittelte SER _{St} für Gerät 7	66
Abbildung 30:	SER _{TVOC} für Gerät 7	67
Abbildung 31:	Gravimetrisch ermittelte SER _{St} für Gerät 8	68
Abbildung 32:	SER _{TVOC} für Gerät 8	69

Abbildung 33:	Gravimetrisch ermittelte SER_{St} für Gerät 9	70
Abbildung 34:	SER_{TVOC} für Gerät 9	71
Abbildung 35:	Drucker 0, 1 m ³ - Kammer B, Luftaustauschrate $n=1\ h^{-1}$	72
Abbildung 36:	Infrarotaufnahme eines Papiers während des Druckes.....	72
Abbildung 37:	Drucker 0, 1 m ³ - Kammer B, getrocknetes Recyclingpapier.....	73
Abbildung 38:	Drucker 0, 1 m ³ - Kammer B, Luftaustauschrate $n=5\ h^{-1}$	73
Abbildung 39:	Drucker 0, 1 m ³ - Kammer B, getrocknetes Recyclingpapier.....	74
Abbildung 40:	Drucker 0, 1 m ³ - Kammer B	74
Abbildung 41:	Chromatogramm einer Direkt - TDS des Recyclingpapiers.....	76
Abbildung 42:	Chromatogramm einer Direkt - TDS des Frischfaserpapiers 1.....	76
Abbildung 43:	Massenspektrum der nicht identifizierten Verbindung.....	79
Abbildung 44:	SER_{TVOC} für die Geräte 3, 4 und 8 im zeitlichen Verlauf	80
Abbildung 45:	SER_{Ozon} für die Geräte 3, 4 und 8 im zeitlichen Verlauf	81
Abbildung 46:	SER_{Staub} für die Geräte 3, 6 und 8 im zeitlichen Verlauf.....	81
Abbildung 47:	SER_{TVOC} für die Geräte 3, 4 und 8 im Kammervergleich.....	82
Abbildung 48:	SER_{Ozon} für die Geräte 3 und 4 im Kammervergleich.....	83
Abbildung 49:	SER_{Staub} für die Geräte 3, 4 und 8 im Kammervergleich	84
Abbildung 50:	SER_{TVOC} für die Geräte 3 und 9 im Vergleich.....	85
Abbildung 51:	SER_{Ozon} für die Geräte 3 und 9 im Vergleich.....	85
Abbildung 52:	SER_{Staub} für die Geräte 3 und 9 im Vergleich	86
Abbildung 53:	SER_{TVOC} für die Geräte 3 und 9 im Vergleich.....	86
Abbildung 54:	Beispiel eines typischen Partikelzählerergebnisses	88
Abbildung 55:	Partikelemissionsraten für Gerät 1	88
Abbildung 56:	Übersicht der ermittelten Partikelemissionsraten	89
Abbildung 57:	Vergleich der Summen der untersuchten VOC aus Tonern	93
Abbildung 58:	Vergleich der Benzolwerte aus Tonern der 4 beteiligten Institute. ..	94
Abbildung 59:	Vergleich der Styrolwerte aus Tonern der 4 beteiligten Institute.	94
Abbildung 60:	Übersicht der gravimetrisch ermittelten SER_{St}	96
Abbildung 61:	Übersicht der mit Recyclingpapier ermittelten SER_{Ozon}	97
Abbildung 62:	Übersicht der mit Recyclingpapier ermittelten SER_{TVOC}	98
Abbildung 63:	Klimaverlauf während der Druckphase für Gerät 1	120
Abbildung 64:	Klimaverlauf während der Druckphase für Gerät 2	120
Abbildung 65:	Klimaverlauf während der Druckphase für Gerät 3	121
Abbildung 66:	Klimaverlauf während der Druckphase für Gerät 4	121

Abbildung 67:	Klimaverlauf während der Druckphase für Gerät 5	122
Abbildung 68:	Klimaverlauf während der Druckphase für Gerät 6	122
Abbildung 69:	Klimaverlauf während der Druckphase für Gerät 7	123
Abbildung 70:	Klimaverlauf während der Druckphase für Gerät 8	123
Abbildung 71:	Klimaverlauf während der Druckphase für Gerät 9	124
Abbildung 72:	Ozonverlauf während der Druckphase für Gerät 3.....	125
Abbildung 73:	Ozonverlauf während der Druckphase für Gerät 4.....	125
Abbildung 74:	Vorlage zur Linearisierung der Graustufen	126
Abbildung 75:	Druckvorlage 5 % Flächendeckung, schwarz.....	127
Abbildung 76:	Ozonanalysator	128
Abbildung 77:	Partikelzähler	128
Abbildung 78:	Ultramikrowaage	128
Abbildung 79:	Gaschromatograph mit MS-Detektor.....	129

14 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Richtwerte für die Innenraumluft	8
Tabelle 2:	Empfehlungs-, Richt- und Grenzwerte für die Innenraumluft	9
Tabelle 3:	Dosis-Wirkungsbeziehung für Luftverunreinigungen	10
Tabelle 4:	Vorschlag von Richtwerten für die TVOC - Konzentration	11
Tabelle 5:	Übersicht der Hintergrundwerte der Emissionsprüfkammern	22
Tabelle 6:	Darstellung der Parameter in den eingesetzten Messkammern	24
Tabelle 7:	NG und BG der gravimetrischen Staubbestimmung	34
Tabelle 8:	NG und BG der Ozonbestimmung	36
Tabelle 9:	NG und BG der Einzel - VOC - Bestimmung	41
Tabelle 10:	Wiederfindungsraten der Toner	43
Tabelle 11:	Übersicht der zum Drucken verwendeten Papiere	47
Tabelle 12:	VOC-Emissionsraten [$\mu\text{g Stück}^{-1} \text{ h}^{-1}$] für Gerät 1, erste Messung	54
Tabelle 13:	VOC-Emissionsraten [$\mu\text{g Stück}^{-1} \text{ h}^{-1}$] für Gerät 2	57
Tabelle 14:	VOC-Emissionsraten [$\mu\text{g Stück}^{-1} \text{ h}^{-1}$] für Gerät 3, erste Messung	60
Tabelle 15:	VOC-Emissionsraten [$\mu\text{g Stück}^{-1} \text{ h}^{-1}$] für Gerät 4, erste Messung	63
Tabelle 16:	VOC-Emissionsraten [$\mu\text{g Stück}^{-1} \text{ h}^{-1}$] für Gerät 5	64
Tabelle 17:	VOC-Emissionsraten [$\mu\text{g Stück}^{-1} \text{ h}^{-1}$] für Gerät 6, erste Messung	66
Tabelle 18:	VOC-Emissionsraten [$\mu\text{g Stück}^{-1} \text{ h}^{-1}$] für Gerät 7, zweite Messung	67
Tabelle 19:	VOC-Emissionsraten [$\mu\text{g Stück}^{-1} \text{ h}^{-1}$] für Gerät 8, erste Messung	69
Tabelle 20:	VOC-Emissionsraten [$\mu\text{g Stück}^{-1} \text{ h}^{-1}$] für Gerät 9, erste Messung	71
Tabelle 21:	Gesamtübersicht über alle 32 untersuchten Toner	77
Tabelle 22:	Perzentilwerte der Tonersummenwerte	78
Tabelle 23:	Weitere Verbindungen aus den Toneruntersuchungen	78
Tabelle 24:	Vergleich der Emissionsraten der letzten Druckphase für Gerät 1	90
Tabelle 25:	Vergleich der Emissionsraten der letzten Druckphase für Gerät 3	90
Tabelle 26:	Vergleich der Emissionsraten der letzten Druckphase für Gerät 4	91
Tabelle 27:	Vergleich der Staub- und Ozonemissionsraten	92
Tabelle 28:	Konzentrationszielwerte für die Innenraumluft	100
Tabelle 29:	Zulässige Höchstwerte für Emissionsraten aus Hardcopygeräten	102
Tabelle 30:	Zusammenstellung aller Messergebnisse	117
Tabelle 31:	Vertreter des Expertenkreises des ersten Treffens	130
Tabelle 32:	Vertreter des Expertenkreises des zweiten Treffens	131
Tabelle 33:	Vertreter des Expertenkreises des dritten Treffens	131

15 Anhang

15.1 Zusammenstellung aller Messergebnisse für Ozon, Staub und TVOC

Tabelle 30 Zusammenstellung aller Messergebnisse für Ozon, Staub und TVOC

Ge rät	Nr.	Prüfbedingungen						Staub				Ozon			TVOC			
		Prüf- datum	KV [m³]	n [h ⁻¹]	t _b [min]	t _g [min]	n _{Blatt} [Stück]	m _{St} [µg]	V [m³]	C _{St} [mgm ⁻³]	SER _U [mgS ⁻¹ h ⁻¹]	SER _U [kPS ⁻¹ h ⁻¹]	H ^{rc} [min]	C _{max} [µgm ⁻³]	SER _U [mgS ⁻¹ h ⁻¹]	t [h]	C _{TVOC} [µgm ⁻³]	SER _U [mgS ⁻¹ h ⁻¹] 1
1	1 / 1	26.02.02	1	4,0	20	50	364 ^d	152,5	0,7	0,22	2,20	11,6	7,5	< 0,002	< 0,02	0,303	494	2,83
	1 / 2	27.02.02 _a	1	4,0	27	57	500	103,3	0,8	0,12	1,01	25,2	4,0	< 0,002	< 0,02	0,350	338	1,79
	1 / 3	28.02.02	1	4,0	21	57	366 ^d	39,2	0,7	0,06	0,65	2,40	4,0	< 0,002	< 0,02	0,297	380	2,19
	1 / 4	04.03.02	1	4,0	25	57	478 ^d	111,8	0,7	0,15	1,37	5,57	4,0	< 0,002	< 0,02	0,342	631	3,39
	1 / 5	05.03.02 _b	1	4,0	27	57	499	61,8	0,8	0,08	0,68	9,44	4,5	< 0,002	< 0,02	0,350	1956	10,38
	1 / 6	06.03.02	1	4,0	27	57	499	38,4	0,8	0,05	0,42	4,20	3,0	< 0,002	< 0,02	0,358	725	3,81
	1 / 7	07.03.02	1	4,0	27	57	499	46,5	0,8	0,06	0,51	2,46	3,0	< 0,002	< 0,02	0,358	735	3,86
	1 / 8	17.04.02	1	4,0	24	54	443 ^e	111,8	1,1	0,10	0,90	3,69	1,7	< 0,002	< 0,02	0,32	66	0,41
2	2 / 1	11.03.02	1	4,0	36	66	500	105,1	0,9	0,12	0,88	0,81	3,5	3,2	0,04	0,494	190	0,86
3	3 / 1	12.03.02	1	4,0	22	52	500	126,9	0,7	0,19	1,80	3,23	1,5	106,8	3,0	0,296	2105	12,0
	3 / 2	23.04.02	1	4,0	19	49	500	153,0	0,8	0,20	2,06	3,00	1,7	94,9	2,4	0,288	1522	8,9
	3 / 3	18.06.02	1	4,0	21	51	500	108,2	0,7	0,16	1,60	2,34	1,9	132,4	3,0	0,288	1836	10,7
	3 / 4	20.06.02	1	4,4	20	50	500	179,8	0,7	0,25	2,70	2,96	1,1	120,5	4,6	0,288	1730	10,6
	3 / 5	24.09.02	1	4,7	10	10	250	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	2,2	156,1	3,0	n. b.	n. b.	n. b.
	3 / 6	24.09.02	1	4,7	20	20	250	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	2,4	150,2	2,6	n. b.	n. b.	n. b.
	3 / 7	24.09.02	1	4,7	10	10	250	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	2,5	173,9	2,9	n. b.	n. b.	n. b.
	3 / 8	24.09.02	1	4,7	13	13	250	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	n. b.	2,7	179,8	2,8	n. b.	n. b.	n. b.
	3 / 9	05.12.02	1	4,7	10	70	250	25,4	2,5	0,01	0,33	2,65	2,7	127,8	2,6	0,132	673	6,80

Ge rät	Nr.	Prüfbedingungen						Staub				Ozon			TVOC			
		Prüf- datum	KV [m³]	n [h ⁻¹]	t _b [min]	t _g [min]	n _{Blatt} [Stück]	m _{st} [µg]	V [m³]	C _{st} [mgm ⁻³]	SER _U [mgS ⁻¹ ·h ⁻¹]	SER _U [kPS ⁻¹ ·h ⁻¹]	H ^c [min]	C _{max} [µgm ⁻³]	SER _U [mgS ⁻¹ ·h ⁻¹]	t [h]	C _{TVOC} [µgm ⁻³]	SER _U [mgS ⁻¹ ·h ⁻¹] 1]
4	3 / 10	05.12.02	1	4,7	20	90	500	34,1	3,4	0,01	0,21	3,98	1,8	166,0	2,8	0,383	406	2,30
	3 / 11	12.12.02	20	1,0	10	250	250	91,8	9,2	0,01	5,00	0,18	5,0	14,6	2,5	4,20	22	11,2
	4 / 1	14.03.02	1	4,0	31	61	500	228,2	0,7	0,31	2,44	1,23	2,1	102,8	2,1	0,461	2095	9,87
	4 / 2	24.04.02	1	4,0	30	60	500	72,2	0,8	0,09	0,72	0,05	2,3	130,4	2,4	0,461	1439	6,80
	4 / 3	13.06.02	1	4,0	26	56	500	31,2	0,8	0,04	0,34	0,20	1,9	144,3	3,3	0,422	576	2,80
	4 / 4	02.07.02	1	4,4	15	45	235 ^d	5,8	0,6	0,01	0,13	1,15	2,4	162,0	2,8	n. b	n. b	n. b.
5	4 / 5	03.07.02	1	4,4	32	62	500	8,1	0,8	0,01	0,10	2,09	1,9	177,8	3,9	0,461	334	1,72
	4 / 6	11.07.02	20	1,0	32	62	500	112,1	0,9	0,13	5,04	0,09	11,2	38,7	2,9	0,422	47	2,71
	5 / 1	19.03.02	20	1,0	24	54	500	36,6	0,7	0,05	2,30	2,87	11,5	1,6	0,1	0,338	72	5,10
	6 / 1	21.03.02	20	1,0	32	62	1901 ^d	25,1	0,8	0,03	1,16	4,39	8,0	< 0,002	< 0,02	0,437	84	4,41
	6 / 2	25.04.02	20	1,0	37	67	2500	56,2	1,1	0,05	1,81	8,86	7,0	< 0,002	< 0,02	0,542	70	3,35
	7 / 1	10.04.02	1	4,0	17	47	99	46,2	0,6	0,08	0,88	2,22	4,0	< 0,002	< 0,02	0,208	2850	20,1
7	7 / 2	11.04.02	1	4,0	15	45	89 ^d	119,1	0,6	0,19	2,28	1,43	4,0	< 0,002	< 0,02	0,208	3215	22,4
	8 / 1	18.04.02	1	4,0	28	58	500	73,1	0,8	0,09	0,75	28,7	1,7	< 0,002	< 0,02	0,350	764	4,07
	8 / 2	12.06.02	1	4,0	28	58	500	91,13	0,7	0,13	1,08	67,3	1,9	< 0,002	< 0,02	0,375	421	2,15
	8 / 3	25.06.02	1	4,4	28	58	500	131,5	0,8	0,16	1,46	37,6	1,8	< 0,002	< 0,02	0,375	255	1,39
	8 / 4	09.07.02	20	1,0	28	58	500	79,0	0,8	0,10	4,14	0,10	6,5	< 0,002	< 0,02	0,367	24	1,56
	9 / 1	04.07.02	1	4,4	27	57	500	163,9	0,7	0,22	2,04	16,1	n. b.	< 0,002	< 0,02	0,389	438	2,34
9	9 / 2	02.12.02	1	4,4	13	73	250	111,5	2,8	0,04	0,99	20,7	n. b.	< 0,002	< 0,02	0,163	209	1,84
	9 / 3	03.12.02	1	4,4	27	87	500	127,9	3,2	0,04	0,57	16,9	1,8	< 0,002	< 0,02	0,413	359	1,97
	9 / 4	10.12.02	20	1,0	14	267	250	183,6	9,2	0,02	7,63	1,61	6,5	< 0,002	< 0,02	4,20	39	2,33

Übersicht der in Tabelle 30 verwendeten Symbole und Abkürzungen

KV :	Volumen der eingesetzten Prüfkammer	[m ³]
t_D :	Druckzeit	[min]
t_G :	Gesamtprobenahmezeit	[min]
t :	mittlere Druckzeit	[h]
n_{Blatt} :	Anzahl der gedruckten Blätter	[Stück]
C_{St} :	gravimetrisch bestimmte Staubkonzentration	[mgm ⁻³]
C_{TVOC} :	analytisch bestimmte TVOC - Konzentration	[µgm ⁻³]
H' :	Ozonhalbwertszeit	[min ⁻¹]
n :	Luftaustauschrate	[h ⁻¹]
SER_U :	Emissionsrate für die jeweilige Substanz	[mgS ⁻¹ h ⁻¹]
c_{max} :	maximale Ozonkonzentration	[µgm ⁻³]
grau :	Messung mit verschiedenen weißen Frischfaserpapieren durchgeführt	
a:	Null % Flächendeckung schwarz, d. h. Druck von leeren Seiten	
b:	20 % Flächendeckung schwarz	
c:	bestimmt im beladenen Zustand	
d:	Druckvorgang durch technische Störung vorzeitig beendet	
e:	Neustart nach technischer Störung	
n. b.:	nicht bestimmt	
f:	kP steht für Kilo (1000) Partikel	

15.2 Ausgewählte Klimakurven

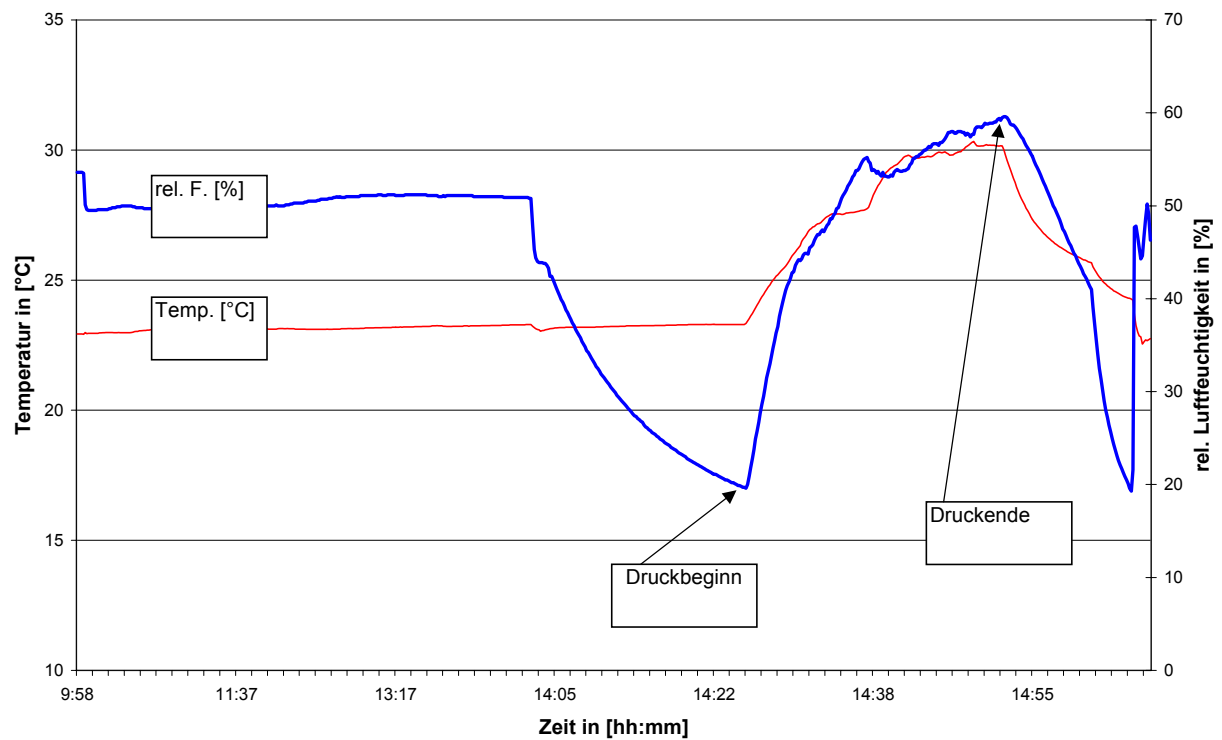


Abbildung 63: Klimaverlauf während der Druckphase für Gerät 1 (Messung 27.2.02), 1 m³ - Kammer A

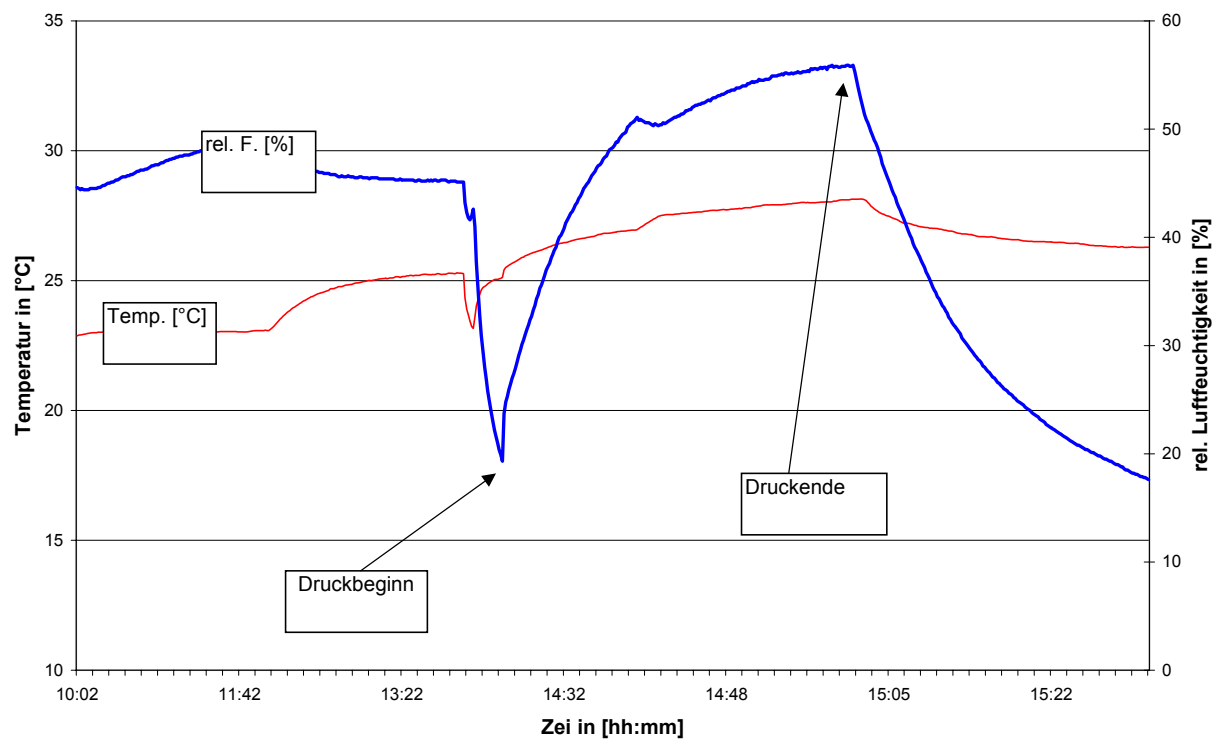


Abbildung 64: Klimaverlauf während der Druckphase für Gerät 2 (Messung 11.3.02), 1 m³ - Kammer A

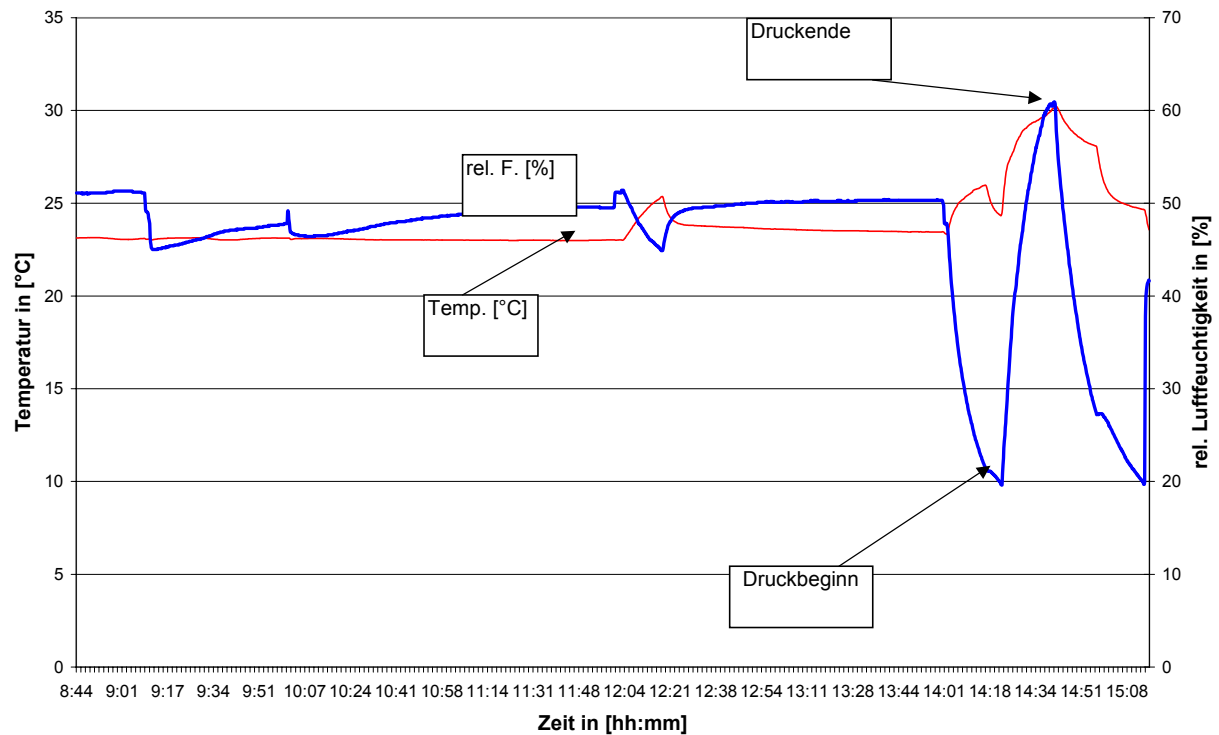


Abbildung 65: Klimaverlauf während der Druckphase für Gerät 3 (Messung 12.3.02), 1 m³ - Kammer A

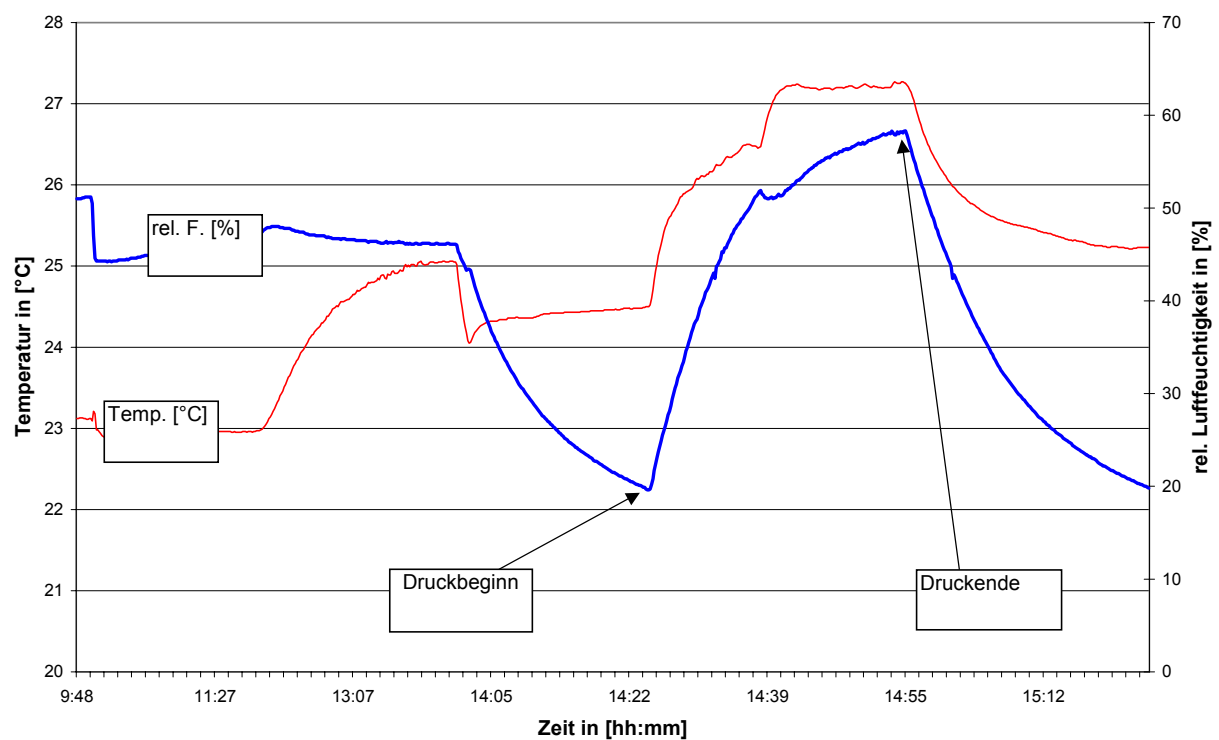


Abbildung 66: Klimaverlauf während der Druckphase für Gerät 4 (Messung 14.3.02), 1 m³ - Kammer A

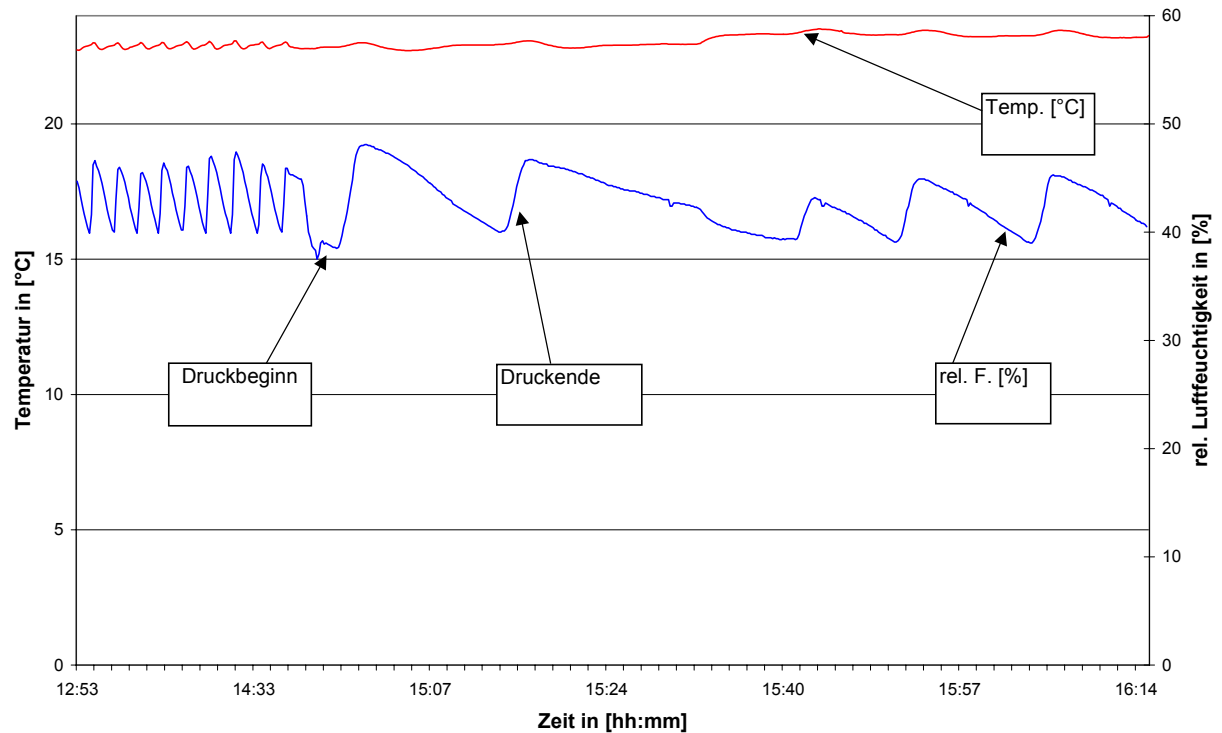


Abbildung 67: Klimaverlauf während der Druckphase für Gerät 5 (Messung 19.3.02), 20 m³ - Kammer

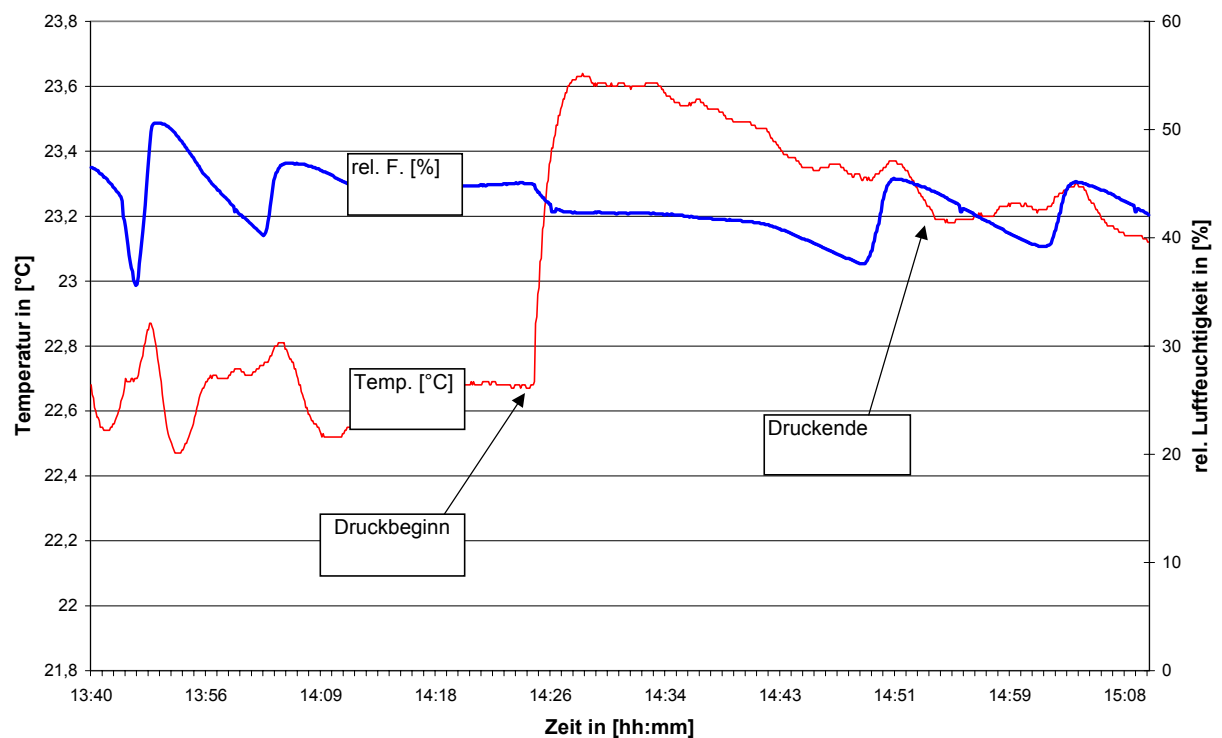


Abbildung 68: Klimaverlauf während der Druckphase für Gerät 6 (Messung 21.3.02), 20 m³ - Kammer

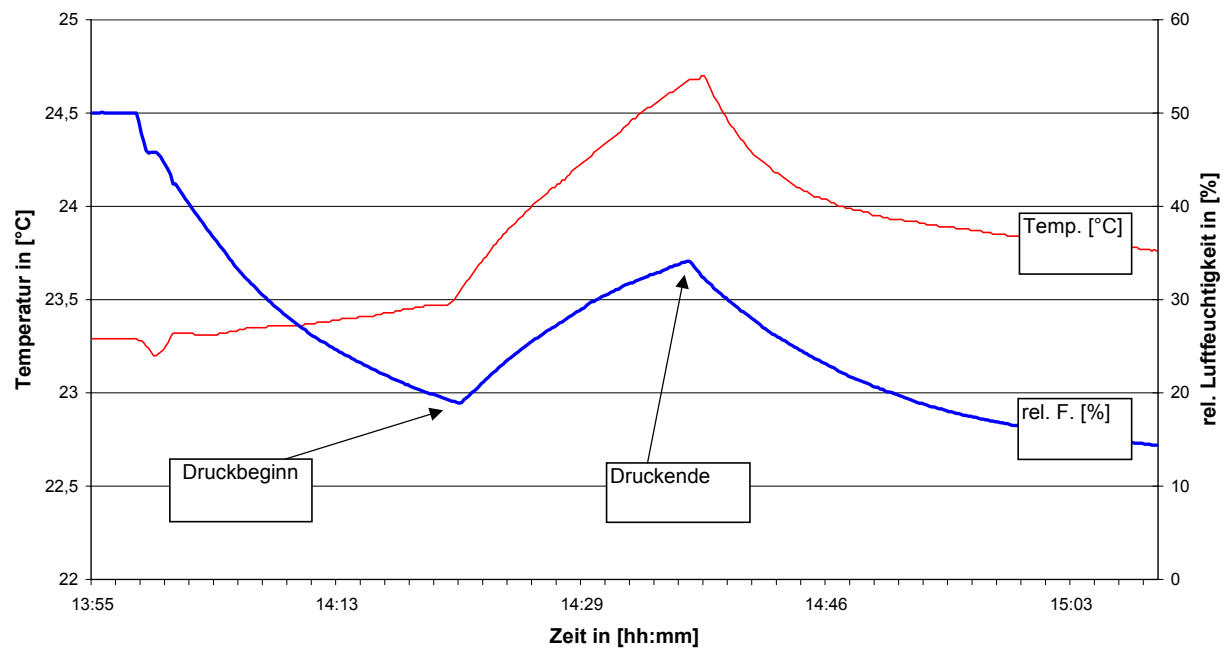


Abbildung 69: Klimaverlauf während der Druckphase für Gerät 7 (Messung 10.04.02), 1 m³ - Kammer A

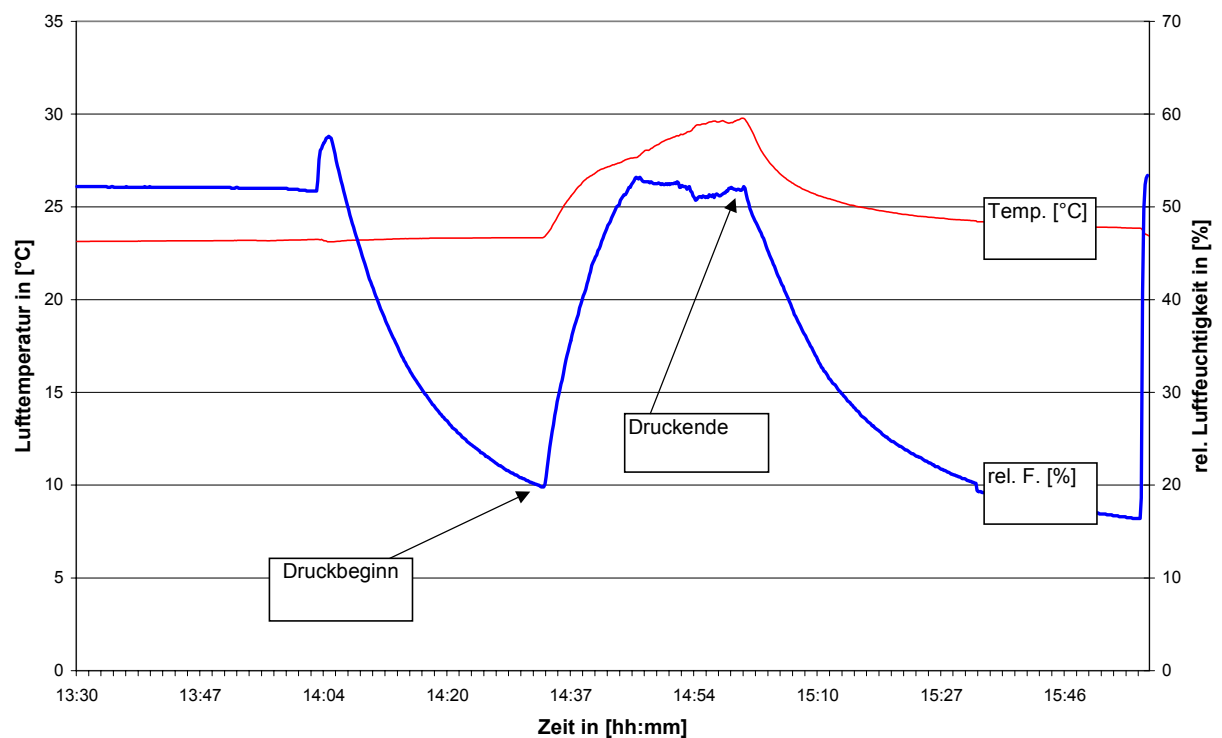


Abbildung 70: Klimaverlauf während der Druckphase für Gerät 8 (Messung 18.04.02), 1 m³ - Kammer A

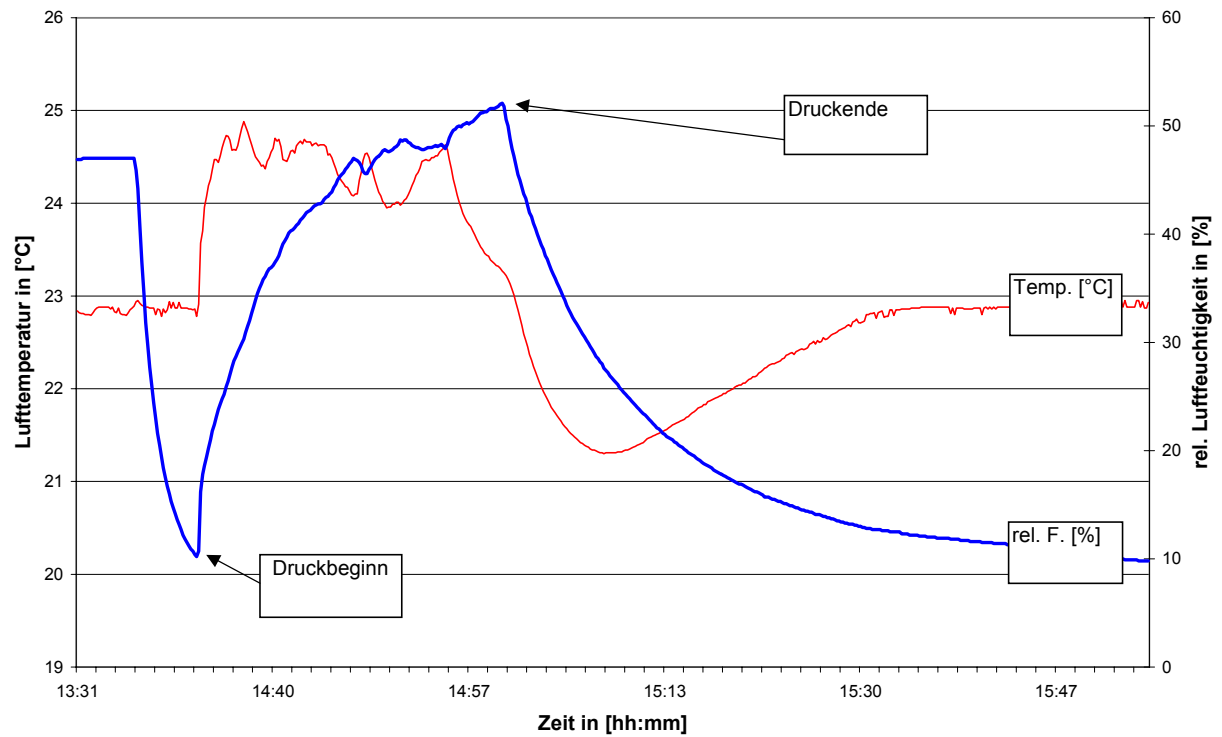


Abbildung 71: Klimaverlauf während der Druckphase für Gerät 9 (Messung 18.04.02)

15.3 Ozonkurven

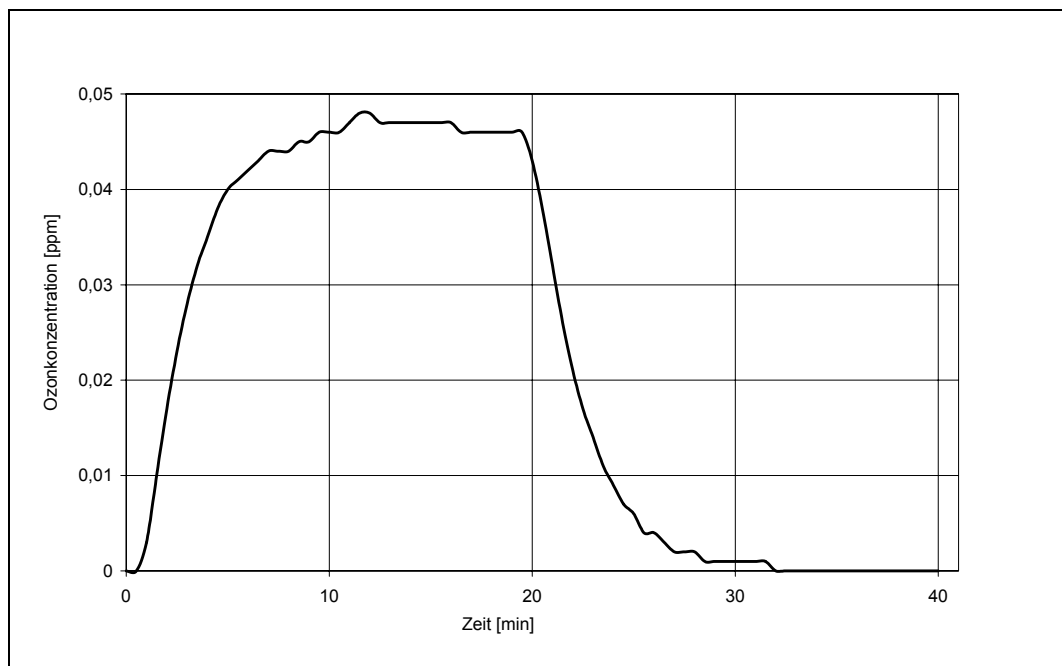


Abbildung 72: Ozonverlauf während der Druckphase für Gerät 3 (Messung 12.3.02),
1 m³ - Kammer A

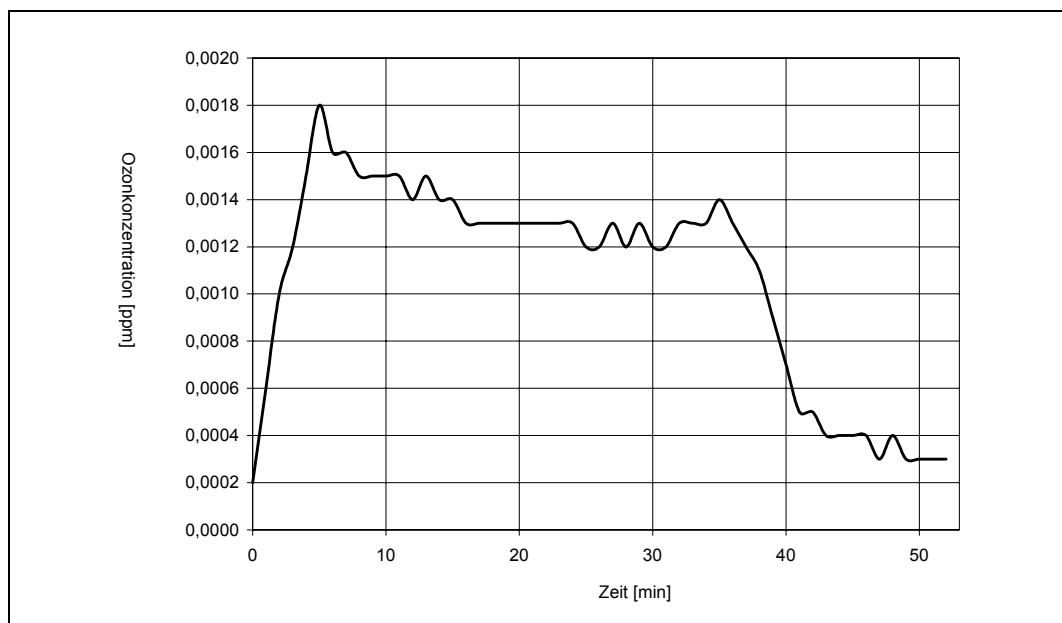


Abbildung 73: Ozonverlauf während der Druckphase für Gerät 4 (Messung 14.3.02),
1 m³ - Kammer A

15.4 Vorlage zur Linearisierung der Graustufen in Vorbereitung der Druckvorlage

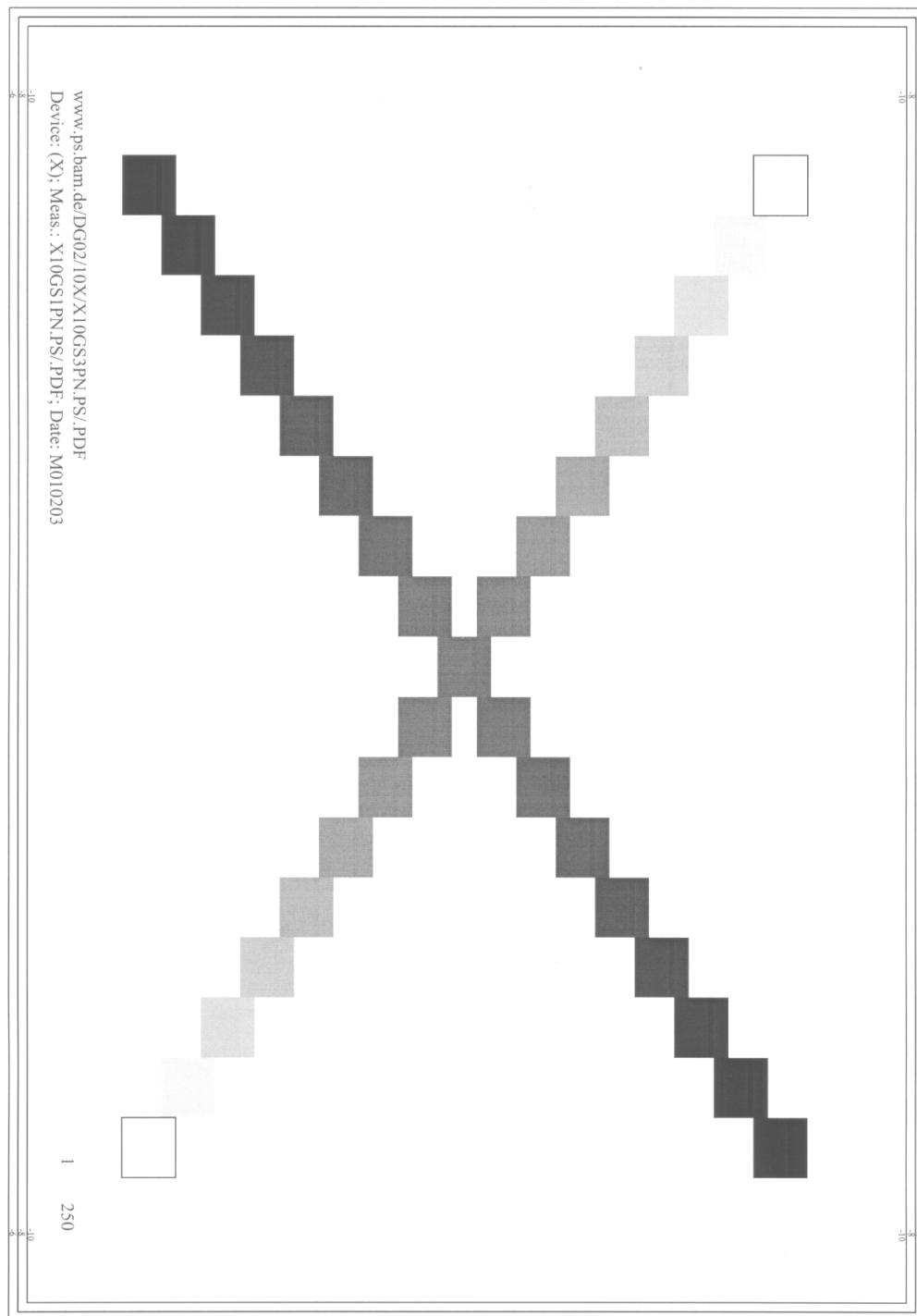


Abbildung 74: Vorlage zur Linearisierung der Graustufen in Vorbereitung der 5 %-Druckvorlage

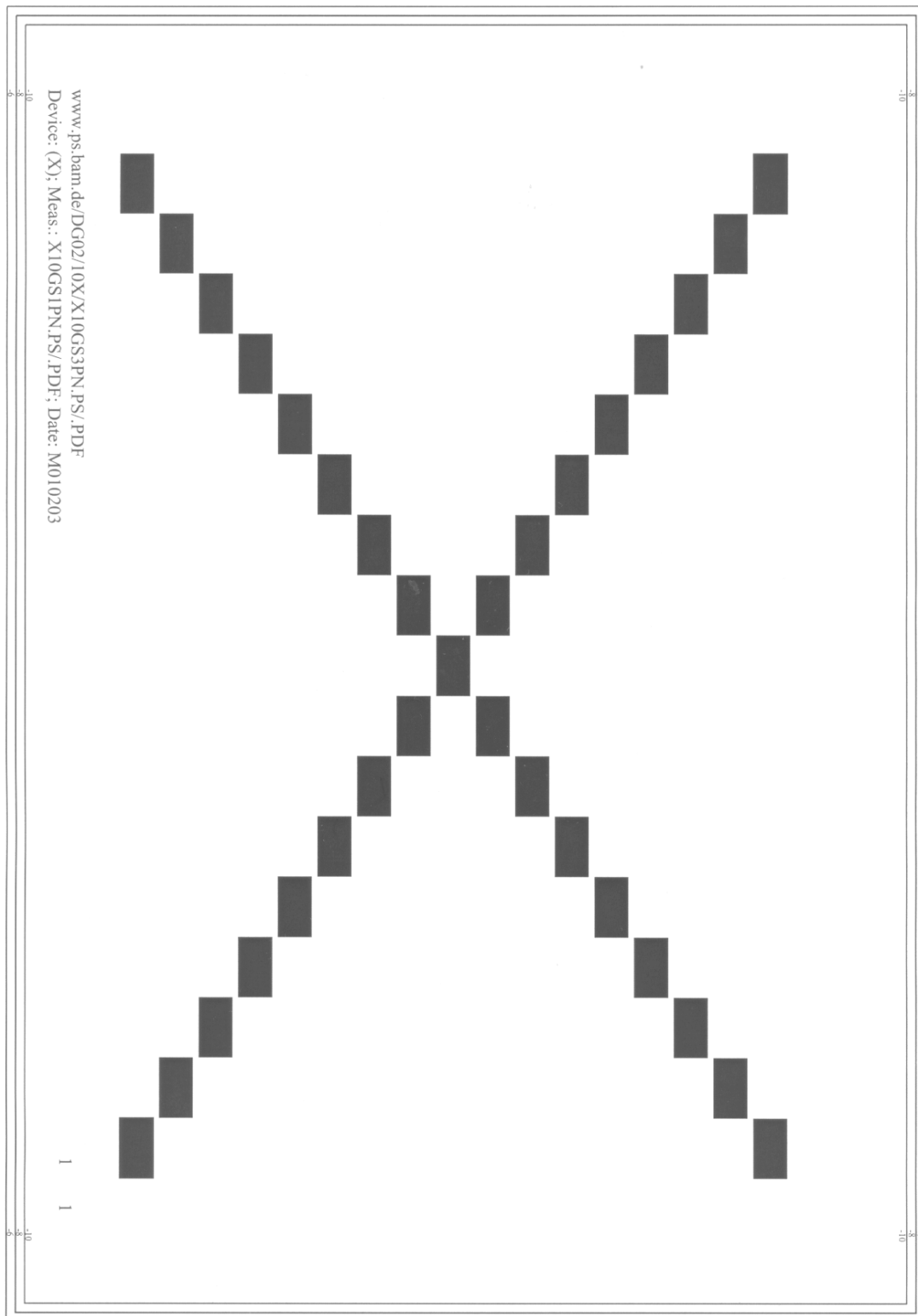
15.5 Druckvorlage 5% Flächendeckung, schwarz

Abbildung 75: Druckvorlage 5 % Flächendeckung, schwarz, nach DIN 33870 [9]

15.6 Abbildungen der verwendeten Analysengeräte

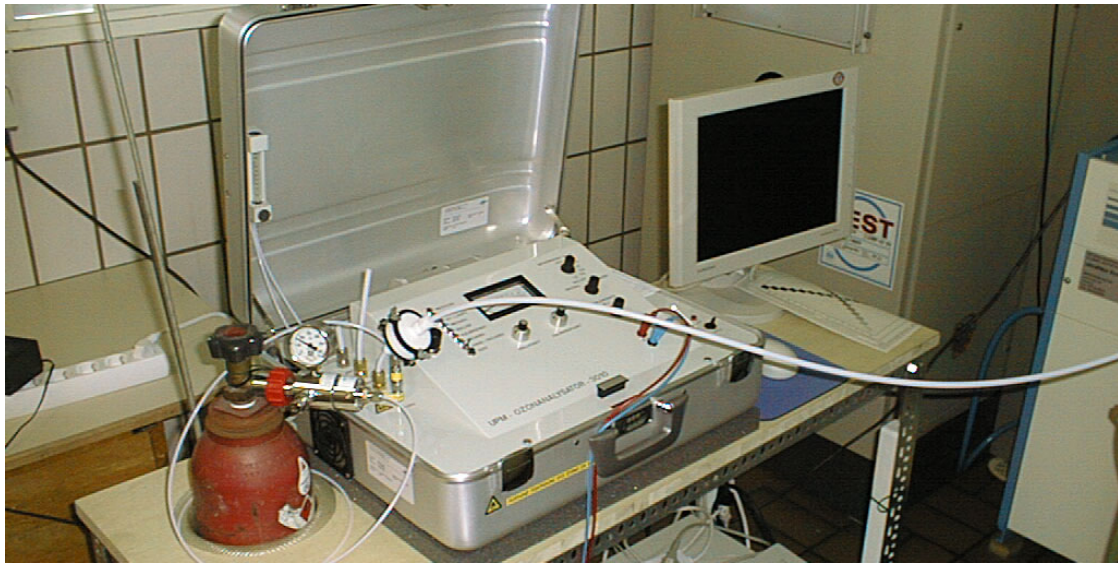


Abbildung 76: Ozonanalysator



Abbildung 77: Partikelzähler



Abbildung 78: Ultramikrowaage

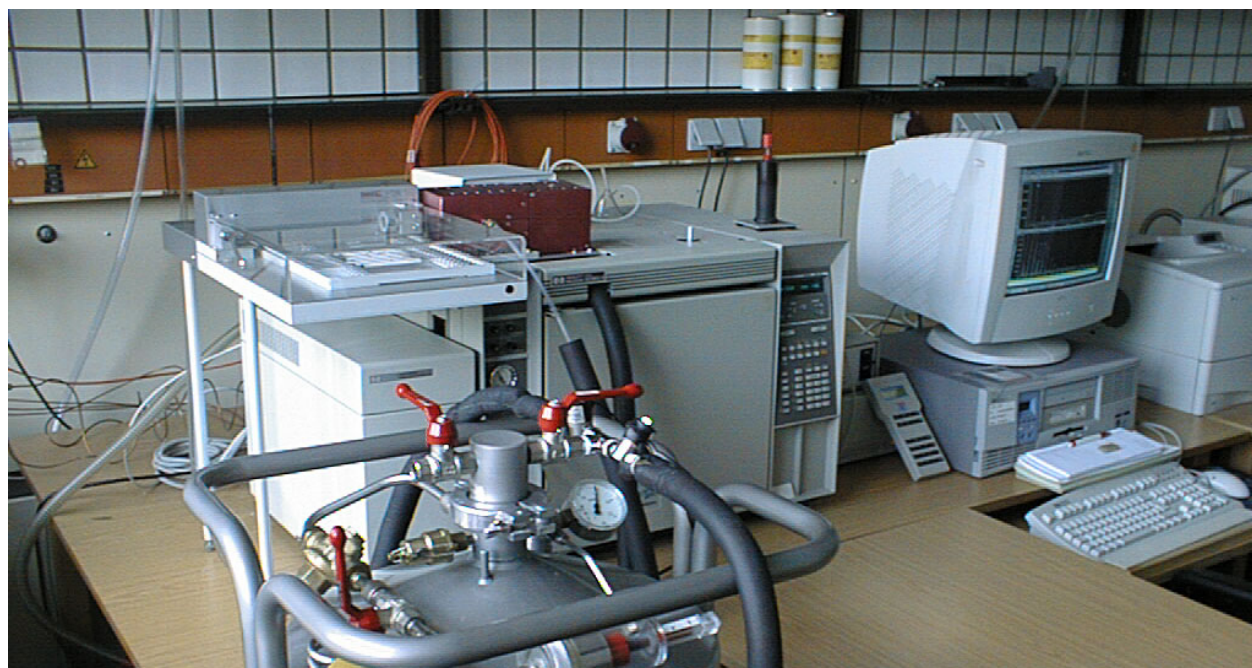


Abbildung 79: Gaschromatograph mit MS-Detektor

15.7 Vertreter des Expertenkreises

Zur fachlichen Begleitung des Projektes wurde ein projektbegleitender Arbeitskreis eingesetzt, der drei mal tagte. In den einzelnen Sitzungen wurden Zwischenergebnisse vorgestellt und diskutiert sowie Anregungen für den weiteren Projektverlauf gegeben.

Dem Expertenkreis, der in Abhängigkeit vom Themenschwerpunkt im engeren oder weiteren Kreis tagte, gehörten vorwiegend Vertreter von verschiedenen Forschungs- bzw. Prüfeinrichtungen, Geräteherstellern sowie des Umweltbundesamtes an. Die Mitarbeiter in diesem Expertenkreis werden nachfolgend aufgeführt.

Die Projektbegleitung hatte das Ziel, frühzeitig die Expertenmeinung und den Sachverstand in die Vergabegrundlage und das zugehörige Prüfverfahren einfließen zu lassen, da sinnvolle Ergebnisse und praktikable Anforderungen nur im Konsens mit den beteiligten Kreisen erreicht werden können. Die genannten Aktivitäten bildeten eine Basis für das offizielle RAL - Anhörungsverfahren für die überarbeiteten Umweltzeichen RAL - UZ 62 und RAL - UZ 85 bzw. das neue Umweltzeichen UZ 114, nahmen das RAL - Verfahren aber nicht vorweg.

Allen Beteiligten wird auch an dieser Stelle nochmals der Dank für die konstruktive und hilfreiche Mitarbeit ausgesprochen.

Tabelle 31: Vertreter des Expertenkreises des ersten Treffens am 18. Februar 2002

Fr. Böttcher - Tiedemann Umweltbundesamt (UBA)	Hr. Pesch Canon Deutschland GmbH
Hr. Bake UBA	Hr. Rockstroh BAM
Hr. Bazlen HEWLETT-PACKARD CO.	Hr. Schneider BAM
Hr. Heimann Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeits- schutz (BIA)	Hr. Ullrich UBA
Fr. Jacobs Umweltbundesamt (UBA), Berlin	Hr. van Heiningen Oce - Technologies
Hr. Jann BAM	Hr. Wensing TÜV Nord mbH
Hr. Jungnickel (LGA)	Hr. Wilke BAM
Hr. Lengnink Ricoh Deutschland GmbH	Hr. Zietlow Sony International (Europe) GmbH
Hr. Noske BAM	

Tabelle 32: Vertreter des Expertenkreises des zweiten Treffens am 17. Juli 2002

Hr. Bazlen Hewlett-Packard Co.	Hr. Lengnink Ricoh Deutschland GmbH
Hr. Bake UBA	Hr. Noske BAM
Fr. Brödner BAM	Hr. Pesch Canon Deutschland GmbH
Hr. Englert UBA	Hr. Rockstroh BAM
Hr. Georg BIA	Hr. Seibel RW TÜV
Hr. Govers Oce	Hr. Schneider BAM
Hr. Heimann BIA	Hr. van Heiningen Oce - Technologies
Hr. Herb Kyocera - Mita	Hr. Wensing TÜV Nord mbH
Hr. Hofacker Sharp	Fr. Wiedebusch UBA
Hr. Horn BAM	Hr. Wild Xerox Deutschland GmbH
Fr. Jacobs UBA	Hr. Wilke BAM
Hr. Jann BAM	Hr. Zietlow Sony International (Europe) GmbH
Hr. Jungnickel LGA	

Tabelle 33: Vertreter des Expertenkreises des dritten Treffens am 31. Januar 2003

Fr. Böttcher - Tiedemann UBA	Hr. Noske BAM
Hr. Bake UBA	Hr. Rockstroh BAM
Fr. Brödner BAM	Hr. Schneider BAM
Hr. Horn BAM	Hr. Ullrich UBA
Fr. Jacobs UBA	Hr. van Heiningen Oce - Technologies
Hr. Jann BAM	Hr. von der Heyden BIA
Hr. Jungnickel LGA	Hr. Wensing WKI Braunschweig
Hr. Kleine BIA	Hr. Wilke BAM
Fr. Kubina LGA	



Juni 2003

Prüfverfahren

für die Bestimmung von

Emissionen aus Hardcopygeräten

im Rahmen der Umweltzeichenvergabe für Bürogeräte nach

RAL-UZ 62, RAL-UZ 85 und RAL-UZ 114

Inhalt

	Seite
Vorwort	134
1 Definitionen	135
2 Messgeräte	136
3 Prüfobjekte	137
3.1 Auswahl.....	137
3.2 Vorbereitung des Prüfobjektes	137
3.3 Verbrauchsmaterialien.....	137
4 Messungen in Emissionsprüfkammern	138
4.1 Klima, Druckerkalibrierung, Druckerkontrolle.....	141
4.2 VOC.....	142
4.3 Ozon.....	144
4.4 Staub	145
5 Auswertung und Prüfbericht	147
6 Prüfinstitute.....	148
7 Literatur	149
8 Erläuterungen und Beispiele	150
8.1 Ablaufplan für die Prüfung	150
8.2 Messaufbau für Prüfgeräte	151
8.3 Vorlage zur Linearisierung der Graustufen	152
8.4 Druckvorlage 5% Flächendeckung, schwarz.....	153
8.5 Beispiele für die Klimamessung in unbeladenen Prüfkammern	154
8.6 Klimakurven während der Prüfung	155
8.7 Beispiel für ein erprobtes VOC-Messverfahren	156
8.8 Stromverbrauch des Prüfobjektes	157
8.9 Ozonkonzentration während des Druckens	158

Vorwort

Das vorliegende Prüfverfahren ist zur Umsetzung neuer Anforderungen der Vergabegrundlagen RAL-UZ 62, RAL-UZ 85 und RAL-UZ 114 bezüglich des Emissionsverhaltens (VOC, Ozon und Staub) von Hardcopygeräten (Drucker, Kopierer und Multifunktionsgeräte) entwickelt worden. Es basiert insbesondere auf dem von der ECMA (European Computer Manufacturers Association) erarbeiteten Standard ECMA 328 und den internationalen Normen DIN V ENV 13419-1 für die Emissionsmesskammern und DIN ISO 16000-6 für die VOC-Analytik.

Die Kenntnis und Beachtung dieser Standards ist für die Anwendung des Prüfverfahrens eine unbedingte Voraussetzung.

Ziel des Prüfverfahrens ist die zuverlässige Ermittlung von Emissionsraten innerhalb einer kurzen zur Verfügung stehenden Druckzeit von in der Regel deutlich unterhalb einer Stunde mittels eines dynamischen Prüfkammerverfahrens, das heißt unter einer definierten Luftaustauschrate. Verschiedene Präzisierungen zu den oben genannten Standards waren notwendig, um zu einem praktikablen Prüfverfahren zu gelangen.

Da die Gerätematerialien selbst auch eine gewisse VOC-Emission aufweisen können, die allerdings im Laufe der Zeit abnimmt, ist im Prüfverfahren auch die Bestimmung der VOC-Emissionsraten in einer Bereitschaftsphase gefordert.

Die ermittelten Emissionsraten sind als systemspezifische Emissionsraten zu verstehen, da Drucker, Kopierer oder Multifunktionsgerät nur in Verbindung mit den eingesetzten Verbrauchsmaterialien (insbesondere Toner, aber u.U. auch Papier) ihr spezifisches Emissionsverhalten aufweisen.

Die ermittelten Emissionsraten dürfen die in den Umweltzeichen - Vergabegrundlagen aufgeführten zulässigen Emissionsraten nicht überschreiten. Sie können weiterhin dazu dienen, insbesondere für VOC, die resultierenden Konzentrationen in Modellräumen oder Realräumen abzuschätzen.

Hierbei wird in der Regel davon auszugehen sein, dass die Geräte nicht ununterbrochen drucken, wofür sie auch nicht ausgelegt sind, sondern etwa ein Zehntel eines Arbeitstages im Druckbetrieb sind. Die so modellhaft berechenbaren Raumluftkonzentrationen sind in der Realität stark von Adsorptionseffekten an Oberflächen in den Räumen beeinflusst, so dass die in der Realität zu erwartenden Maximalkonzentrationen eher geringer sein werden als die berechneten.

Die Erarbeitung des Prüfverfahrens erfolgte im Rahmen eines vom Umweltbundesamt geförderten Forschungsvorhabens (Förderkennzeichen 201 95 311/02) bei der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) mit fachlicher Unterstützung von Prüfinstituten, Herstellern, UBA und Verbänden. Eine ausführliche Darstellung ist dem in der Reihe UBA-Texte zu veröffentlichenden Abschlussbericht zu entnehmen.

1. Definitionen

Bereitschaftsphase

Versuchsanordnung unter Normalklimabedingungen, bei der sich das Prüfobjekt in der Kammer befindet und soweit eingeschaltet und betriebsbereit ist, dass der Druck in kürzest möglicher Zeit beginnen kann. Die Bereitschaftsphase schließt direkt an die Konditionierungsphase ohne nochmaliges Öffnen der Kammer an.

Druckphase

Prüfung des Prüfobjektes im Druckbetrieb unter Klimakontrolle im direkten Anschluss an die Bereitschaftsphase ohne Öffnen der Kammer.

Emissionsprüfkammer

Abgeschlossenes Behältnis mit Ein- und Auslass sowie regelbaren Betriebsparametern zur Bestimmung der Emissionen (VOC, Ozon, Staub) von Druck- und Kopiergeräten unter Luftdurchfluss.

Emissionsrate (produkt- bzw. systemspezifisch) SER_u [$\mu\text{gStück}^{-1}\text{h}^{-1}$]

Produktspezifische (bzw. systemspezifische, siehe Vorwort) Rate, welche die Masse des Analyten (VOC, Ozon, Staub) beschreibt, die vom Prüfobjekt pro Zeiteinheit zu einem bestimmten Zeitpunkt nach Beginn der Prüfung emittiert wird.

Flüchtige organische Verbindungen (VOC: Volatile Organic Compounds)

Generell: Organische Verbindungen, die von dem Prüfobjekt emittiert und in der Kammerluft nachgewiesen werden. Hier, im Sinne dieses Prüfverfahrens, die identifizierten und nicht identifizierten organischen Verbindungen, die bei gaschromatographischer Trennung auf einer unpolaren Säule zwischen n-Hexan und n-Hexadekan eluieren, einschließlich dieser Verbindungen.

Kammerbeladung

Einstellen eines Prüfobjektes in den Prüfraum.

Konditionierungsphase

Versuchsanordnung unter Normalklima, bei der sich das Prüfobjekt zur Konditionierung mit bereits eingelegten Papier in der Kammer befindet, der Netzschalter auf „ein“ geschaltet ist, aber der Netzstecker nicht an die Stromversorgung angeschlossen ist (Grund für diese Vorgehensweise ist, dass das Gerät aus diesem Status mit dem Stecken des Netzsteckers in die Bereitschaftsphase übergeht, ohne dass die Kammer geöffnet werden muss).

Luftaustauschrate n [h^{-1}]

Das Verhältnis des Reinluftvolumens, das stündlich in die Emissionsprüfkammer eingebracht wird, zum freien Volumen der unbeladenen Emissionsprüfkammer, das in identischen Einheiten zu bestimmen ist, ausgedrückt in Luftwechseln pro Stunde.

Luftdurchflussrate $V,^\circ$ [m^3h^{-1}]

Luftvolumenstrom, welcher der Emissionsprüfkammer pro Zeiteinheit zugeführt wird.

Luftströmungsgeschwindigkeit v [ms^{-1}]

Luftgeschwindigkeit über der Oberfläche des Prüfobjektes (Abstand zehn Millimeter).

Nachlaufphase

Versuchsanordnung unter Normalklimabedingungen, bei der sich das Prüfobjekt bei gleicher Luftaustauschrate wie in der Druckphase noch in der Kammer befindet, der Druckvorgang aber gerade abgeschlossen ist. Die Nachlaufphase schließt direkt an die Druckphase ohne Öffnen der Kammer an.

Normalklima

Standardklimabedingungen: 23 °C, 50 % relative Luftfeuchtigkeit nach ISO 554 [3].

Ozonhalbwertszeit

Zeit, die, ausgehend von einer Ozonankonzentration, vergeht, bis diese Konzentration auf die Hälfte gesunken ist.

Prüfobjekt

Zu untersuchendes Hardcopygerät.

Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC: Total Volatile Organic Compounds)

Die Summe der Konzentrationen der identifizierten und nicht identifizierten flüchtigen organischen Verbindungen, die bei gaschromatographischer Trennung auf einer unpolaren Säule zwischen n-Hexan und n-Hexadekan eluieren, einschließlich dieser Verbindungen.

2. Messgeräte

- Emissionsprüfkammer gemäß Abschnitt 4.
- Geräte für Klimamessung mit Aufzeichnungsmöglichkeit gemäß Abschnitt 4.1 a
- Colour-Mouse zur Erstellung der Druckvorlage mit 5 % Flächendeckung, schwarz, gemäß Abschnitt 4.1 b
- Strommessgerät gemäß Abschnitt 4.1 c
- Systeme, Adsorbentien für Luftprobenahme gemäß Abschnitt 4.2
- Kapillargaschromatograph mit Thermodesorptionseinheit, gekoppelt an ein Massenspektrometer mit Auswerteeinheit gemäß Abschnitt 4.2 und Abschnitt 8.7
- Ozonanalysator gemäß Abschnitt 4.3
- Staubbmessplatz gemäß Abschnitt 4.4

3. Prüfbjekte

3.1 Auswahl

Die Verantwortung für die Anlieferung der Prüfbjekte liegt beim Auftraggeber der Prüfung. In der Regel wird ein Gerät produktionsfrisch aus der laufenden Serie oder als Prototyp angeliefert. Der Inhalt der Lieferung wird vom Prüflabor kontrolliert und anschließend in der Originalverpackung klimatisiert (23 °C, 50 % rel. F.) gelagert. Die Messung sollte zeitnah, spätestens jedoch zehn Arbeitstage nach Anlieferung erfolgen.

3.2 Vorbereitung des Prüfbjektes

Die Funktionsfähigkeit und Eignung des Prüfbjektes wird nach Anlieferung kontrolliert. Die Ansteuerbarkeit der Geräte in der Prüfkammer ist durch Hersteller und Prüflabor gemeinsam zu realisieren (durch Fernsteuerung über Kabel, mechanische Auslöser oder Funk muss sich der Druckprozess von außerhalb der Messkammer auslösen lassen).

In Absprache mit dem Hersteller ist ein Druckmodus auszuwählen, der eine maximale Druckdauer ermöglicht. Dabei sind die Aufnahmekapazitäten der Papierkassetten und Papierausgabefächer zu berücksichtigen. Der Stromverbrauch in der Bereitschaftsphase und im Druckbetrieb wird festgestellt. Dazu und zur Bestimmung der maximalen Druckdauer erfolgt der Probeausdruck von Testseiten (5 % Flächendeckung, schwarz). Es ist darauf zu achten, dass die Papierablage geordnet erfolgt. Gegebenenfalls ist ein zusätzlicher Auffangbehälter aus inertem Material zu verwenden.

3.3 Verbrauchsmaterialien

Toner

Das für das jeweilige Gerät als Originalausstattung vom Hersteller gelieferte Tonermodul oder der entsprechende im Gerät befindliche Toner müssen im Typ mit dem in den Produktunterlagen ausgewiesenen übereinstimmen. Die genaue Bezeichnung des Toners ist dem Messinstitut mitzuteilen, so dass eine Wiederbeschaffung des gleichen Toners erfolgen kann.

Toner werden nach Angaben des Herstellers bis zur Prüfung eingelagert. (Nach Abstimmung mit dem Hersteller kann der Toner auch im Gerät verbleiben.) Es gelten bei der Lagerung die gleichen Bedingungen wie für das Prüfbjekt. Vom Toner bzw. Tonermodul ist ausreichend Material zur Verfügung zu stellen.

Papier

Für die Untersuchungen wird Papier eingesetzt, welches den Anforderungen der DIN EN 12281 (2003-01) [5] entspricht. Danach soll die Papierfeuchtigkeit zwischen 3,8 % und 5,6 % betragen. Wenn vom Hersteller empfohlenes Papier der Norm entspricht, kann auch dieses verwendet werden. Das Flächengewicht muss im Bereich von 70 Gramm bis 80 Gramm pro Quadratmeter liegen. Die Papierfeuchtigkeit kann in Anlehnung an die DIN EN 20287 (1994-09) [8] bestimmt werden.

Aus prüftechnischen Gründen sollte die Papierfeuchtigkeit 4 % nicht überschreiten. Höhere Papierfeuchtigkeit kann zur Kondensation beim Druckbetrieb in der Kammer führen und so den Einsatz größerer Kammern oder größerer Luftaustauschraten erforderlich machen.

4. Messung in der Emissionsprüfkammer

Emissionsprüfkammern und die an sie zu stellenden Anforderungen sind in [1], [2] und [6] beschrieben. Je nach Größe des zu untersuchenden Prüfobjektes ist eine Kammer mit einem passendem Volumen auszuwählen.

Ferner müssen sie ausreichend abdichtbare Durchführungen durch die Wand besitzen, um die Kabel für Stromversorgung und Sensorleitungen hindurchzuführen sowie die parallele Probenahme für VOC, Staub und Ozon zu ermöglichen. Die Prüfkammern haben den in [6] beschriebenen Anforderungen zu entsprechen. Dies bedeutet insbesondere:

- Reinstluftversorgung (VOC-, ozon- und staubarm)
- Reinstwasserversorgung
- Kammerwände aus Glas oder Edelstahl
- Weitgehender Verzicht auf Dichtungsmaterialien
- Effektive Luftdurchmischung

Folgende Prüfbedingungen sind in Analogie zu [6] einzuhalten:

- | | |
|---|-------------------------------------|
| • Temperatur | $23\text{ °C} \pm 2\text{ K}^{1)}$ |
| • Relative Luftfeuchtigkeit | $50\text{ \%} \pm 5\text{ \%}^{1)}$ |
| • Regelbare Luftaustauschrate | |
| Grosse Kammer ($V > 5\text{ m}^3$) | $(1 \leq n \leq 2) \pm 5\%$ |
| Kleine Kammer ($V \leq 5\text{ m}^3$) | $(1 \leq n \leq 5) \pm 5\%$ |
| • Luftströmungsgeschwindigkeit | $0,1 - 0,3\text{ ms}^{-1}$ |

- 1) Kurz nach der Kammerbeladung und während der Prüfung in der Druckphase werden sich diese Klimaanforderungen im Allgemeinen nicht aufrecht erhalten lassen.

Als Emissionsmesskammern haben sich nach [1] sowohl 1 m³-Kammern als auch große Kammern mit Volumina $> 5\text{ m}^3$ (z.B. 20 m³) bewährt. Kammern sind als geeignet anzusehen, wenn sie neben der Einhaltung obiger Bedingungen insbesondere ausreichend geringe Blindwerte für VOC, Ozon und Staub aufweisen und ausreichend große Ozonhalbwertszeiten gewährleisten.

Vor dem ersten Einsatz der Kammern sind diese auf die Einhaltung der Anforderungen zu überprüfen. Dabei sind folgende Kammerblindwerte bei einer Luftaustauschrate von $n=1\text{ h}^{-1}$ zu unterschreiten:

Einzelsubstanzen	$2\text{ }\mu\text{gm}^{-3}$
TVOC	$20\text{ }\mu\text{gm}^{-3}$
Ozon	$4\text{ }\mu\text{gm}^{-3}$
Staub	$10\text{ }\mu\text{gm}^{-3}$

Die Ozonhalbwertszeit der Kammer ist bei einer Luftaustauschrate von $n = 1 \text{ h}^{-1}$ zu überprüfen. Hierzu ist eine Konzentration von 0,1 bis 0,2 ppm in der Kammer vorzulegen. Beträgt die Ozonhalbwertszeit mindestens zehn Minuten, so ist die Prüfkammer geeignet für die Ozonbestimmung. Ist die Ozonhalbwertszeit kleiner als zehn Minuten, so ist die Kammer in geeigneter Weise zu reinigen, bis o. g. Zielwert erreicht wird. Bei anderen Luftaustauschraten als $n = 1 \text{ h}^{-1}$ treten auch abweichende Ozonhalbwertszeiten auf.

Die für die Messung benötigten Luftaustauschraten sind regelmäßig mittels eines unabhängigen Verfahrens, z.B. Tracergasverfahren nach DIN V ENV 717-1 (1998) [4], in unbeladenem Zustand zu überprüfen und zu dokumentieren.

Prüfablauf (gemäß 8.1, Ablaufplan)

In den Kammern ist für die Bestimmung der Blindwerte vor jeder Messung, für die Konditionierungsphase wie auch für die Prüfung in der Bereitschaftsphase eine Luftaustauschrate von $n = 1 \text{ h}^{-1}$ einzustellen. Die Drucker sind bereits ab Beginn der Konditionierungsphase mit ausreichend Toner und Papier zu versehen. Die Klimaaufzeichnung beginnt mit dem Start der Konditionierungsphase. Die VOC-Messungen beginnen mit dem Start der Bereitschaftsphase, eine Aufzeichnung der Ozonkonzentration kann erfolgen.

Nach Ende der Bereitschaftsphase bleibt in großen Kammern die Luftaustauschrate auf $n = 1 \text{ h}^{-1}$ eingestellt. In kleinen Kammern (1 m^3 bis 5 m^3) erfolgt eine Einstellung auf einen Wert von $n = 4 - 5 \text{ h}^{-1}$ (trockene Luft ($< 10 \% \text{ rel. F.}$)) um die auf Grund der Wasserabgabe des Papiers beim Drucken ansteigende relative Luftfeuchtigkeit unterhalb kritischer Werte zu halten.

Keinesfalls darf eine Kondensation von Wasser in der Kammer erfolgen, da dies zu einer unzulässigen Beeinflussung der Messergebnisse führt.

Mit Beginn der Druckphase sind die Probenahmen für VOC, Ozon und Staub zu starten. Diese sind bis zum Ende der nach Druckende beginnenden Nachlaufphase durchzuführen. Die Nachlaufphase läuft über einen Zeitraum von vier Luftwechseln (bei vierfachem Luftwechsel eine Stunde, bei einfachem Luftwechsel über vier Stunden). Alternativ oder begleitend ist bei kleinen Kammern eine VOC-Probenahme nur zum Ende der Druckmessung durchzuführen (siehe Abschnitt 4.2), sofern die Druckphase mindestens zehn Minuten dauert.

Für die Entscheidung der für das Gerät benötigten Kammergröße ist folgender Größenbereich heranzuziehen:

$$0,01 < \frac{V_P}{V_K} < 0,25 \quad (1)$$

V_P : Volumen des Prüfobjektes [m^3]
 V_K : Volumen der Prüfkammer [m^3]

Im Zweifelsfall ist eher die Entscheidung für eine kleinere Kammer zu treffen, da hier die sich einstellenden Konzentrationswerte größer sind und damit die Messunsicherheit verringert wird.

Im Gegensatz zu der früher häufig praktizierten Verfahrensweise darf während der Prüfung weder die Emissionsmesskammer geöffnet werden, noch dürfen sich Personen während der Prüfung in der Kammer aufhalten. Daher ist beim Auftreten von Störungen (z. B. Papierstau) die Prüfung zu wiederholen. Durch eine sorgfältige Vorbereitung der Prüfung sind derartige Störungen weitgehend auszuschließen.

Qualitätssichernde Maßnahmen

Qualitätssichernde Maßnahmen bei Anwendung des Prüfverfahrens sind eine unabdingbare Voraussetzung zur Ermittlung zuverlässiger Emissionsraten. Ein Überblick hierzu ist dem ECMA-Standard 328 [2, Abschnitt 9] zu entnehmen.

4.1 Klima, Druckerkalibrierung, Druckerkontrolle

a) Klima

Für den Prüfzyklus und die Auswertung der Messergebnisse ist die Aufzeichnung der Klimadaten über den gesamten Prüfablauf notwendig. Dazu wird ein Messsystem mit angeschlossenem Datenlogger benötigt. Nach Durchführung der Kalibrierung ist eine Messgenauigkeit von mindestens

Temperatur: $\pm 0,5 \text{ K}$
Relative Luftfeuchtigkeit : $\pm 3,0 \text{ \%}$ zu gewährleisten.

In 8.5 sind zwei Klimakurven der unbeladenen Kammern und zwei Klimakurven der Druckphase als Beispiel aufgeführt. Ein geeignetes Gerät mit Klimaaufzeichnungsmöglichkeit ist beispielsweise das kalibrierte Gerät Almemo 3290-8 mit Messfühler FH A 646-R der Firma Ahlborn.

b) Druckerkalibrierung

Zur Vorbereitung der Prüfung von Hardcopygeräten auf Emissionen ist die Erarbeitung einer Druckvorlage mit 5 % Flächendeckung, schwarz, notwendig. Diese Druckvorlage wird nach DIN 33870 (2001-01) [9] zur Durchführung von Ergiebigkeitstests von Tonermodulen erstellt. Dabei wird eine linearisierte Ausgabe von 16 gleichabständigen Graustufen des Prüfgerätes gemessen (siehe 8.3).

Die Vermessung, z.B. mit der Color Mouse CM2C (Savvy Systems Limited, USA) und anschließende Korrektur der Ausgangsdateien führt zur Erstellung einer entsprechenden Druckvorlage mit 5% Flächendeckung, schwarz (s. 8.4). Diese Datei ist für den Prüfvorgang auf einem Computer zu speichern.

Die für die Erstellung der Druckvorlage benötigten Informationen sind unter folgendem Internet-Link zu finden: <http://www.ps.bam.de/33870>.

c) Druckerkontrolle

Entsprechend den vom Hersteller vorgegebenen Fernsteuermöglichkeiten des Prüfgerätes ist die Steuerung und Kontrolle des Druckfortschrittes zu realisieren. Insbesondere in der Bereitschafts- und Druckphase gilt es, den Betriebszustand des Druckers zu dokumentieren. Das kann über die Kontrolle des vom Prüfgerät aufgenommenen Stromes erfolgen. Dies ist beispielsweise mittels Multimeter (z.B. Multimeter M 3850 M, Metex Corp., im Messbereich 20 A, mit Datenlogger zum elektronischen Erfassen der Messwerte) möglich.

Anhand des Stromverbrauchs sind der Druckbeginn und das Druckende zu erkennen. Auch Störungen im Betrieb werden sofort dokumentiert. In 8.8 ist exemplarisch ein Stromverbrauchsverlauf mit Zuordnung zu den Betriebszuständen abgebildet. Zusätzlich bietet sich, bei Einbindung in das Datennetz, eine heute schon zum Stand der Technik gehörende Abfrage der gedruckten Seitenzahl an.

4.2 VOC

Für VOC ist die Probenahme auf Tenax TA bei anschließender Thermodesorption nach [7] und Auswertung mittels GC / MSD durchzuführen. Die Probenahme ist mindestens zu folgenden Zeitpunkten vorzunehmen:

- Blindwert kurz vor Kammerbeladung
- zwanzig Minuten vor Ende der einstündigen Bereitschaftsphase (für zwanzig Minuten mit etwa 100 mlmin^{-1})
- Von Beginn der Druckphase durchgehend bis zum Ende der Nachlaufphase als Doppelbestimmung und / oder
- sechs Minuten vor Ende der zehn- bis dreißigminütigen Druckphase (für fünf Minuten mit etwa 100 mlmin^{-1} als Doppelbestimmung (eine Minute Pufferzeit wegen nicht definierter Druckdauer)

Anmerkung zu b):

Falls aus gerätetechnischen Gründen die maximal realisierbare Dauer für die Bereitschaftsphase kürzer als eine Stunde sein sollte, muss hierauf im Prüfbericht hingewiesen werden. In diesem Fall ist der Messwert zum Ende der Bereitschaftsphase zu ermitteln und unter Angabe des Probenahmezeitraumes im Prüfbericht aufzuführen.

Es sind möglichst alle Substanzen zu identifizieren und über die aus der Kalibrierung ermittelten relativen Responsefaktoren zum internen Standard individuell zu quantifizieren. Für jeden Messzeitpunkt ist die Summe aus allen identifizierten und mit $\geq 2 \mu\text{gm}^{-3}$ quantifizierten Werten zu bilden, deren Retentionszeiten zwischen n-Hexan und n-Hexadekan liegen. Wenn Substanzen nicht identifizierbar sind oder die relativen Responsefaktoren nicht ermittelt werden können, ist die Quantifizierung unter Annahme des Responsefaktors von deuteriertem Toluol durchzuführen.

Zur Angabe des TVOC-Wertes ist die Summe der Konzentrationswerte aus allen identifizierten und nicht identifizierten mit $\geq 2 \mu\text{gm}^{-3}$ quantifizierten Substanzen zu bilden, deren Retentionszeiten zwischen n-Hexan und n-Hexadekan liegen. Ergänzend hierzu ist wie in [7] beschrieben, der TVOC-Wert unter Zugrundelegung des Responsefaktors von Toluol zu ermitteln.

Berechnung der Emissionsrate während der Bereitschaftsphase

Die Berechnung der Emissionsrate während der Bereitschaftsphase erfolgt mit der Konzentration aus der Probenahme der letzten zwanzig Minuten der einstündigen Phase nach nachstehender Gleichung:

$$SER_{u_B} = c_B * n_B * V \quad (2) \quad c_B = \frac{m_{VOC_B}}{V_P} \quad (3)$$

- c_B : VOC-Konzentration [μgm^{-3}] während der Bereitschaftsphase
 SER_{u_B} : VOC-Emissionsrate [μgh^{-1}] während der Bereitschaftsphase
 m_{VOC_B} : analysierte Masse [μg] des (der) VOC während der Bereitschaftsphase
 n_B : Luftwechsel [h^{-1}] während der Bereitschaftsphase
 V : Prüfkammervolumen [m^3]
 V_P : Probenahmenvolumen [m^3] während der Bereitschaftsphase

Berechnung der Emissionsrate während der Druckphase

Die Berechnung der Emissionsrate während der Druckphase kann auf zwei Arten vorgenommen werden. Diese sind abhängig von den Probenahmezeitpunkten:

- a) Aus der Probenahme von Beginn der Druckphase durchgehend bis zum Ende der Nachlaufphase erfolgt die Berechnung durch folgende Gleichung:

$$SER_{u_{DN}} = \frac{m_{VOC_{DN}} * n_{DN} * V * t_G}{t_D * V_P} \quad (4)$$

- $SER_{u_{DN}}$: VOC-Emissionsrate [$\mu\text{g h}^{-1}$] ermittelt aus Druck- und Nachlaufphase
 $m_{VOC_{DN}}$: analysierte Masse [μg] des (der) VOC während der Druck- und Nachlaufphase
 n_{DN} : Luftwechsel [h^{-1}] während der Druck- und Nachlaufphase
 t_D : reine Druck- bzw. Kopierzeit [min]
 t_G : Gesamtprobenahmezeit [min]
 V : Prüfkammervolumen [m^3]
 V_P : Probenahmevolumen [m^3] während der Druck- und Nachlaufphase

- b) Aus der Probenahme sechs Minuten vor Ende der Druckphase erfolgt die Berechnung durch die nachfolgende Gleichung, welche allerdings nur für kleine Kammern bei hohem Luftwechsel und mindestens zehn Minuten Druckdauer anwendbar ist:

$$SER_{u_D} = \frac{c_D * V * n_D}{1 - e^{-n_D * t}} \quad (5)$$

- c_D : VOC-Konzentration [$\mu\text{g m}^{-3}$] während der Druckphase
 SER_{u_D} : VOC-Emissionsrate [$\mu\text{g h}^{-1}$] ermittelt aus der Druckphase
 n_D : Luftwechsel [h^{-1}] während der Druckphase
 V : Prüfkammervolumen [m^3]
 t : mittlerer Zeitpunkt der Probenahme [h], berechnet vom Druckbeginn an (Bsp.: Probenahmezeitraum 5. Minute (t_1) bis 10. Minute (t_2);
 $t = 0,5 * (t_1 + t_2) = 0,125 \text{ h}$ (7,5 Minuten))

Das in 8.7 beschriebene Probenahme- und Analysenverfahren ist für ein breites Spektrum emittierbarer Verbindungen geeignet. Eine Zusammenstellung von Verbindungen, die bei Emissionsmessungen von Druck- und Kopiergeräten auftreten können, ist ebenfalls 8.7 zu entnehmen.

4.3 Ozon

Grundlage des Messverfahrens ist die flammenlose Reaktion von Ozon mit Ethylen. Die dabei auftretende Chemilumineszenz wird photometrisch erfasst. Die Prüfung der Ozonemission von Druckern und Kopierern ist wie folgt durchzuführen:

- a) Bestimmung des Blindwertes
- b) Bestimmung der Ozonkonzentration in der Bereitschaftsphase. Hier kann bereits eine Aufzeichnung der Ozonkonzentration erfolgen.
- c) Ozonbestimmung beim Drucken / Kopieren:

Die Ozonbestimmung erfolgt sofort mit Beginn des Druckjobs und wird bis zur Beendigung der Nachlaufphase fortgeführt. Die Konzentrationsaufzeichnung sollte mindestens alle 30 Sekunden, besser alle 15 Sekunden erfolgen. Sofern ein geeigneter Konzentrationsbereich ausgewählt wurde, ist der Ozonkonzentrationsverlauf permanent mit elektronischen Datenloggern aufzuzeichnen.

Die Ozonhalbwertszeit wird aus der Abklingkurve in der Nachlaufphase bestimmt. Zu dieser Zeit herrschen in erster Näherung noch die Bedingungen vor, wie sie beim Druckjob vorliegen. Die Berechnung der Ozonemissionsrate erfolgt nach nachstehenden Gleichungen:

$$SER_u = \frac{c_{\max} * k' * V * p}{T * R} \quad (6) \quad k' = \frac{\ln 2}{H'} \quad (7)$$

- SER_u : Emissionsrate Ozon [μg oder mg Zeiteinheit $^{-1}$]
 c_{\max} : Betrag der maximalen Ozonkonzentration [$\mu\text{g m}^{-3}$]
 k' : Proportionalitätsfaktor [min^{-1}]
 H' : Ozonhalbwertszeit unter Prüfbedingungen [min]
 V : Prüfkammervolumen [m^3]
 p : Luftdruck [Pa]
 T : absolute Temperatur [K]
 R : Gaskonstante [Pa K^{-1}], (für Ozon 339,8 [Pa K^{-1}])

Bei sehr kleinen Ozonemissionsraten ist die Bestimmung der Ozonhalbwertszeit unter Prüfbedingungen schwierig. Um dennoch eine Auswertung zu ermöglichen, können nach dem Druckjob und der Nachlaufphase Ozon in die Kammer injiziert und die Ozonhalbwertszeit bestimmt werden. Dabei bleibt die Kammer beladen. Das bedruckte Papier verbleibt ebenfalls im Prüfraum. Die Klimabedingungen, insbesondere der Luftwechsel wird wie bei der Druck-Prüfung belassen. In erster Näherung kann unter diesen Bedingungen eine verwendbare Ozonhalbwertszeit ermittelt werden. Die Berechnung erfolgt dann nach obiger Gleichung.

Beispiel für ein Ozonmessgerät

Ozonanalysator Modell 3010 (Hersteller UPM, Umwelt Pollution-Messtechnik). Mit diesem Gerät wird die Ozonkonzentration kontinuierlich bestimmt.

4.4 Staub

Zur Ermittlung der Staubemissionsrate ist die gravimetrische Methode anzuwenden.

Probenahme

Die Luftprobenahme erfolgt über eine definierte Zeitspanne (Druck- und Nachlaufphase). Die während dieser Zeitspanne der Prüfkammer entnommene Luft wird mittels einer Pumpe durch einen Glasfaserfilter gezogen. Das durch den Filter gesaugte Luftvolumen [m^3] wird gemessen. Durch Differenzwägung des Filters erhält man die absolute Staubauswaage in μg . Aus beiden Werten lässt sich die Staubkonzentration in der Prüfkammer [$\mu\text{g m}^{-3}$] und daraus die spezifische Emissionsrate [$\mu\text{g h}^{-1}$] berechnen.

Standardbedingungen der gravimetrischen Staubmessung

Staubfilter:	Glasfaserfilter mit Halterung
Probenahmeort:	mittig an der Kammerwand
Probenahme- volumenstrom:	bis maximal 90 % der Luftdurchflussrate in der Kammer während der Probenahmephase
Probenahmezeit:	gesamte Druck- und Nachlaufzeit

Durchführung der gravimetrischen Staubmessung - Klimakorrektur

Die zur gravimetrischen Staubmessung eingesetzten Glasfaserfilter (Messfilter) müssen vor der Messung in einem klimatisierten Raum (Wägeraum) gelagert und im dort herrschenden Klima bis zur Massekonstanz konditioniert werden. Da sich auch geringste unvermeidbare Schwankungen der relativen Luftfeuchtigkeit im Wägeraum auf die Masse der Glasfaserfilter auswirken, wird mindestens ein unbelasteter Glasfaserfilter (Referenzfilter) zur gleichen Zeit wie die Messfilter vor der Staubprobenahme (tara) gewogen, um den Einfluss des Klimas auf die Filtermasse durch eine Klimakorrektur zu minimieren.

Klimabedingungen im Wägeraum:

Temperatur:	$23^\circ\text{C} \pm 2 \text{ K}$
relative Luftfeuchtigkeit:	$50 \% \pm 5 \%$

Während der Staubprobenahme an der Klimakammer wird Luft durch den Messfilter gesaugt. Da die relative Luftfeuchtigkeit dieser Luft von der im Wägeraum abweichen kann, muss der Messfilter nach der Staubprobenahme wieder bis zur Massekonstanz im Wägeraum konditionieren.

Der Referenzfilter wird die ganze Zeit im Wägeraum belassen und bei der Wägung der Staubauswaage (Bruttowägung) des Messfilters wieder gewogen. Die beim Referenzfilter ermittelte Massedifferenz zwischen der ersten und der zweiten Wägung ist auf Klimaveränderungen zurückzuführen und wird von der ermittelten Bruttomasse des Messfilters subtrahiert bzw. addiert.

Ermittlung der absoluten Staubausswaage des Messfilters (Klimakorrektur)

$$m_{St} = (m_{MF_{brutto}} - m_{MF_{tara}}) + (m_{RF_1} - m_{RF_2}) \quad (8)$$

- m_{St} : ausgewogene Staubmasse (klimakorrigiert) [µg]
 $m_{MF_{brutto}}$: Masse des konditionierten Messfilters nach der Staubprobenahme [µg]
 $m_{MF_{tara}}$: Masse des konditionierten Messfilters vor der Staubprobenahme [µg]
 m_{RF_1} : Masse des konditionierten Referenzfilters zeitgleich mit Messfilter gewogen vor der Staubprobenahme [µg]
 m_{RF_2} : Masse des konditionierten Referenzfilters zeitgleich mit Messfilter gewogen nach der Staubprobenahme [µg]

Berechnung der Staubkonzentration und -emissionsrate

$$SER_{u_{St}} = \frac{m_{St} * n_{DN} * V * t_G}{V_P * t_D} \quad (9)$$

$$c_{St} = \frac{m_{St}}{V_P} \quad (10)$$

- c_{St} : Staubkonzentration in der Prüfkammer [µgm⁻³]
 $SER_{u_{St}}$: Staubemissionsrate [µgh⁻¹]
 m_{St} : ausgewogene Staubmasse (klimakorrigiert) [µg]
 n_{DN} : Luftwechsel [h⁻¹] während der Druck- und Nachlaufphase
 t_D : reine Druck- bzw. Kopierzeit [min]
 t_G : Gesamtprobenahmezeit [min]
 V : Prüfkammervolumen [m³]
 V_P : Volumen der durch den Glasfaserfilter gesaugten Luft [m³]

Beispiel für ein gravimetrisches Staubmessverfahren

Ultramikrowaage	Typ UMX2/M
Pumpe	Fa. Müller GSA 50
Gasdurchflussmesser	Fa. Schlumberger REMUS 4 G 1,6
Glasfaserfilter	Fa. Schleicher & Schuell, Durchmesser 50 mm

5. Auswertung und Prüfbericht

Im Prüfbericht ist die vollständige Prüfung sowie die vollständige Auswertung für das Prüfobjekt zu dokumentieren.

Hierbei sind insbesondere folgende Angaben aufzunehmen:

- Hersteller,
- Genaue Produktbezeichnung, Geräte-Nummer, genaue Tonerbezeichnung und Bezeichnung des verwendeten Papiers
- Produktionsdatum,
- Eingangsdatum,
- Art der Verpackung,
- Lagerung bis zur Messung,
- Untersuchungsdatum/-zeitraum,
- Kalibrierung des Gerätes,
- Untersuchungsbedingungen (Typ und Größe der Kammer, Temperatur, Luftdruck, relative Luftfeuchtigkeit, Luftwechsel bzw. Luftvolumenstrom),
- Dauer des Druckjobs,
- Anzahl der bedruckten Blätter,
- Zeitpunkt und Dauer der Luftprobenahme, Volumen und Volumenstrom der Luftprobenahme für VOC, Ozon, Staub,
- Name, CAS-Nr. und Konzentration der identifizierten VOC, sowie Konzentration der nicht identifizierten VOC von Bereitschaftsphase und Druckphase sowie berechnete Emissionsraten. Benzol und Styrol sind in jedem Fall auch gesondert aufzuführen,
- Angabe des TVOC-Wertes als Summe der individuell quantifizierten und nicht identifizierten Verbindungen (relevanter Wert für Vergabegrundlage), sowie ergänzend unter Berechnung mit dem Responsefaktor von Toluol,
- Ozonhalbwertszeit der leeren Kammer und aus Nachlaufphase,
- Ozonkonzentration und berechnete Ozonemissionsrate im Druckbetrieb,
- Gravimetrisch bestimmte Staubmasse und daraus ermittelte Staubemissionsrate,
- Angabe der Nachweis- und Bestimmungsgrenzen für VOC-, Ozon- und Staubemissionsraten
- Störungen und Abweichungen vom Prüfalgorithmus,
- Zusammenfassung der Ergebnisse durch das Prüfinstitut in Hinblick auf die Umweltzeichenkriterien (ggf. Hinweis, dass ermittelte Emissionscharakteristik nur in Verbindung mit dem untersuchten Tonertyp gilt)

6. Prüfinstitute

Die Emissionsprüfung darf nur von geeigneten Instituten durchgeführt werden.

Prüfinstitute sind als geeignet anzusehen, wenn sie über die notwendigen apparativen Einrichtungen und ein Qualitätsmanagementsystem verfügen (bzw. für den Bereich dieser Prüfungen akkreditiert sind) und über die erfolgreiche Teilnahme an einschlägigen Rundversuchen oder Vergleichsmessungen ihre Befähigung zur Durchführung dieser Prüfungen nachgewiesen haben. Gleiches gilt für Prüflaboratorien der Hersteller.

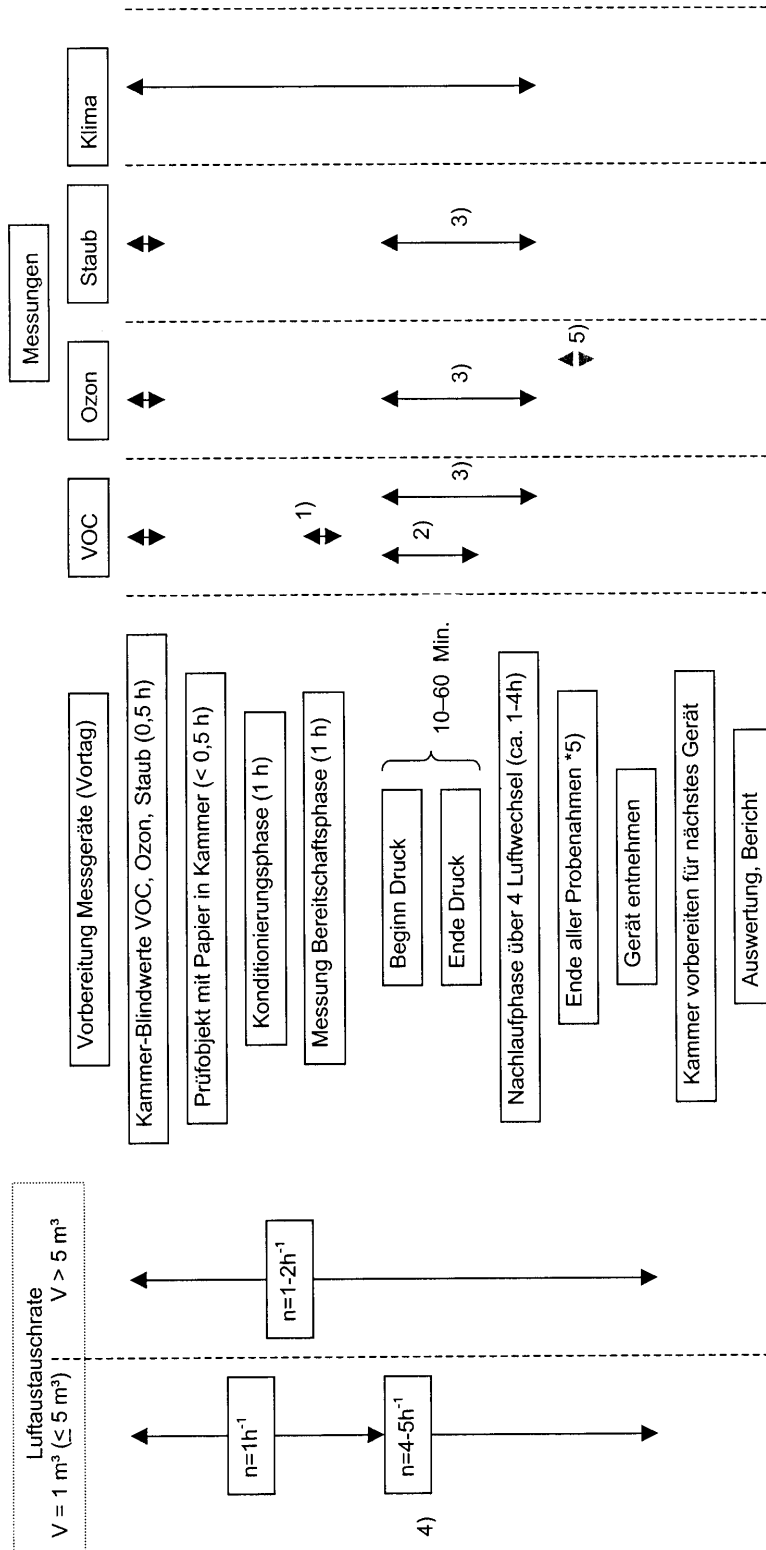
Der Nachweis über die Einhaltung dieser Anforderungen kann gegenüber der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Fachgruppe „Umweltrelevante Material- und Produkteigenschaften / Emissionen aus Materialien“, erbracht werden. Bei vorliegender Eignung wird diese schriftlich bestätigt.

7. Literatur

- [1] Entwicklung einer Prüfmethode und Untersuchungen zur Begrenzung von Emissionen aus Druckern und Kopiergeräten im Rahmen der Umweltzeichenvergabe. UBA-Projekt-Nr. 201 311/02, Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Abschlußbericht (im Druck), Berlin 2003
- [2] ECMA-Standard 328, Detection and measurement of chemical emissions from electronic equipment, August 2001 (www.ecma-international.org)
- [3] ISO 554, Ausgabe: 1976-07 Normalklimate für die Konditionierung und / oder Prüfung; Anforderungen
- [4] DIN V ENV 717-1, (Vornorm) Ausgabe:1999-02 Holzwerkstoffe - Bestimmung der Formaldehydabgabe - Teil 1: Formaldehydabgabe nach der Prüfkammer-Methode; Deutsche Fassung ENV 717-1: 1998
- [5] DIN EN 12281, Ausgabe: 2003-01 Druck- und Büropapier - Anforderungen an Kopierpapier für Vervielfältigungen mit Trockentoner; Deutsche Fassung EN 12281: 2002
- [6] DIN V ENV 13419-1, (Vornorm) Ausgabe: 1999-10 Bauprodukte - Bestimmung der Emission von flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) - Teil 1: Emissionsprüfkammer-Verfahren; Deutsche Fassung ENV 13419-1: 1999
- [7] DIN ISO 16000-6: Innenraumluftverunreinigungen. Teil 6: Bestimmung von VOC in der Innenraumluft und in Prüfkammern. Probenahme auf TENAX TA, thermische Desorption und Gaschromatographie/MSD bzw. FID (ISO/DIS 16000-6:2002). Entwurf September 2002
- [8] DIN EN 20287, Ausgabe: 1994-09 Papier und Pappe - Bestimmung des Feuchtegehaltes - Wärmeschränkverfahren (ISO 287:1985); Deutsche Fassung EN 20287: 1994
- [9] DIN 33870, Ausgabe: 2001-01 Informationstechnik - Büro- und Datentechnik - Anforderungen und Prüfungen für die Aufbereitung von gebrauchten Tonermodulen schwarz für elektrophotographische Drucker, Kopierer und Fernkopierer
- [10] O. Jann, O. Wilke, R. Noske, D. Brödner, U. Schneider, J. Rockstroh, W. Horn: Investigations of VOC-, ozone- and dust-emissions from printers in test chambers. Healthy Buildings 2003, Singapur, 07. – 11. Dezember 2003, zur Veröffentlichung eingereicht.

8. Erläuterungen und Beispiele

8.1 Ablaufplan für die Prüfung



1) Probenahme über letzte 20 Minuten (100 ml / Min.)

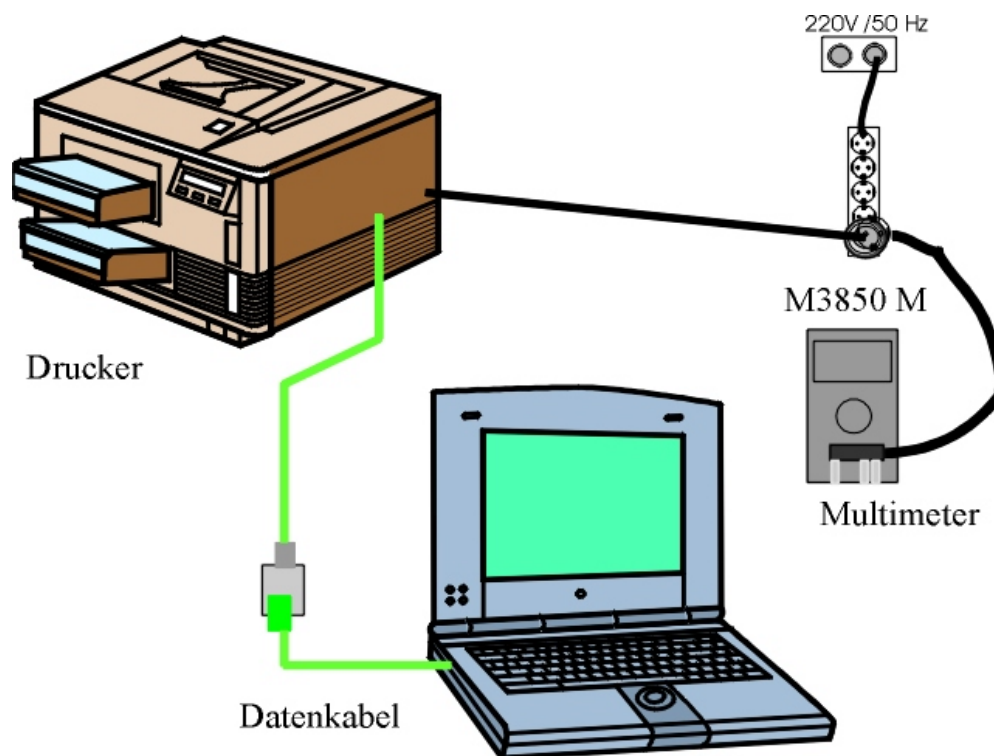
2) Probenahme über letzte 5 Minuten (100 ml / Min.)

3) Durchgehende Probenahme

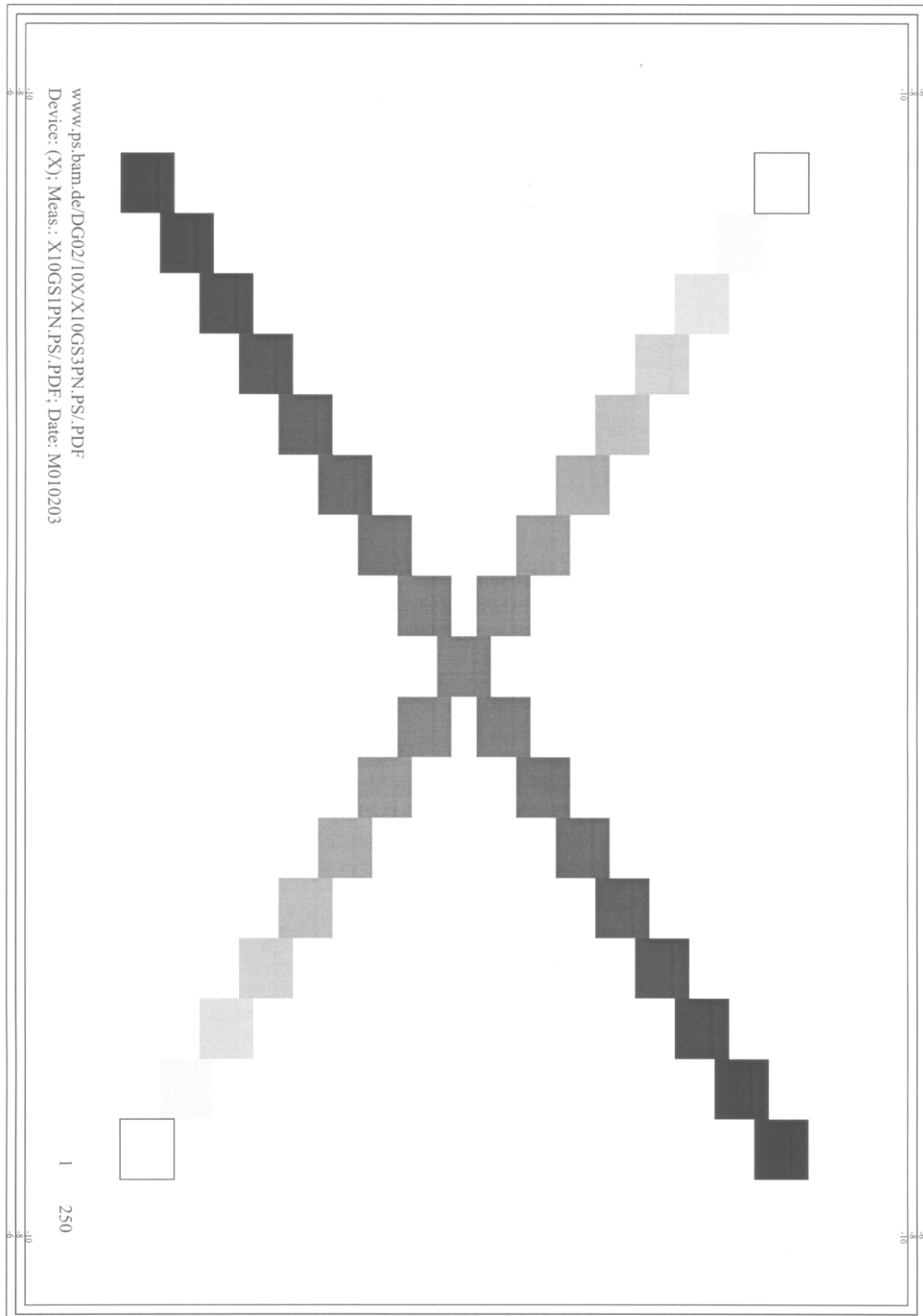
4) Trockener Zuluftstrom (< 10 % r.F.), Luftaustauschrate muss bekannt und konstant sein

5) evt. gesonderte Bestimmung der Ozon-Halbwertszeit falls nicht aus Konz.-Abfall nach Druckende ermittelbar, ca. 1 h

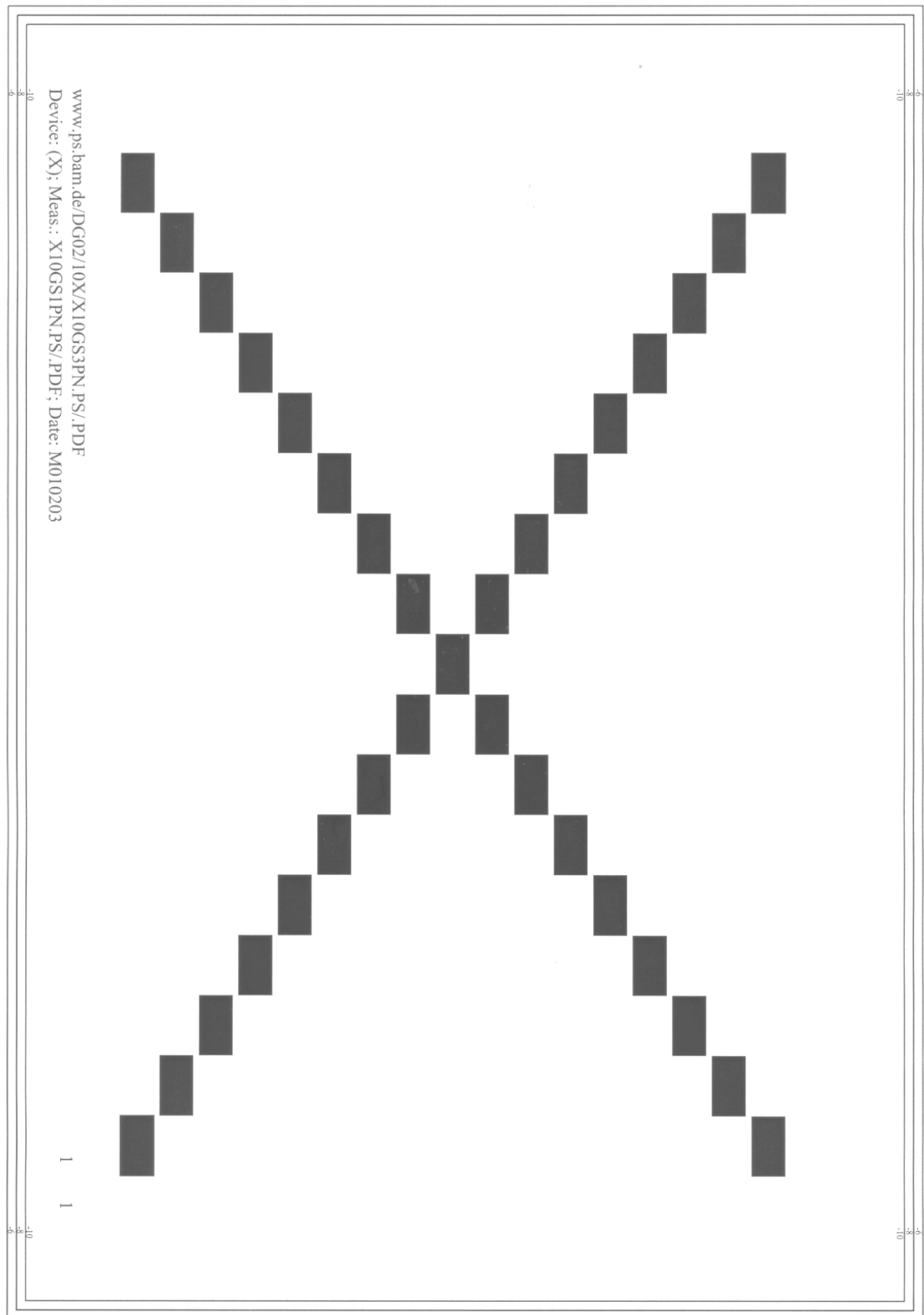
8.2. Messaufbau für Prüfgeräte



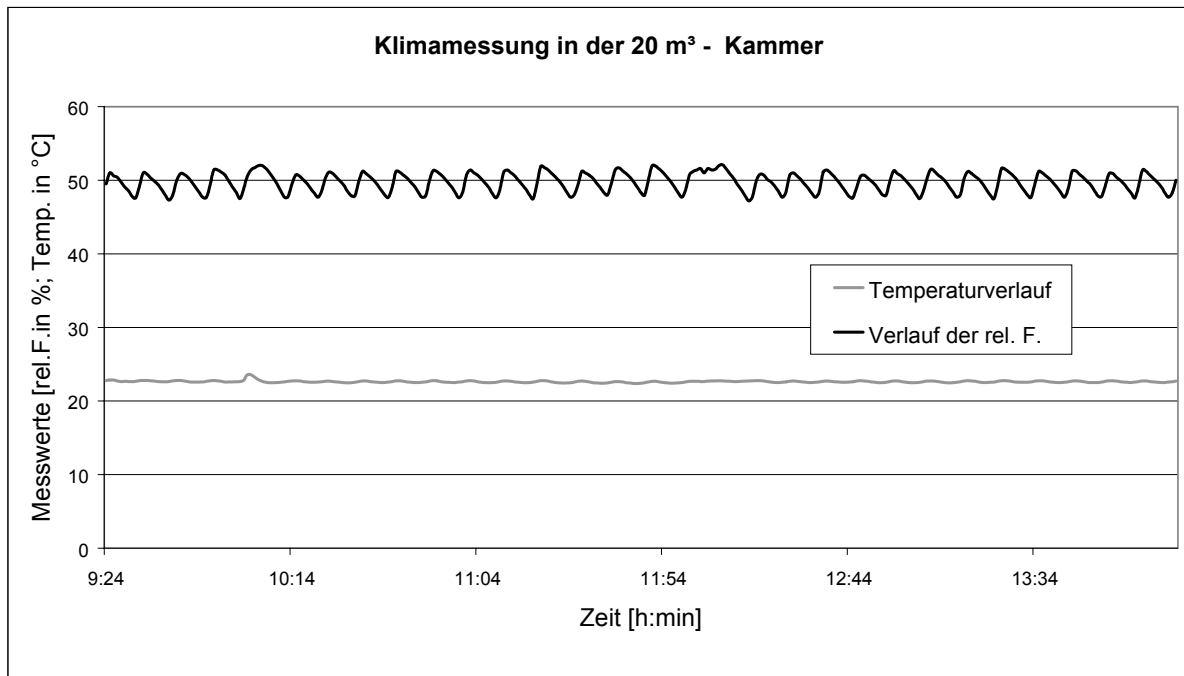
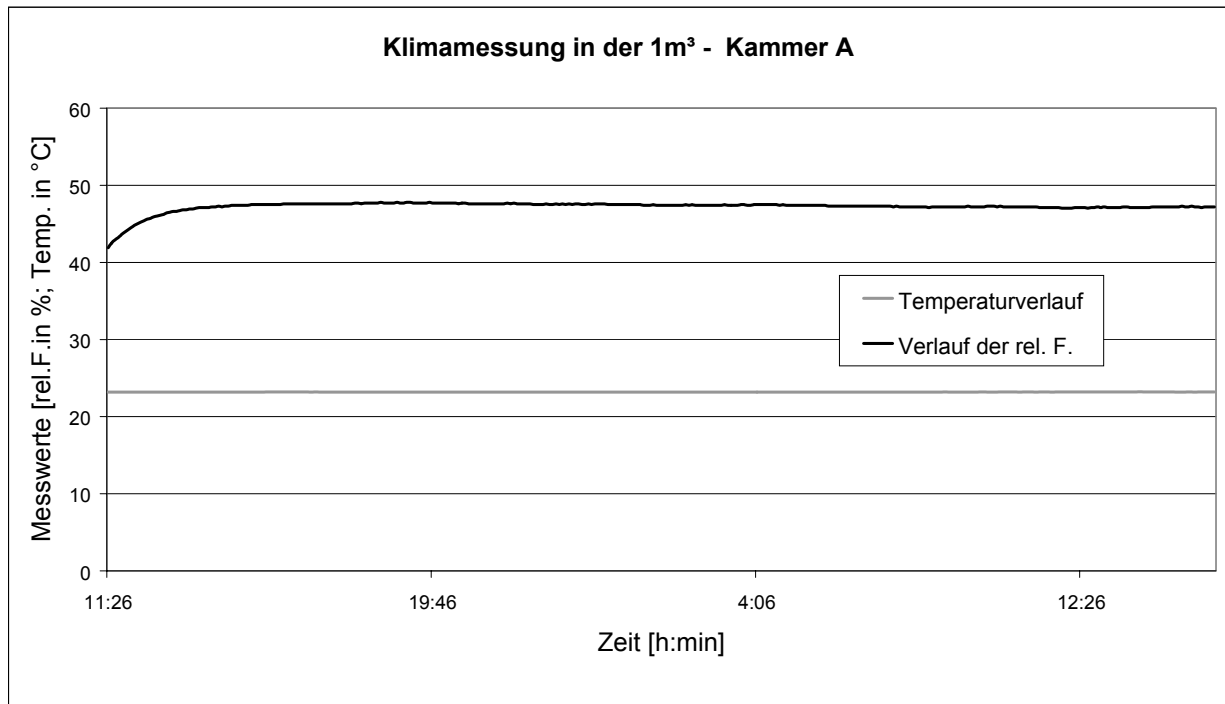
8.3 Vorlage zur Linearisierung der Graustufen in Vorbereitung der 5 % Druckvorlage



8.4 Druckvorlage 5% Flächendeckung, schwarz, nach DIN 33870 erstellt

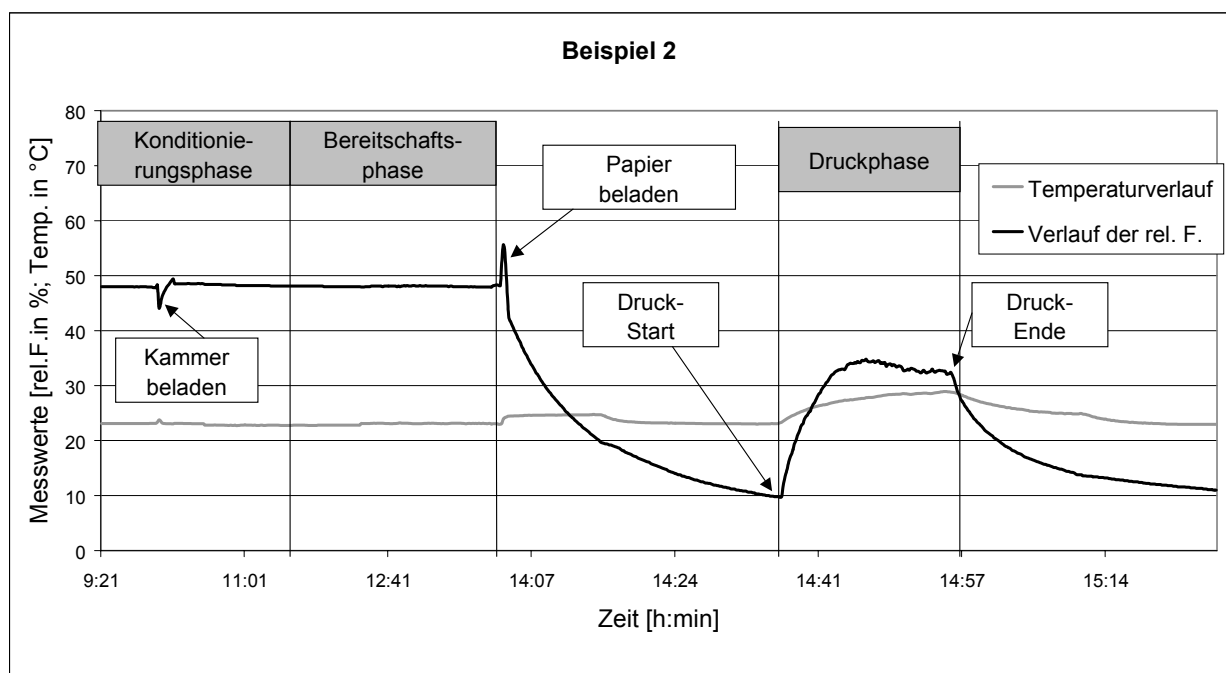
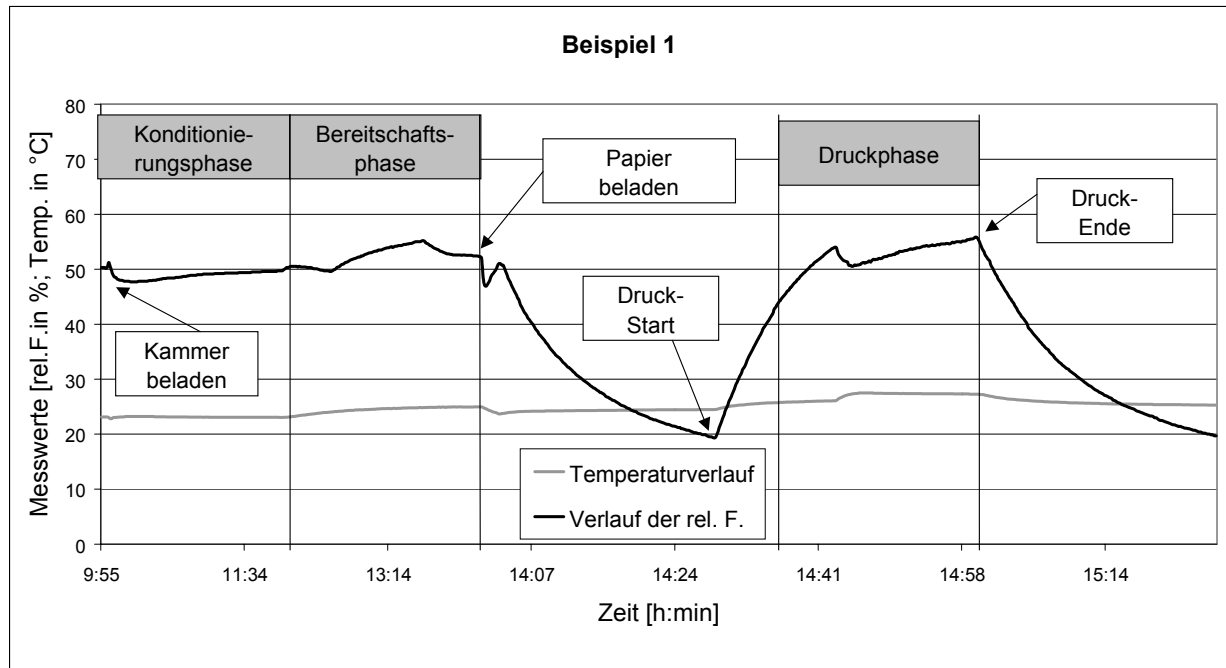


8.5 Beispiele für die Klimamessung in unbeladenen Prüfkammern



8.6 Klimakurven während der Prüfung

(Konditionierungs- und Bereitschaftsphase in diesen Beispielen je 2 Stunden)



8.7 Beispiel für ein erprobtes VOC - Messverfahren (vgl. [1], [7])

Probenahmerohre: Tenax TA (Rohrlänge 178 mm, AD 6 mm, ID 4 mm, 200 mg Tenax TA (60-80 mesh) mit Glaswollstopfen); Probenahmevervolumenstrom $> 0,5 \text{ l (100 ml min}^{-1})$. Vor der Probenahme sind die Tenax-Rohre mit in Methanol gelöstem deuteriertem Toluol als internen Standard zu spiken.

Die Kalibrierung erfolgt, indem die Kalibriersubstanzen, gelöst in Methanol, auf gesonderte Tenax-Rohre aufgegeben (gespikt) werden, und zur Simulation einer Probenahme an einer leeren Kammer ein Liter Probeluft abgesaugt wird, wobei gleichzeitig das vom Spiken auf dem Tenax verbliebene Methanol desorbiert wird.

Analysensystem:

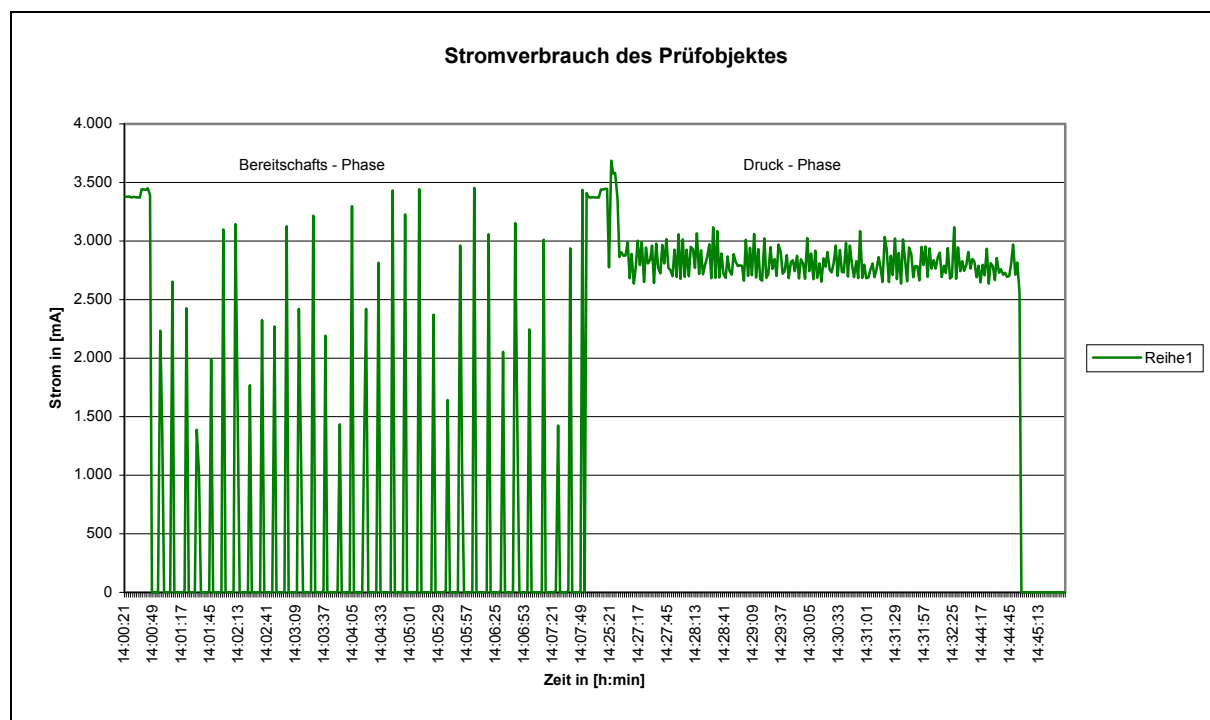
Thermodesorption / Kaltaufgabesystem Gerstel TDS-2 / KAS-3 (Programm 40 - 280 °C mit $40^\circ \text{K min}^{-1}$, halten 5 min bei 280 °C / Kryofokussierung bei minus 150 °C, Aufheizen mit 10°K s^{-1} auf 290 °C / He-Fluss 35 ml min^{-1})

HP GC 5890 II + HP-MSD 5972 (Säule HP 1; 60 m; 0,25 mm; 0,25 μm ; Temperaturprogramm 40 °C für 4 min, 5 K min^{-1} auf 140 °C, 10 K min^{-1} auf 240 °C, 25 K min^{-1} auf 290 °C, halten für 3 min / MSD: scan 25 - 400; 1,9 scans / sec; 300 °C; NBS - 75K - Datenbank)

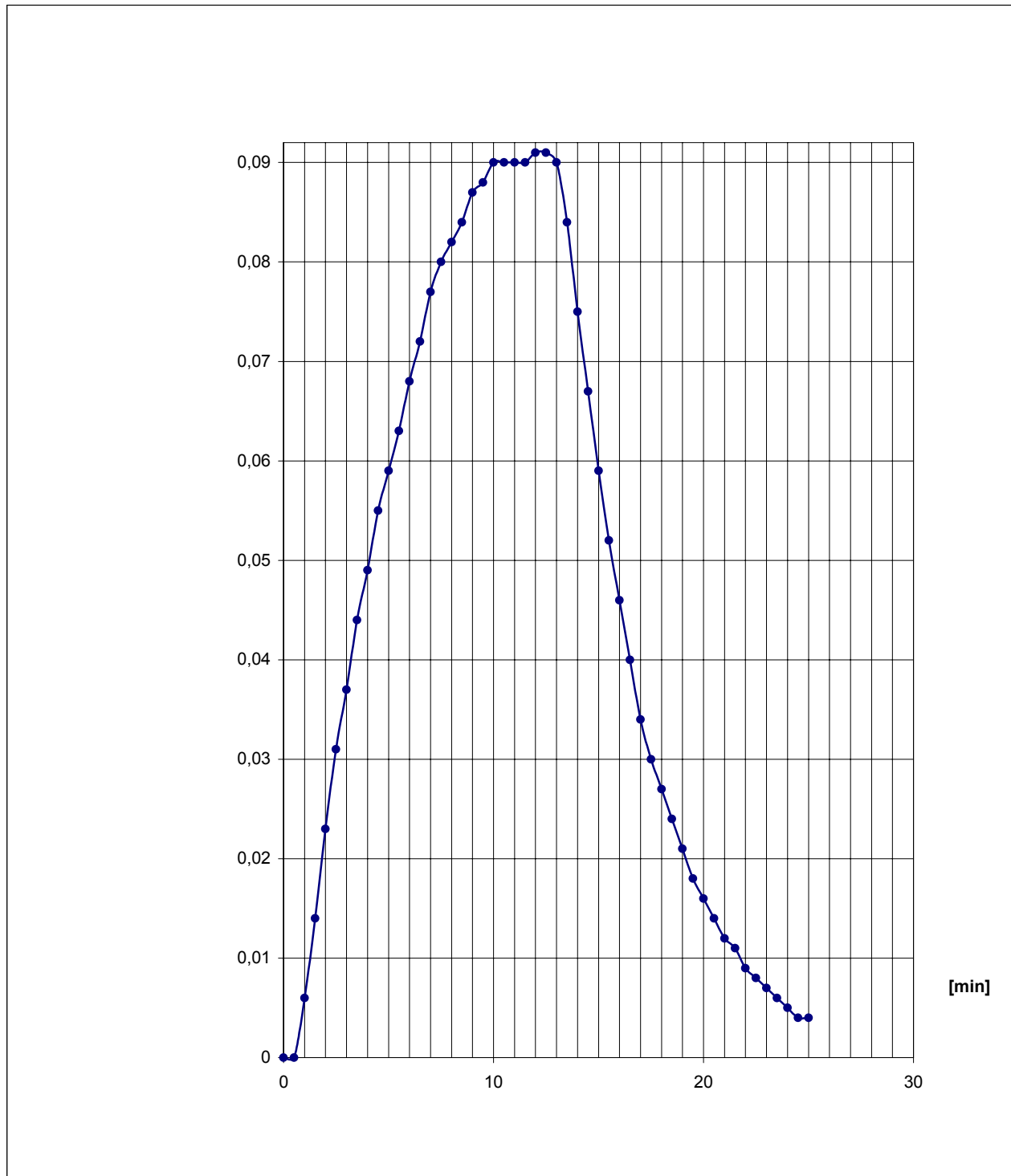
Mögliche auftretende Verbindungen

Acetophenon	Iso-Propylbenzol
Benzaldehyd	n-Butanol
Benzol	n-Pentanal
BHT (2,6-Di-tert.-Butyl-4-Methylphenol)	n-Propylbenzol
Biphenyl	Nonanal
Butanon	Octanal
Δ^3 -Caren	Pentadekan
Ethylbenzol	Phenol
Ethylenglykol	Propylenglykol
Ethylhexanol	Siloxane (z.B. D3-D6)
Heptanal	Styrol
Hexadecan	Toluol
Hexanal	Xylol (m, o, p)
Iso-Alkane	

8.8 Stromverbrauch des Prüfobjektes

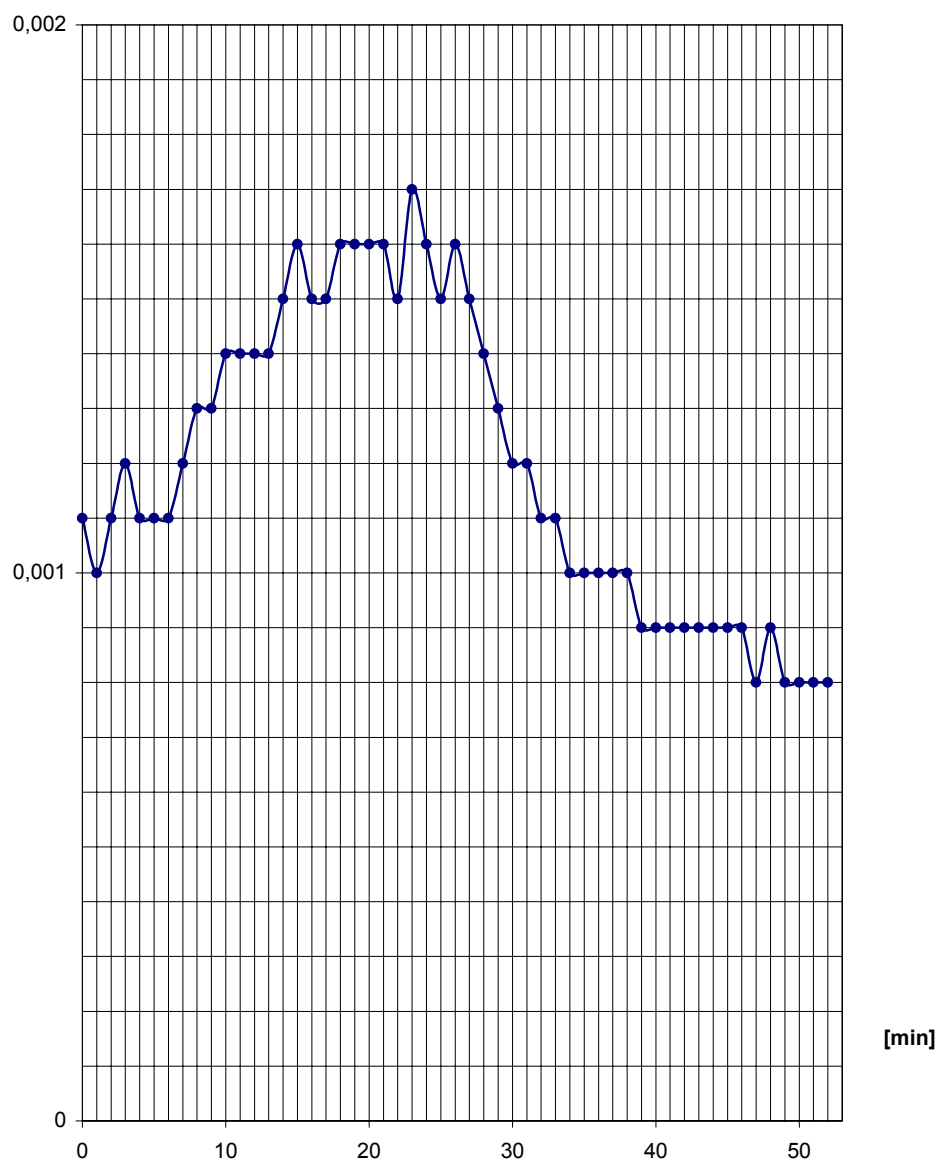


8.9 Verlauf der Ozonkonzentration während des Druckens bei hoher Konzentration (Angaben in ppm)



Für die Berechnung der Emissionsrate wird die Ozonhalbwertszeit aus der abfallenden Flanke (nach Beendigung des Druckvorganges) des Ozonkonzentrationsverlaufs bestimmt.

Noch 8.9 Verlauf der Ozonkonzentration während des Druckens bei geringer Konzentration (Angaben in ppm)



Moriske · Turowski

Handbuch für Bioklima und Lufthygiene

Mensch · Wetter · Klima ·

Innenraum- und Außenlufthygiene

Grundlagen · Forschungsergebnisse · Trends

mit 8. Ergänzungslieferung

ecommed

Hinweise für den Benutzer:

Dieses Handbuch ist als Loseblattwerk angelegt. Notwendige Aktualisierungen und Erweiterungen können problemlos nachgetragen werden, so dass sich Ihr Werk damit stets auf dem neuesten Stand befindet.

Ergänzungslieferungen zu diesem Werk erscheinen nach Bedarf, in der Regel 1–2mal jährlich. Sie können anhand der Sortieranleitungen und der auf jeder Seite im Seitenkopf aufgeführten Kapitelnummer leicht einsortiert werden.

Jede Ergänzungslieferung bedingt in der Regel auch entsprechende Änderungen in den Inhalts-, Autoren- und Stichwortverzeichnissen. Um den mit diesen Änderungen verbundenen Mehraufwand für die Abonnenten möglichst gering zu halten, werden solche Verzeichnisse in der Regel einmal jährlich auf den neuesten Stand gebracht, Inhaltsverzeichnisse mit jeder Ergänzungslieferung, soweit erforderlich. Bitte entnehmen Sie den aktuellen Stand der Verzeichnisse dieses Werkes der Drucknorm am Fuß der betreffenden Kapitelseiten.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme,

dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

In diesem Werk werden physikalisch-chemische Daten, Toxizitätsdaten, Richt- und Grenzwerte mitgeteilt. Der Leser darf darauf vertrauen, dass Herausgeber, Autoren und Verlag größte Mühe darauf verwandt haben, diese Angaben bei Fertigstellung des Werkes bzw. der Ergänzungslieferungen genau dem Wissensstand entsprechend zu bearbeiten; dennoch sind Fehler nicht vollständig auszuschließen. Aus diesem Grund können Herausgeber, Autoren und Verlag keine Gewähr für die Richtigkeit der mitgeteilten Daten und Angaben übernehmen; eine Verbindlichkeit oder Haftung kann aus ihnen nicht herbeigeführt werden.

Mit freundlicher Empfehlung

Herausgeber und Verlag

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Handbuch für Bioklima und Lufthygiene : Mensch – Wetter – Klima –
Innenraum- und Außenlufthygiene; Grundlagen,
Forschungsergebnisse, Trends / Moriske; Turowski. –
Landsberg am Lech: ecomed

Erg. Lfg. 1. – (1999) –
ISBN 3-609-72591-5

Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form (durch Photokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme gespeichert, verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Handbuch für Bioklima und Lufthygiene
Hrsg.: Heinz-Jörn Moriske · Elisabeth Turowski

© 1998 ecomed verlagsgesellschaft
Rudolf-Diesel-Str. 3, 86899 Landsberg am Lech
Telefon: 0 81 91/125-0; Telefax: 0 81 91/125-492;
Internet: <http://www.ecomed.de>
Satz: Satzstudio 90, A. Kretschmer, 86556 Kühbach
Druck: Druckerei Kessler, 86399 Bobingen
Printed in Germany 720580/1098105
ISBN 3-609-72580-X

Handbuch für Bioklima und Lufthygiene
8. Ergänzungslieferung Dezember 2002

© 2002 ecomed verlagsgesellschaft AG & Co. KG,
Justus-von-Liebig-Str. 1, 86899 Landsberg am Lech
Satz: Satzstudio 90, A. Kretschmer, 86556 Kühbach
Druck: Druckerei Kessler, 86399 Bobingen
Printed in Germany · 720598/120285
ISBN 3-609-72598-2

Handbuch für Bioklima und Lufthygiene – 8. Erg. Lfg 12/2002

III-4.4.1

Plötzlich auftretende schwarze Staubablagerungen in Wohnungen – das „Fogging“-Phänomen (Gesamtdarstellung)

H.-J. MORISKE, A. KLAR, T. SALTHAMMER und M. WENSING

Inhalt

III-4.4.1 Plötzlich auftretende schwarze Staubablagerungen in Wohnungen – das „Fogging“-Phänomen (Gesamtdarstellung)

1	Vorbemerkung	1
2	Ausgangssituation	1
3	Fragebogenauswertung	3
3.1	Beschreibung des Phänomens	3
3.2	Angaben zur Wohnung und Wohnumgebung	4
3.3	Renovierungstätigkeiten	5
3.4	Sonstige Wohnraumnutzung	7
3.5	Chemische Analysen	8
3.6	Gegenmaßnahmen	8
4	Untersuchungsprogramm	9
4.1	Beschreibung der untersuchten Wohnungen	9
4.2	Untersuchungsparameter	12
4.3	Ergebnisse	19
4.4	Diskussion	30
5	Entstehungsursachen des Phänomens „Schwarze Wohnungen“	32
6	Rechtliche Aspekte	34
6.1	Eingrenzung des Problems	34
6.2	Gesundheitsgefahren durch „Fogging“-Ablagerungen	35
6.3	Schadensbeseitigung	35
6.4	„Fogging“ als Mangel der Mietsache	35
7	Praktische Vorgehensweise bei der Beurteilung des Phänomens „Schwarze Wohnungen“	36
8	Schlussbetrachtung	37
	Literatur	37
	Anlage 1:	
	I) Fragebogen des Umweltbundesamtes von 1997 – 1999 zum Phänomen „Schwarze Wohnungen“	40
	II) Erweiterter Fragebogen zum Phänomen „Schwarze Wohnungen“ 1999 – 2001	41

III-4.4.1

Plötzlich auftretende schwarze Staubablagerungen in Wohnungen – das „Fogging“-Phänomen (Gesamtdarstellung)

H.-J. MORISKE, A. KLAR, T. SALTHAMMER und M. WENSING

1 Vorbemerkung

Über plötzlich auftretende, schwarze Staubablagerungen in Wohnungen – das Phänomen „Schwarze Wohnungen“ oder auch „Fogging“-Phänomen in Wohnungen – wurde bereits in einer früheren Version in diesem Handbuch sowie in verkürzter Form in diversen Fachzeitschriften berichtet (vgl. Literaturliste am Ende dieses Beitrages).

Das Phänomen wird in der Literatur – aus dem Angelsächsischen abgeleitet – auch als „Black Magic Dust“ oder einfach „Magic Dust“ bezeichnet (WENSING u. SALTHAMMER 1999). Letztendlich sind damit immer die gleichen Problemfälle gemeint. Etwas anderes beschreibt hingegen die vorwiegend im nordamerikanischen Raum gebräuchliche Bezeichnung „Black Soot Phenomenon“ (DEKERMENJIAN u. SHUM 2002; GARRETSON u. GOLLA 2002). Es handelt sich bei den hier beschriebenen Ablagerungen nämlich nicht um „Soot“ bzw. Rückstände aus Verbrennungsprozessen, wie Ruß etc. Es gibt allerdings in der Praxis Fälle, bei denen Überlagerungen durch Rußeinträge stattfinden können (sogenannte „Mischeffekte“). Biogene Einflüsse, i. B. Schimmelpilzwachstum mit Melanin-bedingter schwärzlicher Verfärbung des Myzels bzw. der Konidien (MÜCKE u. LEMMEN 2000; FIEDLER 2002), spielen in diesem Zusammenhang keine Rolle.

Die Bezeichnung Phänomen „Schwarze Wohnungen“ ist sprachlich – in kurzer Form – einprägsam und zutreffend. Ersatzweise hat sich auch der Begriff „Fogging“-Phänomen

in Wohnungen etabliert, der seinen Ursprung u. a. in „Fogging“-Vorgängen in Kraftfahrzeugen, davon stammt auch die Bezeichnung, hat (vgl. Kap. III-4.4.2). Der Begriff wird auch in diesem Beitrag gebraucht, obwohl der eigentliche „Fogging“-Reaktionsschritt, wie wir wissen, nur ein Bestandteil des gesamten komplexen Entstehungsvorgangs der schwarzen Ablagerungen in Wohnungen darstellt.

Dem Umweltbundesamt sind bis heute (Stand September 2002) 544 Fälle von plötzlichem Schwarzstaubablagerungen in Wohnungen schriftlich mitgeteilt worden, die sich auf alle Bundesländer verteilen (vgl. Tab. 1). Die Zahl der betroffenen Wohnungen steigt von Jahr zu Jahr (vgl. Tab. 2). Hinzu kommen viele fernmündlichen Anfragen, so dass die Gesamtzahl der dem Umweltbundesamt bekannten Fälle derzeit bei etwa 1000 liegt. Die Dunkelziffer dürfte jedoch höher liegen, da nach wie vor vielfach Unsicherheit bei den Betroffenen besteht, an wen sie sich zwecks Hilfestellung wenden sollen. In einigen Fällen wird das Problem „hingenommen“, ohne dass überhaupt Schritte zur Ursachenermittlung bzw. -beseitigung ergriffen werden.

Mit dem folgenden Beitrag wird eine aktuelle Gesamtdarstellung des Phänomens unter Einbeziehung aller Fragebogenergebnisse des Umweltbundesamtes sowie aktueller Untersuchungsergebnisse des Umweltbundesamtes und anderer Institutionen gegeben.

2 Ausgangssituation

1995/96 wurden zum ersten Mal Anfragen an das Umweltbundesamt gerichtet, in denen über plötzlich aufgetretene schwarze Staubablagerungen in Wohnungen berichtet wurde, die sich an Wänden, Decken und Einrichtungsgegenständen absetzten (MORISKE 1996). Gemeinsam war in allen Fällen, dass die Ablagerungen ausschließlich während der Heizperiode, binnen kurzer Zeit (innerhalb von 2 – 3 Wochen) in Erscheinung traten, rußähnlich aussahen und

sich oftmals fettig bzw. schmierig anfühlten. Manchmal war ein Raum, oft waren mehrere Räume der Wohnung betroffen. Ein Eintrag von Rußablagerungen durch Quellen innerhalb oder außerhalb der Wohnung schied in allen Fällen aus. Schornstein- und Heizungsanlagen waren in allen Fällen geprüft worden und technisch einwandfrei. Die Ursachen blieben unklar.

Tab. 1: Übersicht über dem Umweltbundesamt schriftlich mitgeteilte Fälle von plötzlichen schwarzen Staubablagerungen in Wohnungen (Stand 1.9.2002); nach Bundesländern sortiert

Bundesland	Letzter Eingang	Fälle	Anfragen Fallbeschr.	Messungen Gutachten	Fragebögen
BADEN-WÜRTTEMBERG	Mai 02	24	19	3	7
BAYERN	Juni 02	30	26	5	7
BERLIN	August 02	66	21	13	42
BRANDENBURG	Mai 02	38	19	7	22
BREMEN	Mai 02	10	3	1	9
HAMBURG	April 02	43	9	8	33
HESSEN	April 02	32	14	12	13
MECKLENBURG-VORPOMMERN	Mai 01	35	6	12	10
NIEDERSACHSEN	März 02	33	13	4	20
NORDRHEIN-WESTFALEN	Juli 02	73	57	4	14
RHEINLAND-PFALZ	Juli 02	14	8	2	6
SAARLAND	November 01	4	2	1	2
SACHSEN	Juli 02	43	11	3	33
SACHSEN-ANHALT	Januar 01	16	4	1	12
SCHLESWIG-HOLSTEIN	Juni 02	28	13	7	15
THÜRINGEN	August 02	5	4	0	1
OHNE ADRESSEN		50	13		37
GESAMT		544	242	83	283

Tab. 2: Mitteilungen über „Fogging“-Phänomen-Fälle in Wohnungen nach Jahren geordnet (1995 bis 2002); 2002 vorläufiger Stand am 1.9.02

Bundesland	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
BADEN-WÜRTTEMBERG			2	4	6	4	4	4
BAYERN					8	5	9	8
BERLIN			5	4	10	16	20	11
BRANDENBURG		3	3	1	6	7	11	7
BREMEN			6	2			1	1
HAMBURG			5	7	8	1	17	5
HESSEN			9	4	4	4	7	4
MECKLENBURG-VORPOMMERN		9	5	2	2	2	15	
NIEDERSACHSEN	1	1	3	5	8	7	6	2
NORDRHEIN-WESTFALEN		8	7	2	5	12	17	22
RHEINLAND-PFALZ				2	4	1	1	6
SAARLAND				1	1		2	
SACHSEN			3	3	6	6	17	8
SACHSEN-ANHALT	2	1	3	1	8		1	
SCHLESWIG-HOLSTEIN		4	6	1	1	5	5	6
THÜRINGEN			3			1		1
OHNE ADRESSEN mit Datum				3	6	4	11	8
GESAMT	3	26	60	42	83	75	144	93

Auch andere Autoren berichteten in dieser Zeit über ähnliche Problemfälle (SCHOLZ 1997). Außerhalb Deutschlands wurden ebenfalls plötzliche „Schwarzstaub“-Ablagerungen in Wohnungen bekannt (TAPPLER et al. 1998).

Das Umweltbundesamt führte 1997 eine erste Fragebogenaktion durch, mit der die Gemeinsamkeiten, aber auch die Unterschiede beim Auftreten der schwarzen Staubablagerungen in den betroffenen Wohnungen festgestellt werden sollten (MORISKE 1997). Eine Zwischenauswertung von 132 Fragebögen erfolgte 1998 (MORISKE 1998; MORISKE et al. 2000). Mit geringfügigen Modifikationen im Fragebogen (MORISKE 2000a) wurde die Befragung bis Ende 2001 fortgesetzt. Über die Ergebnisse der gesamten Fragebogenaktion (ausgewertete Fallzahl, n = 287) wird nachfolgend berichtet (vgl. Abschnitt 3).

Es folgt eine Darstellung der Untersuchungsergebnisse des Umweltbundesamtes in betroffenen Wohnungen (vgl. Abschnitt 4) sowie der Ursachen und Einflussfaktoren, die

zum Entstehen der schwarzen Ablagerungen führen (vgl. Abschnitt 5).

Da oft Mietwohnungen betroffen sind, kam und kommt es häufig zu rechtlichen Auseinandersetzungen, so dass sich zunehmend auch Rechtsanwälte und Gerichte mit dem Phänomen „Schwarze Wohnungen“ auseinandersetzen müssen (MORISKE 2000e; SZEWIERSKI u. MORISKE 2002). Erste Grundsatzurteile von Gerichten zu diesem Problem sind mittlerweile veröffentlicht. In Abschnitt 6 wird kurz auf die rechtlichen Probleme bei der Einschätzung und Bewertung des „Fogging“-Phänomens in Wohnungen eingegangen. Eine ausführliche Interpretation findet sich an anderer Stelle (SZEWIERSKI u. MORISKE 2002).

Falls es zu einem Rechtsstreit kommt, wird die Entscheidung vor Gericht durch das Sachverständigengutachten wesentlich beeinflusst. In Abschnitt 7 werden praktische Hinweise und Empfehlungen zur sachgerechten Vorgehensweise und Begutachtung des Phänomens gegeben.

3 Fragebogenauswertung

In Anlage 1 und 2 zu diesem Beitrag sind die verwendeten Fragebogenversionen (erste Version verwendet von Januar 1997 bis Oktober 1999; zweite Version verwendet von November 1999 bis Dezember 2001) aufgeführt.

Mit den Modifikationen im zweiten Fragebogen sollten u. a. genauere Informationen zum Gebäude (Altbau, Neubau, Lage des Gebäudes, Art der Heizsysteme etc.), zu baulichen Mängeln (Wärmebrücken etc.), zur Wohnungsausstattung (Art der Bodenbeläge, Wandfarben, des Mobiliars etc.), zur Raumnutzung (Lüftungs- und Heizverhalten, Rauchgewohnheiten) und zum Raumklima (Feuchte- Temperaturmessungen etc.) gewonnen werden.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Fragebogenaktion von 1997–2001 beschrieben. Die Auswertung erfolgte u. a. im Rahmen einer Diplomarbeit (KLAR 2002).

Bis Ende 2001 wurden insgesamt 287 Fälle ausgewertet. Wegen der z. T. unterschiedlichen Fragen in Fragebogenversion 1 und 2 und da nicht in jedem Fragebogen alle Fragen beantwortet wurden, variiert die Anzahl der Fälle in den nachfolgenden Graphiken und Tabellen.

Der besseren Übersicht halber sind die Antworten zu verschiedenen Fragenkomplexen zusammengefasst worden (Abschnitte 3.1 bis 3.5):

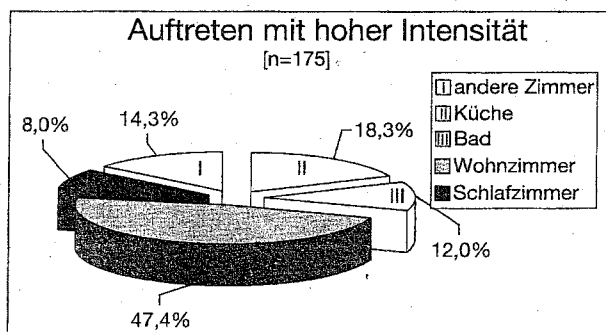
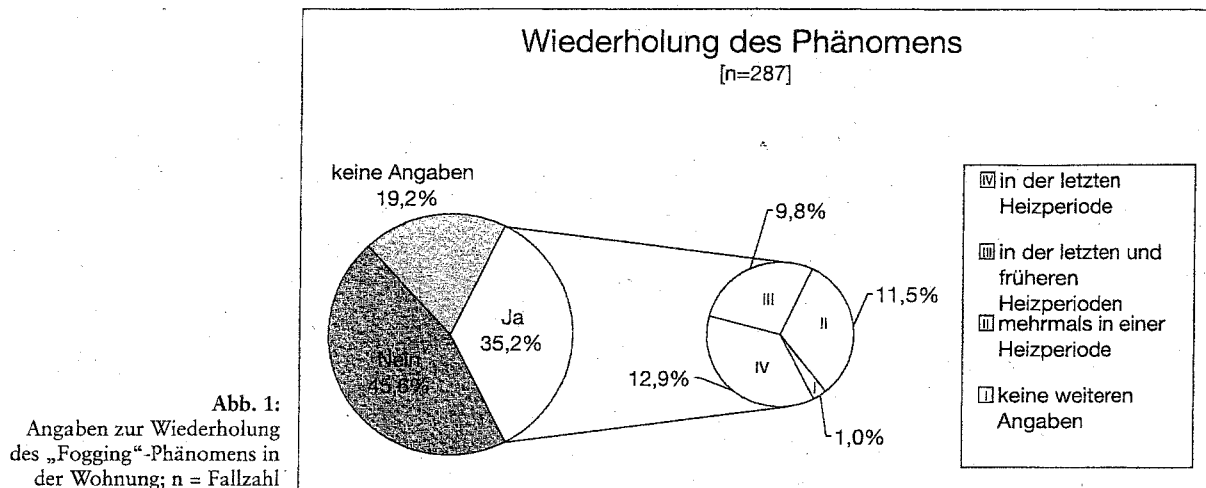
3.1 Beschreibung des Phänomens

Die Ablagerungen wurden von den Befragten überwiegend (ca. 90 % der Fälle) als „ölig-schmierig“ und „schwarz-grau“ bezeichnet. Sie traten in 92 % der Fälle während der Heizperiode auf.

In ca. 45 % der Wohnungen trat das Phänomen nur während einer Heizperiode auf; in rund 35 % der Wohnungen trat es wiederholt auf (in derselben Heizperiode und/oder früheren Heizperioden) (vgl. Abb. 1).

Die Ablagerungen traten grundsätzlich in allen Räumen auf, wobei das Wohnzimmer in fast der Hälfte aller Fälle am stärksten betroffen war (vgl. Abb. 2). Hierbei ist zu berücksichtigen, dass nicht alle Befragten Wohnungen mit mehreren Räumen hatten.

Die Ablagerungen setzten sich an verschiedenen Stellen in der Wohnung ab (vgl. Abb. 3). In fast 80 % der Fälle (leider wurde diese Frage nur in 77 Fällen beantwortet) erschienen die Ablagerungen oberhalb von Heizkörpern, in ca. 65 % der Fälle an Gardinen und Vorhängen, in über 40 % der Fälle auf Fensterrahmen. Außenwände waren häufiger betroffen (ca. 40 %) als innenliegende Wände (ca. 25 %). Betroffen waren auch kunststoffhaltige Flächen (ca. 35 %) und elektrische Geräte (ca. 25 %). Grundsätzlich können alle Flächen in der Wohnung betroffen sein (vgl. auch Photos betroffener Wohnungen in Abschnitt 4.1).



Da diese Frage in der ersten Version des Fragebogens fehlte und Baumängel überdies nicht in allen Fällen vom Laien erkannt werden können, blieb die Frage in über 60 % der Fälle unbeantwortet.

Die angegebenen baulichen Mängel sind in Abbildung 4 dargestellt. Die Formulierung „ungenügende Isolierung“ beinhaltet in dieser Darstellung z. B. auch undichte Fenster. In je 15 Fällen wurden Kondenswasser und Schimmelbildung in der Wohnung als Mängel genannt.

Bezogen auf die Gesamtzahl der Fragebögen (n = 287) wurden von 123 Befragten Angaben zur Art der Wärmeerzeugung gemacht (vgl. Tab. 3). Die meisten Wohnungen wurden danach mit Gas beheizt (gut 37 %), gefolgt von Fernheizungen (knapp 29 %) und Ölheizungsanlagen (ca. 21 %). Kohleöfen, Kamine und Kerosinheizgeräte waren nur in einem Fall vorhanden, spielten also keine Rolle beim Entstehen der schwarzen Ablagerungen. In den meisten Wohnungen waren Wandflächenheizkörper vorhanden. In etwa 10 % der erfassten Wohnungen wurde (teilweise zusätzlich) eine Fußbodenheizung genutzt.

Damit ergeben sich in etwa ähnlich hohe Anteile der einzelnen Energiearten in Wohnungen mit plötzlichen schwarzen Staubablagerungen und „normalen“ Wohnungen in Deutschland (Statistisches Bundesamt 2000; KLAR 2002).

Tabelle 4 gibt Auskunft über verwendete Bau- und Raumausstattungsmaterialien in den Räumen, in denen die schwarzen Ablagerungen aufgetreten sind. In den meisten Räumen befand sich demnach Teppichboden (80 %); die Wände waren überwiegend mit Raufaser tapeziert (83 % der Wohnungen).

3.2 Angaben zur Wohnung und Wohnunggebung

Gemäß Fragenbogenangaben wurden die betroffenen Gebäude überwiegend (80 % der Fälle; die Frage wurde nur im 2. Fragebogen gestellt) in der Zeit nach dem 2. Weltkrieg errichtet.

Als mögliche Emissionsquellen für Stäube in der näheren Wohnumgebung wurden genannt: Hauptverkehrsstraßen (34 mal), Kraftwerke (8 mal), Baustellen (4 mal) sowie weitere Einzelquellen (Schornsteine, Parkplätze, Tankstellen etc.).

Die Betroffenen wurden nach sichtbaren Mängeln in der Bausubstanz gefragt (subjektive Beurteilung). 16 % der Befragten führten einen oder mehrere Baumängel an, die allerdings in den wenigsten Fällen durch die Stellungnahme eines Bausachverständigen bestätigt wurden. In 22 % der Fälle gab es diesbezüglich offenbar keine Beanstandungen.

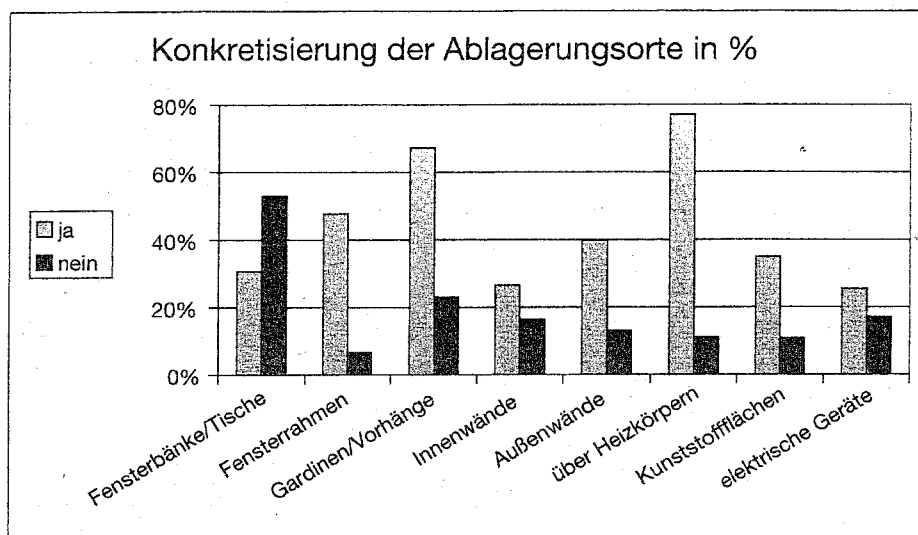


Abb. 3:
Ablagerungsflächen
in der Wohnung; Auflistung
als Ja-, Nein-Angaben (n=77)

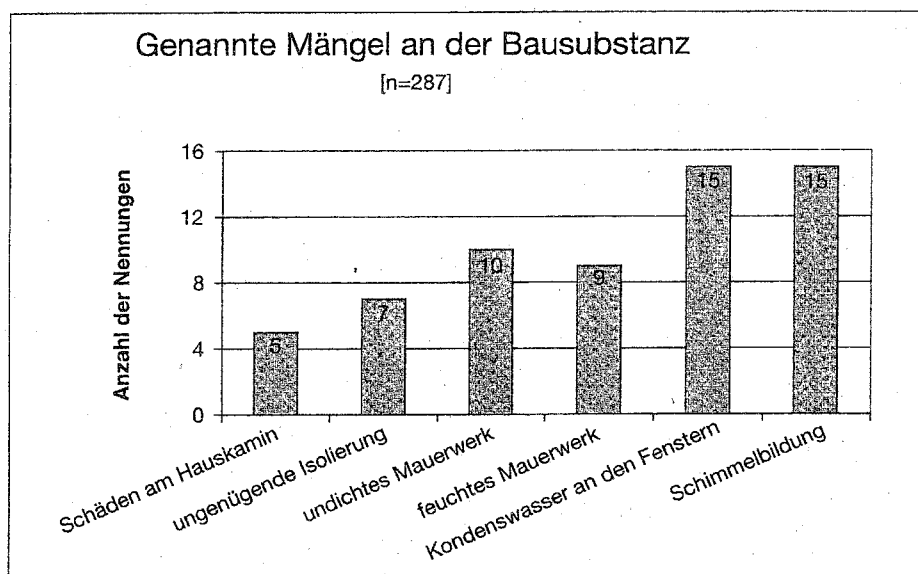


Abb. 4:
Vom Bewohner genannte Mängel
an der Bausubstanz

Tab. 3: Verteilung der Wärmeerzeuger in den befragten Haushalten

Art der Wärmeerzeugung	Anzahl (n = 123)	%
Gaszentralheizung	46	37,4
Fernheizung	35	28,5
Ölbefeuerte Zentralheizung	26	21,1
Gasetagenheizung	10	8,1
Nachtspeicheröfen	4	3,3
Kohlebefeuerte Zentralheizung	1	0,8
Holz- und Kohlebefeuerte Einzelöfen	1	0,8
Kamine/Kohleöfen	0	0
Kerosinzusatzheizgerät/Ölofen	0	0

3.3 Renovierungstätigkeiten

Die Fragebogenauswertung ergab hierzu, dass 92 % der betroffenen Wohnungen vor dem Auftreten des Phänomens renoviert (68 %) oder neu errichtet (24 % Neubauten) worden waren (vgl. Abb. 5). Bei den nach dem 2. Weltkrieg errichteten Gebäuden lag der Anteil der betroffenen Erstbezugswohnungen höher. Hier trat das Phänomen bei 59 % der Befragten nach dem Erstbezug der Wohnung auf (KLAR 2002). Lediglich 6 % der Betroffenen gaben an, dass vor dem Auftreten der Ablagerungen seit mehr als zwei Jahren keine Renovierungsarbeiten vorgenommen worden waren (vgl. Abb. 5).

Die zeitlichen Abstände zwischen Renovierung bzw. Fertigstellung des Neubaus/Erstbezug und dem erstmaligen Auftreten der Ablagerungen sind in Abbildung 6 dargestellt.

Tab. 4: Bau- und Ausstattungsmaterialien in von schwarzen Staubablagerungen betroffenen Räumen

Material	Ja (%)	Nein (%)	Anzahl der Antworten
Teppichboden	80	20	147
Rauhfaser tapete	83	17	120
Wandfliesen	74	26	105
Bodenfliesen	47	53	113
Dispersionsfarbe	47	53	110
PVC	24	76	109
Parkett (Laminat/ Kunststoff)	23	77	108
Schaumtapete	20	80	122
Parkett (Echtholz)	20	80	111
Latexfarbe	22	78	102
Putz	15	85	112
Linoleum	8	92	105
Lackanstriche	5	95	100

Ca. 57 % der Renovierungen fanden innerhalb des zurückliegenden Jahres vor dem Auftreten statt, knapp 42 % sogar innerhalb der zurückliegenden 6 Monate. Knapp 17 % der Renovierungen lagen über ein Jahr zurück. 26 % der Befragten machten keine Angaben.

Bezüglich der Art der durchgeführten Renovierungsmaßnahmen ergab die Befragung, dass in 192 Haushalten (= 67 %) Maler- und Lackierarbeiten durchgeführt wurden (vgl. Abb. 7). In 45 % dieser Fälle wurden umweltfreundliche/wasserlösliche Farben und Lacke verwendet, in 20 % dieser Fälle waren herkömmliche lösemittelhaltige Farben und Lacke verstrichen worden. In mehr als einem Drittel dieser Fälle war den Betroffenen die Herkunft und Zusammensetzung der Farben nicht bekannt (KLAR 2002). Bei 121 Befragten (= 42 %) wurden Fußbodenerneuerungen vorgenommen. In den meisten Fällen wurde dabei ein neuer Teppichboden verlegt (58 %, davon etwas weniger als die Hälfte verklebt), Parkettboden eingefügt (28 %), PVC-Bodenbelag (5 %) oder sonstiger Bodenbelag (Fliesen, Linoleum etc.) verlegt (KLAR 2002).

In 87 Wohnungen (= 30 %) wurden größere bauliche Eingriffe vorgenommen. Dabei wurden insbesondere Heizungsanlagen erneuert, neue Fenster eingebaut oder Dämmungen innen bzw. außen am Haus angebracht (KLAR 2002).

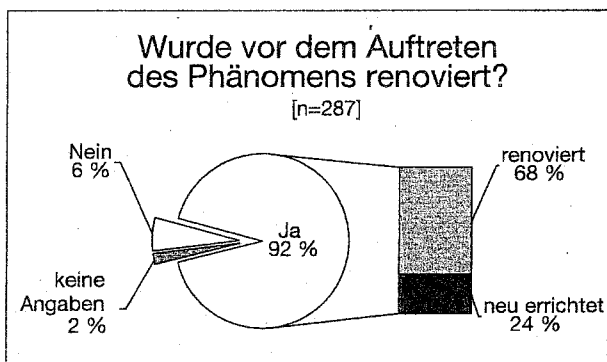


Abb. 5: Renovierung in betroffenen Wohnungen

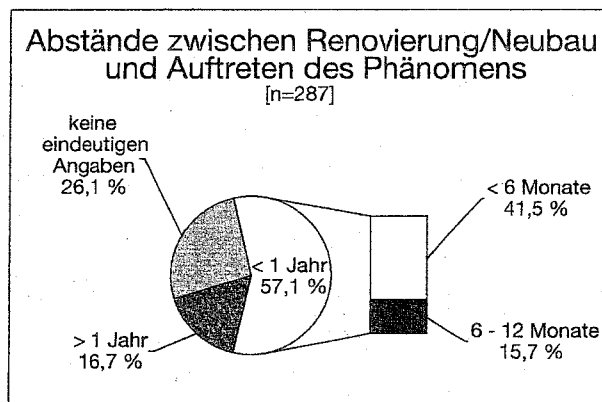


Abb. 6: Zeitlicher Abstand zwischen Renovierung/Neubau und erstmaligem Entstehen der schwarzen Staubablagerungen

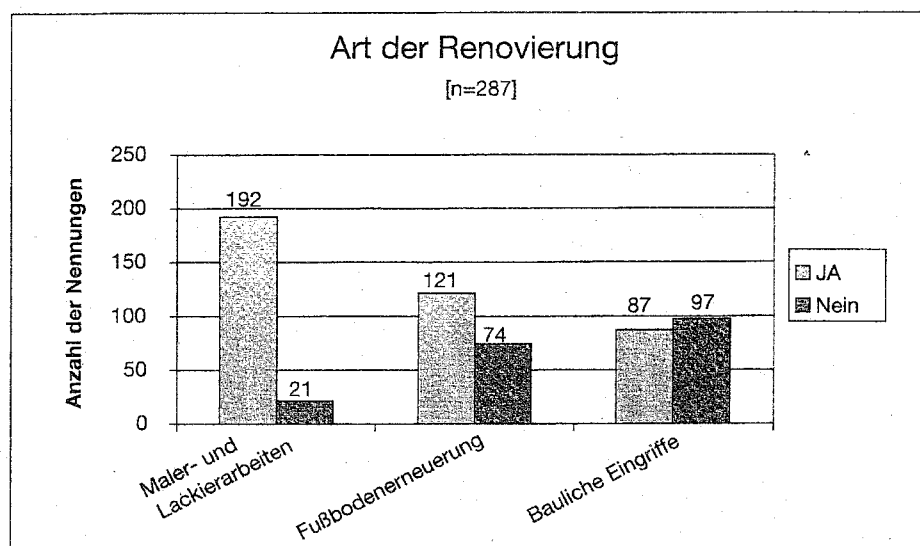


Abb. 7:
Art der Renovierungsarbeiten
in betroffenen Wohnungen

3.4 Sonstige Wohnraumnutzung

Das Heizverhalten der Bewohner ist in Abbildung 8 dargestellt. Fast jeder zweite Befragte (47 %) gab an, nur bei Anwesenheit zu heizen. Etwa ein Viertel (24 %) heizte durchgehend in Herbst und Winter, die Übrigen nutzten ständig oder zeitweise eine Tag/Nacht-Schaltung (T/N-Schaltung).

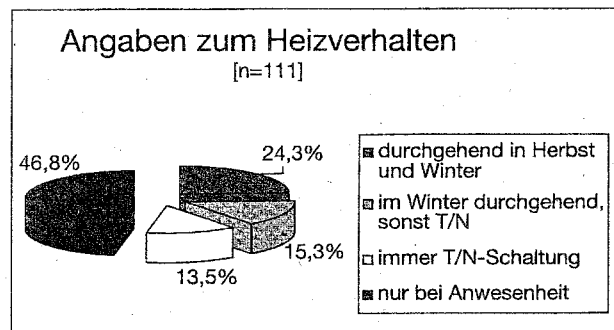


Abb. 8: Heizverhalten der Bewohner in den betroffenen Haushalten

Die Raumklimabedingungen bei der Nutzung der Wohnungen entsprachen, sofern bestimmt, den Bedingungen, wie man sie auch in Wohnungen ohne schwarze Ablagerungen findet. In Tabelle 5 sind die Angaben zusammengefasst. Die Raumlufttemperaturen in den Wohnungen variierten von 15 – 25 °C. Die relativen Luftfeuchtigkeiten schwankten zwischen 25 – 68 %. Lediglich in einem Fall wurde eine erhöhte relative Feuchte von 70 – 90 % angegeben. Messungen der Oberflächentemperaturen der Wände wurden gar nicht, Luftwechselmessungen wurden kaum durchgeführt (vgl. Tab. 5). Über die Verlässlichkeit der Messergebnisse gibt es in den Fragebögen keine Angaben.

In 14 Fällen beschrieben die Bewohner eine verstärkte elektrostatische Aufladung an Gegenständen in der Wohnung; die entsprechende Frage existierte allerdings nur in der ersten Version des Fragebogens, für die erweiterte Version wurde sie verworfen, da uns die Antworten als zu subjektiv und daher wenig aussagekräftig schienen. Elektrophysikalische Messungen wurden, falls durchgeführt, leider mit keinen Messdaten belegt.

Tab. 5: Raumklimadaten in betroffenen Wohnungen

	Anzahl der Messungen	Angaben
Raumlufttemperaturen (°C)	48	15–25 °C
Oberflächentemperaturen (°C)	5	17–19 °C
Relative Luftfeuchtigkeiten (%)	44	25–68 (70–90) %
Luftwechselzahlen (1/h)	3	0,1–2/h

Die Angaben zum Lüftungsverhalten waren weitgehend einheitlich. Gelüftet wurde im Allgemeinen täglich, zum Teil mehrmals täglich, hauptsächlich durch Stoßlüftung, ansonsten zumindest durch häufige Kippstellung der Fenster. Nur zwei betroffene Bewohner gaben an, in der Zeit vor dem Auftreten des Phänomens aufgrund niedriger Außentemperaturen weniger häufig gelüftet zu haben.

In den Fragebögen wurden Veränderungen im Wohnverhalten in der Zeit, als die Ablagerungen entstanden, im Vergleich zur Wohnsituation vorher und nachher abgefragt. Veränderungen in der Wohnung bzw. dem individuellen Wohnverhalten waren danach eher die Ausnahme. Vereinzelt wurden neue Möbel, TV-Geräte etc. angeschafft oder Probleme mit der Heizungsanlage (geänderte Regelung,

Ausfall oder Nichtbetrieb) vor dem Auftreten der Ablagerungen) behoben.

Gefragt wurde auch nach Emissionsquellen in der Wohnung zum Zeitpunkt als die Ablagerungen entstanden waren. Abbildung 9 gibt einen Überblick über die Antworten. In mehr als der Hälfte der befragten Haushalte (= 150 Fälle) wurden zeitweise Kerzen abgebrannt. Die Zahl der Kerzen schwankte zwischen 4 Stück in der gesamten Ad-

ventszeit und täglicher Kerzennutzung im Winter. Der Anteil der Raucher- bzw. Nichtraucherhaushalte bei den erfassten Wohnungen hielt sich mit 59 bzw. 67 Nennungen in etwa die Waage. In 28 Fällen waren Öllämpchen verwendet worden, in 3 Fällen war ein offener Kamin benutzt worden. In einem Fall war ein Kohleofen in der Wohnung vorhanden. Offene Lösemittelbehältnisse etc. als Eintragsquellen für organische Stoffe in die Raumluft waren gemäß Fragebogenangaben nicht vorhanden.

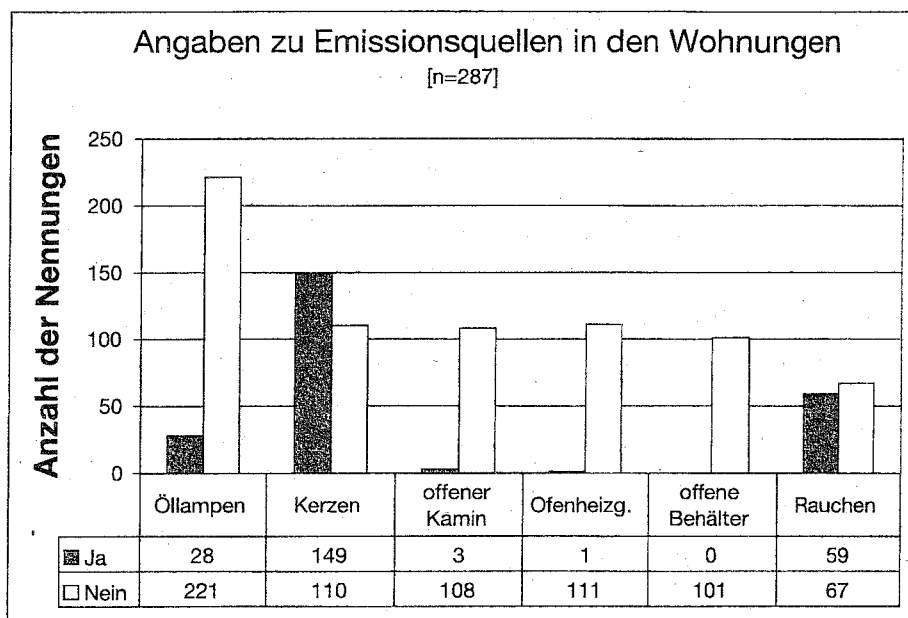


Abb. 9:
Angaben zu Emissionsquellen
in betroffenen Wohnungen

3.5 Chemische Analysen

Nur in etwa jedem dritten Fall wurden Messungen chemischer Stoffe in den Wohnungen (Raumluftmessungen, Wischprobenanalysen) durchgeführt. Eine vergleichende Darstellung der Ergebnisse ist allerdings kaum möglich, da in den meisten Fällen Angaben zur Probenahme und zu den verwendeten Analysenverfahren fehlen (KLAR 2002).

Bei den Messungen wurden Weichmacherverbindungen (Phthalsäureester) und langkettige Alkane, zum Teil in der Raumluft, zum Teil in den Ablagerungen nachgewiesen. Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) als Indikator für Verbrennungsprozesse wurden nur in einem Fall in „erhöhten“ Konzentrationen in den Ablagerungen gefunden. Ähnliches gilt für Ruß. Vereinzelt wurden Nikotinanalysen, VOC- und Staubbmessungen durchgeführt.

Da in fast allen Fällen genauere Angaben zur Methodik und zu den gemessenen Konzentrationen fehlen, soll auf eine nähere Darstellung und Bewertung der Messergebnisse an dieser Stelle verzichtet werden.

Insgesamt betrachtet kann als Ergebnis aus den chemischen Untersuchungen lediglich festgestellt werden, dass in den schwarzen Ablagerungen und in der Raumluft zum Teil höher siedende organische Verbindungen wie Weichmacher und langkettige Alkane zu finden waren, PAK und Ruß dagegen vergleichsweise wenig zu finden waren.

3.6 Gegenmaßnahmen

Angaben über Maßnahmen zur Beseitigung oder Verringerung der plötzlichen Staubablagerungen wurden den Fragebogenangaben zufolge in einigen Fällen durchgeführt und sollen der Vollständigkeit halber an dieser Stelle erwähnt werden, ohne dass damit eine Bewertung der Maßnahmen verbunden sein kann.

Ein kurzfristiges Verschwinden des Phänomens wurde in 35 Fällen beschrieben, in 15 Fällen soll das Phänomen dauerhaft verschwunden sein. In allen übrigen Fällen wurden keine Angaben gemacht. In Tabelle 6 sind die ergriffenen Maßnahmen aufgeführt. In den meisten Fällen wurden die

Ablagerungen durch Reinigen oder erneutes Renovieren entfernt und traten anschließend vorübergehend oder dauerhaft nicht wieder auf. In wenigen Fällen wurde verstärkt gelüftet, weniger Kerzen benutzt etc.

Tab. 6: In den Fragebögen genannte Maßnahmen zur Beseitigung der Ablagerungen und deren Erfolg

Kurzfristiges Verschwinden	Nennung
Reinigung	7 x
Renovierung	5 x
Überstreichen	5 x
Häufiges Lüften	4 x
Verzicht auf Kerzen	3 x
Luftbefeuchtung	3 x
Raumtemperaturverringerung	2 x
Intensives Heizen und Lüften	1 x
Dauerhaftes Verschwinden	
Reinigung	2 x
Wiederverlegen eines Teppichbodens auf Linoleum	1 x
Isolierung der Decke zum Dachboden	1 x
Abbrennen der einzigen Kerze wurde unterlassen	1 x
Entfernung einer Wärmedämmung aus Styropor	1 x
Renovierung des Wohnzimmers	1 x
Reinigung, Erhöhung der Luftfeuchtigkeit	1 x
Entfernung der vermuteten Quellen (Auslegware, aufgeschäumte Strukturtapete, kunststoffbeschichtete Wandverkleidung)	1 x
Neue Tapeten, verstärktes Heizen und Lüften	1 x
Verzicht auf Kunststoffgegenstände	1 x
Häufiges Lüften	1 x
Intensives Heizen und Lüften, Entfernen eines Öllämpchens	1 x

4 Untersuchungsprogramm

Wie sich aus der Fragebogenauswertung ergab, wurden Messungen in betroffenen Wohnungen nur in etwa einem Drittel der Fälle durchgeführt und wenn, dann meist mit uneinheitlichen Methoden und Vorgehensweisen, so dass die ermittelten Messergebnisse nur schwer miteinander vergleichbar sind. Zudem wurden bestimmte und für die Aufklärung des Phänomens möglicherweise wichtige Para-

meter (Lufttemperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Luftwechselzahl, Staubkonzentration, verschiedene chemische und biologische Parameter) gar nicht oder nur vereinzelt erfasst.

Das Umweltbundesamt nahm dies zum Anlass, in einem umfangreichen Messprogramm verschiedene Einflussparameter in betroffenen Wohnungen zu untersuchen. Das Messprogramm wurde nach Voruntersuchungen im Winter 1999/2000 in der Heizperiode 2000/2001 gemeinsam mit dem TÜV NORD in Hamburg und dem Wilhelm Klaudivitz-Institut (WKI) in Braunschweig durchgeführt. Im Folgenden wird über die Ergebnisse dieser Messungen berichtet. Auszugsweise sind die Messergebnisse bereits an anderer Stelle publiziert worden (MORISKE et al. 2001).

4.1 Beschreibung der untersuchten Wohnungen

Von Oktober 2000 bis April 2001 wurden acht, von plötzlichen Schwarzstaubablagerungen betroffene Wohnungen in Berlin, Hamburg und Braunschweig (Wohnungen A bis H) mit einem umfangreichen Messprogramm (siehe 4.2) untersucht. Aufgrund der kühlen Witterung zog sich die Heizperiode noch bis April 2001 hin. Darüber hinaus wurden weitere Wohnungen in Berlin mit einem verringerten Messumfang untersucht; die Messergebnisse hierzu sind an anderer Stelle publiziert (KLAR 2002).

Die Messungen erfolgten unter Zugrundelegung normaler Lebens- und Wohnverhältnisse (Wohnung D wurde während der Messungen allerdings nur zeitweise genutzt). Während der Messungen sollten keine Veränderungen in der Wohnsituation und im Nutzerverhalten der Bewohner gegenüber dem Zeitpunkt des Entstehens der Ablagerungen vorgenommen werden.

In allen Wohnungen waren die schwarzen Ablagerungen zu Beginn der Messungen bereits vorhanden. In einigen Fällen waren sie in der laufenden Heizperiode entstanden (Wohnungen D, G und H); in anderen Fällen waren die Ablagerungen bereits in früheren Heizperioden zum ersten Mal aufgetreten und schienen sich in der aktuellen Heizperiode evtl. zu wiederholen bzw. zu verstärken (Wohnungen A bis C, E und F).

Über die erfolgten Renovierungen und den zeitlichen Abstand der letzten Renovierung bis zum erstmaligen Auftreten der schwarzen Staubaablagerungen gibt Tabelle 7 Auskunft. Die Renovierungen erfolgten in den meisten Fällen innerhalb der letzten 2 Jahre; bei Wohnung D lag die letzte Renovierung nach Angaben der Bewohnerin mehr als 2 Jahre zurück.

Tab. 7: Renovierungsarbeiten und zeitlicher Abstand der Renovierung zum erstmaligen Auftreten der plötzlichen schwarzen Ablagerungen

Wohnung	Gebäude/letzte Renovierung	zeitlicher Abstand Phänomen/ Renovierung
A	Neubau (Erstbezug 7/98); keine Renovierung seit Bezug	ca. 4 Monate nach Erstbezug
B	Neubau (Erstbezug 1/98); keine Renovierung seit Bezug	ca. 1,5 Jahre nach Erstbezug
C	Neubau (Erstbezug 10/97); keine Renovierung seit Bezug	ca. 2 Jahre nach Erstbezug
D	Altbau (Vorkriegsbau); bei letzter Renovierung u. a. Heizungsanlage erneuert, Heizungsrohre lackiert	> 2 Jahre
E	Altbau (50er-Jahre); bei letzter Renovierung u. a. Holzbodendielen geschliffen u. geölt, neue Heizungsanlage installiert, Fensterrahmen und Heizkörper gestrichen	ca. 6 Monate nach Renovierung
F	Altbau (1977); 1996 aufwendige Sanierung durchgeführt; neuer Anbau, neuer Marmorboden verlegt, diverse Malerarbeiten durchgeführt	< 1 Jahr
G	Altbau (50er-Jahre); bei letzter Renovierung gesamte Wohnung gestrichen, neuer Teppichboden verlegt, neue Heizkörper (Bad, Küche) installiert	< 1 Jahr
H	Altbau (1965); bei letzter Renovierung alle Wände gestrichen, neuer Teppichboden verlegt	ca. 1,5–2 Jahre

Im Einzelnen sah die Situation in den Wohnungen wie folgt aus (gemäß Fragebogenangaben und Ortsbegehung):

Wohnung A:

Wohnung A liegt in einem im März 1998 fertiggestellten Mehrfamilienhaus an einer ruhigen Nebenstraße in Berlin-Zehlendorf, im Parterre- und Souterrainbereich (2-Etagenwohnung). Im Juli 1998 war die neue Wohnung von den betroffenen Mietern bezogen worden. Im November 1998 waren die Ablagerungen zum ersten Mal, wenn auch in geringem Umfang, bemerkt worden. Sie verstärkten sich in den darauffolgenden Heizperioden. Zum Zeitpunkt der Untersuchungen waren das Wohnzimmer und andere Zimmer im Untergeschoss zum Teil massiv betroffen (vgl. Abb. 10 a – c). In der Küche und im Bad war die Intensität der Ablagerungen gering. Schlafzimmer und Kinderzimmer waren nicht betroffen.

In der Wohnung war überwiegend (außer Küche und Bad) Stabparkett verlegt, die Wände waren mit Rohfaser tapeziert und vor Bezug mit Dispersionsfarbe gestrichen worden. Kerzen waren den Bewohnern zufolge zeitweise in der Adventszeit verwendet worden. Es zeigten sich bei der Besichtigung starke Ablagerungen oberhalb einer an einer Säule angebrachten Kerze (siehe Abb. 10b). In der Wohnung wurde stark geraucht (60 Zigaretten pro Tag). Bauliche Mängel oder mögliche äußere Quellen waren nicht erkennbar. Die Besichtigung ergab lediglich einen leichteren baulichen Mangel an der Hauswand entlang des Dachbereiches, also weiter von der Parterre-Wohnung entfernt.

In der Wohnung wurde unterschiedlich stark geheizt (Gaszentralheizung), in Kinderzimmer und Schlafzimmer zu meist gar nicht. Im Wohnzimmer war täglich für mehrere Stunden ein Luftbefeuchtungsgerät in Betrieb. Nach Angaben der Bewohner wurde mehrmals täglich gelüftet (Stoß-

lüftung), nachts blieben die Fenster geöffnet, die Heizung wurde nahezu vollständig gedrosselt.

Wohnung B:

Wohnung B wurde im Januar 1998 bezogen. Es handelt sich um eine Doppelhaushälfte in einem neu errichteten Zweifamilienhaus in Genshagen (Brandenburg) in verkehrsabgewandter Lage.

Die Ablagerungen traten sowohl in der Heiz- als auch geringfügig in der Nichtheizperiode auf. Sie wurden zum ersten Mal von den Bewohnern im Sommer 1999, etwa 1,5 Jahre nach Bezug, im Treppenhaus und ab dem Winter 1999/2000 auch im Wohnzimmer sowie in den Kinderzimmern bemerkt. Seitdem nahmen sie – nach Bewohnerangaben – mit jeder Heizperiode zu (vgl. Abb. 11a + b).

Die Raumausstattung im Treppenhaus/Flur bestand aus Fliesen, Teppichboden, Rohfaser mit Dispersionsfarbe sowie einer Holztreppe. Das Treppenhaus war im November 1999 (nachdem die ersten Ablagerungen entstanden waren) mit Dispersionsfarbe neu gestrichen worden.

Innerhalb und außerhalb der Wohnung lagen keine Emissionsquellen vor (Nichtraucher, keine Kerzen etc.). Mängel am Gebäude konnten bei der Ortsbegehung nicht festgestellt werden. Nach Angaben der Bewohner war es in den Wochen vor der Messung zu einem verstärkten Ausfall elektrischer Geräten (Fernseher, PC) gekommen.

Geheizt wurde in allen Räumen gleichmäßig mittels Gaszentralheizung. Die Heizung wurde im Winter durchgehend, ansonsten mit Tag-/Nachtschaltung betrieben.

Wohnung C:

In Wohnung C, ebenfalls eine neu gebaute Doppelhaus-hälfte in Großziethen, Brandenburg, verkehrsabgewandte Lage, wurden die Ablagerungen erst in der zweiten Heizpe-riode nach dem Erstbezug von den Bewohnern wahrge-nommen (Erstbezug 10/97, Auftreten Dezember 1999). Zwischenzeitlich waren keine Renovierungsarbeiten durchgeführt worden.

Die Ablagerungen waren in mehreren Räumen (Wohnzim-mer, Bad, Küche, Schlaf- und Kinderzimmer) aufgetreten, im Vergleich zu Wohnung A und B waren sie jedoch, insge-samt betrachtet, weniger intensiv (vgl. Abb. 12a + b).

Im Haus, mit Ausnahme von Küche und Bad, war überwie-gend Parkett (Echtholz) verlegt, die Wände waren mit Lat-exfarbe gestrichen worden. Es waren Advents- und Weih-nachtskerzen abgebrannt worden, die Bewohner gaben ihr Rauchverhalten mit „durchschnittlich“ an. Geheizt wurde im Winter durchgehend, ansonsten mit Tag-/Nachtschal-tung (Gaszentralheizung). Schlafzimmer, Kinderzimmer und Arbeitszimmer wurden weniger beheizt als die übrigen Räume.

Wohnung D:

Die untersuchte Wohnung D befindet sich im dritten Stock eines Altbau-Mietshauses (Vorkriegsbau) an einer stärker befahrenen Straße in Hamburg-Wilhelmsburg. Die Bewoh-nerin wohnt bereits einige Jahre in der Wohnung. Aufgetre-ten war das Phänomen erstmalig im Januar 2001, also nur wenige Wochen vor den Untersuchungen. Die letzte Reno-vierung (Erneuerung der Heizungsanlage) lag mehr als 2 Jahre zurück. Es handelt sich – statistisch gesehen – somit um einen eher ungewöhnlichen Fall des Phänomens „Schwarze Wohnungen“. Gerade aus diesem Grund schien es jedoch interessant, die Wohnung in die Untersuchungen einzubeziehen.

Es handelte sich um einen Raucherhaushalt, in der Woh-nung roch es bei der Ortsbegehung deutlich nach Tabak-rauch.

Abgesehen von Küche und Bad, in denen PVC-Boden ver-legt war, war die gesamte Wohnung mit Teppichboden aus-gelegt. An den Wänden befanden sich Fliesen, Raufasertape-te und Struktur-Schaumtapete (im Wohnzimmer). Dort und entlang der Heizung in der Küche waren die Ablage-rungen am intensivsten (vgl. Abb. 13 a + b).

Geheizt wurde nach Angaben der Bewohnerin nur bei An-wesenheit, durchgehend wurde auch dann nur in Wohn-zimmer und Küche geheizt, in den anderen Räumen wurde eher selten geheizt. Die Wohnung wurde während des Messzeitraumes zeitweise nicht genutzt.

Wohnung E:

Wohnung E liegt im Erdgeschoss eines Mehrfamilienhauses (Altbau, ca. 50er-Jahre) in Hamburg-Altona in einer

Wohnstraße, in deren Nähe sich allerdings eine stark ge-nutzte Hauptverkehrsstraße befindet.

Das Phänomen trat erstmals im Dezember 2000 auf, ein halbes Jahr nachdem die Bewohner renoviert hatten und hat sich nach zwischenzeitlichem Beseitigen (Abwischen) in der Heizperiode 2000/2001 offenbar wiederholt. Betroffen waren das Wohnzimmer, Küche und Bad, wobei die Inten-sität der Ablagerungen allerdings sehr unterschiedlich war (vgl. Abb. 14a + b).

In Küche und Bad waren Fliesen verlegt, in den übrigen Räumen lag Bodendielen, die von den Bewohnern bei der letzten Renovierung neu mit Ölfirnis behandelt worden wa-ren. Die Zimmertüren waren abgebeizt und anschließend lasiert worden. Die Wände waren mit Raufaser tapeziert und mit Dispersionsfarbe gestrichen worden. Eingerichtet war die Wohnung mit Glas- und überwiegend Echtholzmö-beln.

Gelegentlich wurden Duftöle und Öllampchen benutzt. Ge-raucht wurde in der Wohnung nicht.

Geheizt wurde nur im Winter durchgehend, ansonsten mit T/N-Schaltung und zwar in allen Räumen gleichmäßig.

Wohnung F:

Bei Wohnung F handelt es sich um ein großes Einfamilien-haus in Braunschweig, welches 1977 von den Bewohnern bezogen worden war. 1996 war im Erdgeschoss ein Anbau hinzugefügt worden. Das Gebäude liegt in einer ruhigen Nebenstraße.

Erstmals aufgetreten waren die schwarzen Ablagerungen im Dezember 1997. Die Ablagerungen dauern nach Be-wohnerangaben seither an. Innerhalb von 6 – 12 Monaten vor dem erstmaligen Auftreten der Beläge war das Haus komplett renoviert worden, im Erdgeschoss war der gesam-te Fußboden durch Marmorfliessen ersetzt, alle Wände wa-ren neu mit Dispersionsfarbe gestrichen worden.

Das Ausmaß der Ablagerungen war im Schlafzimmer ge-ringfügig, in Küche und Bad etwas intensiver. Besonders ausgeprägt waren die Schwärzungen im Wohnbereich (vgl. Abb. 15a+b). Von den Ablagerungen stark betroffen waren auch die vorhandenen Rollladenkästen. Schwarze Verfä-rbungen zeichneten sich ferner oberhalb von Halogen-Licht-leisten an der Decke ab (vgl. Abb. 15b).

Die ölbefeuerte Zentralheizung war in Herbst und Winter durchgehend in Betrieb. Alle Räume wurden mit einer Fuß-bodenheizung und Wandflächenheizkörpern gleichmäßig geheizt. Außerdem war ein Kamin vorhanden, der sowohl vor, als auch nach Entstehen der Ablagerungen nach Be-wohnerangaben „hin und wieder“ benutzt wurde. Im Be-reich um den Kamin herum waren keine Ablagerungen zu erkennen.

In der Wohnung wurde nicht geraucht. Weitere Emissionsquellen (außer dem Kamin) waren nicht vorhanden.

Wohnung G:

Die Wohnung G befindet sich in der 1. Etage eines Mehrfamilien-Mietshauses aus den 50er-Jahren in einer ruhigen Nebenstraße in Berlin-Steglitz. Das Phänomen ist laut Bewohnern im Dezember 2000 zum ersten Mal aufgetreten. Die Ablagerungen waren in allen Zimmern nahezu gleichmäßig verteilt und deutlich zu erkennen. Es waren vorwiegend Außenwände betroffen (vgl. Abb. 16 a + b). In der Küche waren einzelne Gegenstände (Kühlschrank, Kaffeemaschine etc.) mit schwarzen Belägen behaftet. Auch im Bad waren die Beläge deutlich erkennbar (vgl. Abb. 16c).

Die Räume waren mit Teppichboden, PVC-Belägen (Küche) und Fliesen (Bad), ausgelegt. Die Wohnzimmerwände waren innerhalb der letzten 12 Monate mit Dispersionsfarbe gestrichen worden. Bei der Renovierung wurde außerdem ein neuer Teppichboden verlegt (unverklebt) und die Heizkörper lackiert worden. Im Bad war eine Wand erneuert und in Küche und Bad waren je ein neuer Heizkörper angebracht worden.

Geraucht wurden nach Angaben der Bewohner etwa 10 Zigaretten pro Tag. Auch Kerzen wurden gelegentlich verwendet.

Geheizt wurde in Herbst und Winter durchgehend mit Fernheizung (Heizkörper und Heizungsanlage wurden einmal eingestellt und blieben dann den ganzen Winter mehr oder weniger in dieser Stellung). Küche und Schlafzimmer wurden weniger beheizt.

Wohnung H:

Wohnung H befindet sich im obersten Stockwerk eines fünfstöckigen Mietshauses aus den 60er-Jahren in einer Nebenstraße in Berlin-Wilmersdorf und wird bereits seit 1965 von der jetzigen Mieterin bewohnt. Erstmals aufgetreten war das Phänomen in der Heizperiode 2000/2001. Renovierungsarbeiten waren zuletzt zwischen November 1998 (Wohnzimmer: neuer Teppichboden verlegt, unverklebt) und April 1999 (Schlafzimmer mit wasserlöslicher Dispersionsfarbe gestrichen; Esszimmer mit Latexfarbe gestrichen) vorgenommen worden. Vor fünf Jahren waren neue Kunststoff-Wärmeschutzverglasungen eingebaut worden.

Die schwarzen Ablagerungen wurden in der Heizperiode 2000/2001 zum ersten Mal von der Bewohnerin wahrgenommen. Intensivere Ablagerungen traten über den Fenstern und in den Ecken an der Decke (vgl. Abb. 17a) auf. Auffällig war das Auftreten entlang der Fußbodenleisten. Die Hausschuhe der Bewohnerin hatten sich beim Umherlaufen schwarz verfärbt (vgl. Abb. 17b).

Geheizt wurde in Herbst und Winter durchgehend (Heizkörper wurden nach Bewohnerangaben einmal eingestellt und blieben dann den ganzen Winter mehr oder weniger in dieser Stellung), alle Räume wurden gleichmäßig beheizt (Fernheizung).

In der Wohnung wurden etwa 10 – 12 Zigaretten pro Tag geraucht, gelegentlich wurden Kerzen verwendet.

4.2 Untersuchungsparameter

Das Untersuchungsprogramm war unterteilt in physikalische, chemische und biologische Messungen. In Tabelle 8 sind die untersuchten Parameter und die dahinterstehende Fragestellung, welchem Zweck die einzelnen Messungen dienten, zusammengefasst.

Mittels Fragebögen wurden die Wohnsituationen und mittels Protokollbögen die Randbedingungen der Messungen dokumentiert.

Tab. 8: Durchgeführte Messungen und dahinter stehende Fragestellung im Überblick

Art der Untersuchung/Parameter	Fragestellung
Oberflächenuntersuchung (Tupfprobe)	Partikelgrößenspektrum Zusammensetzung von Partikeln
Wischprobe	Vorhandensein von Ruß (PAK) Zusammensetzung (SVOC) an Oberflächen (Schwärzungen und Referenzprobe)
„Fogging“- Probenahme	Luftgetragene SVOC (Langzeitmessung 14 Tage)
VOC-Bestimmung	VOC- und TVOC-Belastung der Raumluft
Schwebstaub- Messung	Schwebstaubkonzentration (PM ¹⁰) und Korngrößenverteilung (Vergleich Innenraum-/Außenluft)
Stickstoffdioxid- Messung	Einfluss von Verkehrsemissionen und Verbrennungsprozessen in der Wohnung (Vergleich Innenraum-/ Außenluft)
Luftkeim-Messung	Mikrobiologische Belastungen (Schimmelpilze) (Vergleich Innenraum-/Außenluft)
Thermographie	Aufspüren von baulichen Mängeln (Wärmebrücken, Kondensations- flächen)
Lufttemperatur, relative Luftfeuchte, Luftströmung, Luftwechselzahl	Dokumentation der raumklimatischen Bedingungen (bei Lufttemperatur und Luftfeuchte z. T. Langzeitmessung über 14 Tage)

Tab. 9: Filterdurchmesser und Abscheidedurchmesser (Cut-Off) des verwendeten Kaskadenimpaktors bei Luftdurchsatz von 2,1 m³/h

Stufe	Filterdurchmesser [mm]	Ausstattung [mm]	Cut-Off [µm]
1	70		> 16,5
2	80	21	16,5
2	80	13	10,0
4	80	13	7,5
5	80	13	3,45
6	80	13	2,20
7	80	21	1,15
8	80	21	0,65
9	50		0,35

Die Staubmessungen erfolgten jeweils parallel innerhalb und außerhalb (Terrasse, Balkon) der Wohnungen. Die Sammelzeit lag intervallgesteuert zwischen 24 h und maximal 168 h. Die verwendeten Glasfaserfilter (Fa. Schleicher & Schüll) wurden im Wägeraum (20 °C, 45 % rel. Feuchte) vor jeder Wägung 48 h konditioniert. Die Staubmassen wurden nach Exposition der Filter und anschließender erneuter Konditionierung gravimetrisch bestimmt.

Stickstoffdioxid:

Um den möglichen Einfluss von Verbrennungsgasen innerhalb (Gasthermen, Kamine etc.) und außerhalb der Wohnungen (Kfz-Abgase etc.) zu erfassen, wurden NO₂-Messungen innerhalb (Wohnzimmer, z. T. auch Arbeitszimmer und Schlafzimmer) und parallel außerhalb (Terrasse, Balkon) jeder Wohnung vorgenommen.

Zur Messung wurden Passivsammlerröhrchen nach Palmes, die sich in früheren Studien als zuverlässig erwiesen hatten (MORISKE et al. 1996a + b) (vgl. auch Kap. III-6.2.1 Abschn. 2) eingesetzt. Die NO₂-Röhrchen wurden in einer Höhe von etwa 1,5 Metern in verschiedenen Räumen und auf dem Balkon oder auf der Terrasse platziert. Die Expositionsdauer betrug jeweils eine Woche (168 Stunden). Pro Messung wurden zwei Palmes-Röhrchen paarweise exponiert; die NO₂-Konzentrationen wurden nach Analyse der Röhrchen im Labor errechnet (zum Verfahren vgl. Kap. III-6.2.1 Abschn. 2) und als Mittelwerte aus Doppelpuben angegeben.

Luftkeime:

Um einzugrenzen, ob in einzelnen Wohnungen auch mikrobielle Verunreinigungen, insbesondere Schimmelpilze auftraten, die ebenfalls zu schwärzlichen Verfärbungen an Wand- und Deckenflächen führen können, wurden Luftkeimmessungen durchgeführt. Dazu wurden 6-stufige Kaskadenimpaktoren (Fa. Andersen, Carmel Valley, USA; dt.

Vertrieb Fa. Schaefer, Langen) mit einem Luftdurchsatz von 23,8 l/min und einer Sammelzeit von 5 Minuten eingesetzt (zur Technik der Luftkeimsammlungen vgl. auch Kap. III-4.4.4 und Kap. III-3.2.2 und III-3.3.3). Pro Wohnung erfolgten, wie bei Luftkeimb Bestimmungen üblich, drei Messungen unmittelbar hintereinander innerhalb und parallel außerhalb der Wohnung.

Bestimmt wurden die Gesamtkoloniezahlen (auf Trypton-Soja-Agar (TS-Agar) bei 37 °C und 2 Tagen Inkubation) sowie die Pilzkeimzahlen (auf Malzextraktagar (ME-Agar) bei 25 °C und 2 bzw. 7 Tagen Inkubation).

Thermographie, Strömungsprofile, Luftwechselzahl:

Um zu ermitteln, ob bauliche Mängel als mögliche Einflussfaktoren für das Entstehen der Ablagerungen in Frage kommen, wurden vom Wilhelm-Klauditz-Instituts (WKI) in Braunschweig Wärmebrücken und ausgeprägte Strömungsprofile, durch die sich Orte und Muster der Ablagerungen eventuell erklären ließen, bestimmt sowie Luftwechselmessungen vorgenommen.

Um die zum Teil komplizierten Verfärbungsmuster an Wänden und Decken in „Schwarzen Wohnungen“ zu erklären, wurde die Methode der zeitaufgelösten Thermographie eingesetzt (MEINLSCHMIDT u. SEMBACH 1999; SALTHAMMER u. MEINLSCHMIDT 2001). Dabei ging es vor allem darum, die Transportvorgänge zu klären, die bewirken, dass einige Wand- und Deckenbereiche starke Ablagerungen zeigen und andere wiederum fast gar keine. Die Thermographie-Kamera wurde dazu auf die betreffende Oberfläche gerichtet, und es wurden kontinuierlich Serien von Wärmebildern aufgezeichnet. Diese Bilder zeigen entweder die Erwärmung der betrachteten Oberfläche, z. B. nach dem Anschalten von Heizungen oder Leuchten, oder dokumentieren einen Abkühlungsvorgang. Mit der verwendeten Thermographiekamera, deren Sensoren die von Oberflächen emittierte Infrarotstrahlung in ein sichtbares Videobild (Pixelauflösung 384 x 288) umwandeln, können bereits Wärmeunterschiede auf Objektflächen von ca. 0,01 °C beobachtet und gemessen werden (SALTHAMMER u. MEINLSCHMIDT 2001).

Thermographiekameras liefern Schwarz/Weiß-Bilder mit einer Graustufenauflösung von 8 bis 16 Bit, die häufig mit Hilfe von Falschfarben kodiert werden, um eine bessere Erkennung von Wärmeunterschieden zu ermöglichen. Dabei werden warme Bereiche in der Regel mit roten, und kalte Stellen mit blauen Farben dargestellt.

Wird eine Temperaturänderung an einem Objekt beobachtet, das bereits warm ist, so spricht man von passiver Thermographie. Diese Technik wird bei der Gebäudethermographie eingesetzt, und dient dem Auffinden von Wärmebrücken oder Wasserschäden (FLOHRER 1997). Die aktive Thermographie dient im Gegensatz zur passiven dazu, oberflächennahe sowie transiente Vorgänge sichtbar zu machen. Hierbei werden Temperaturunterschiede wäh-

rend kurzzeitiger Erwärmung oder Abkühlung des Messobjektes beobachtet (FLOHRER 1997). Wird ein Objekt vor oder während des Messprozesses erwärmt, so handelt es sich um aktive Thermographie und im Sonderfall einer sehr kurzen Erwärmung um die sog. Impuls-Thermographie (MEINLSCHMIDT u. SEMBACH 1999). Bei dieser Technik sind absolute Temperaturen in der Regel von untergeordneter Bedeutung, da eine Serie von Aufnahmen mit einem beliebig aufgenommenen Anfangsbild verrechnet werden. Dadurch ist es möglich, auch kleinste Oberflächentemperaturen und Wärmeströmungen sichtbar zu machen, ohne die für Temperaturmessungen notwendigen Materialparameter, wie z. B. Emissionsgrad etc., zu kennen.

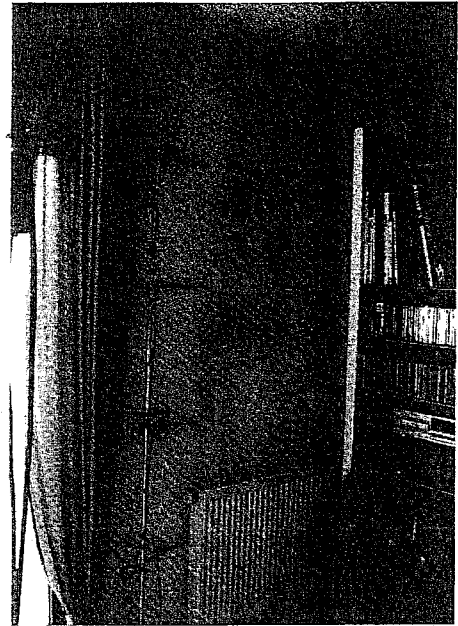
Parallel zu den thermografischen Untersuchungen erfolgte die Bestimmung der Luftwechselzahl mittels Tracergas (Verein Deutscher Ingenieure 2001). Hierzu wurde die Luft mit Lachgas (N_2O) dotiert und die Konzentrationsabnahme von N_2O kontinuierlich mit einem nach dem NDIR-Prinzip arbeitenden Monitor (BINOS, Fa. Leybold-Heraeus) aufgezeichnet.

Die Luftströmungen wurden in den Wohnungen an ausgewählten Stellen jeweils in 60 cm, 120 cm, 180 cm und 230 cm Raumhöhe mit Hot-Wire-Anemometern (Fa. Schiltknecht) gemessen (vgl. Abb. 20).

Raumlufttemperatur, Luftfeuchtigkeit:

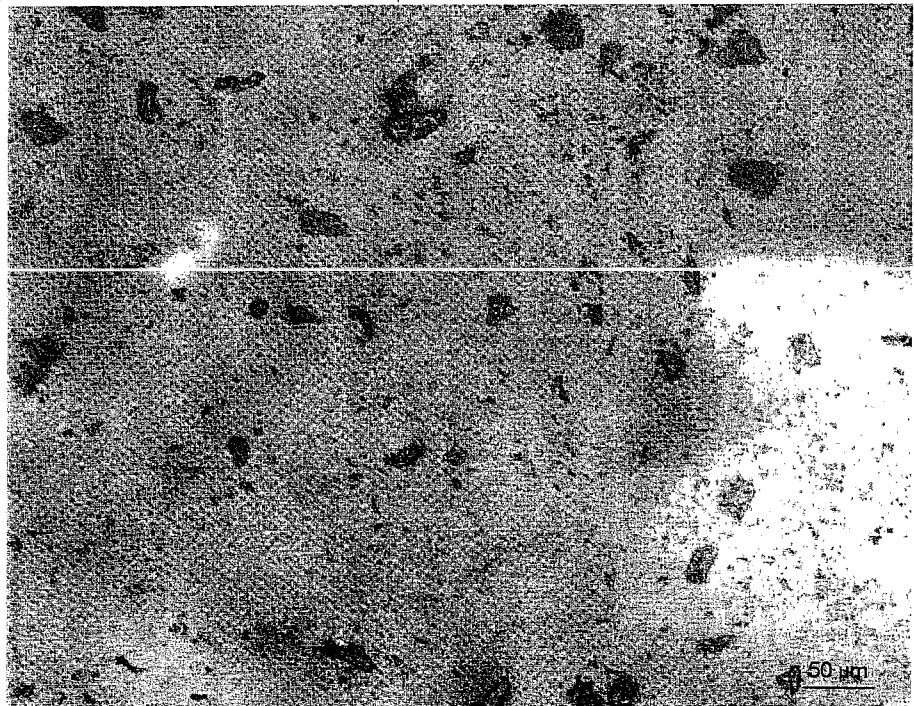
Parallel zu den „Fogging“-Messungen wurden die Raumklimabedingungen (Lufttemperatur und relative Luftfeuchte) 14 Tage lang aufgezeichnet. Mit Hilfe eines Temperatur-

Abb. 20:
Strömungs-
profilmessung
entlang einer
Heizkörper-
wand mit
schwarzen
Ablagerungen



und Feuchtemessgerätes (Hygrolog, Fa. Rotronic, CH-Basetersdorf) wurden die Raumlufttemperaturen und die relativen Luftfeuchtigkeiten kontinuierlich mit einer zeitlichen Auflösung von fünf Minuten gemessen und mit einem Datenlogger aufgezeichnet.

Abb. 21:
Partikel an einer geschwärzten
Wand (Wohnung C), Auswertung
einer Tupfprobe mit dem Lichtmi-
kroskop (200-fache Vergrößerung)



4.3 Ergebnisse

Tupf- und Wischproben:

Geschwärzte Wandoberflächen, von denen mit einem Klebefilm Tupfproben genommen wurden, zeigten an den Probenahmestelle zunächst deutliche Aufhellungen. Es wurden verschiedene Partikelgrößen und -inhaltsstoffe identifiziert (vgl. Abb. 21).

Die vom TÜV NORD vorgenommenen Untersuchungen der Tupfproben mittels Rasterelektronenmikroskop (REM) ergaben die in Tabelle 10 zusammengestellten Partikelgrößenbereiche und Partikel-Inhaltsstoffe in den verschiedenen Wohnungen. Es wurden sehr kleine Partikel in der Größenordnung um 1 µm Durchmesser gefunden, vereinzelt auch größere Partikel bis ca. 20 µm Durchmesser. Die Analysen ergaben, dass die Partikel überwiegend aus organischem Material bestanden, aber auch Elemente wie Aluminium, Calcium, Chlor, Eisen, Kalium, Magnesium, Schwefel, Silizium und Titan enthielten.

In den Wischproben wurden etwa 150 verschiedene SVOC identifiziert. Auf eine Darstellung aller Einzeldaten wird an dieser Stelle verzichtet. Einzelheiten finden sich im Untersuchungsbericht des TÜV NORD (WENSING u. SCHWAMPE 2001).

In Tabelle 11a – c sind die Ergebnisse der Analysen zusammengefasst, getrennt nach einzelnen Stoffgruppen: Tabakalkaloide (zum Nachweis von Tabakrauch in der Wohnung), langkettige Alkane sowie Weichmacherverbindungen (Phthalate und Terphthalate) (zum Nachweis der „Fogging“-Aktivität). Ebenfalls angegeben sind die zum Nachweis des Verbrennungseinflusses gemessenen PAK-Summenwerte (in Ablagerungen und Referenzproben).

In Wohnung A wurden dabei deutliche Einflüsse von Tabakrauch, insbesondere in den schwarzen Ablagerungen, aber auch in der Referenzprobe gefunden. Auch in anderen Wohnungen (C, D, G und H) waren Nikotin und andere Tabakalkaloide nachweisbar. Selbst in den Nichtraucherhaushalten B, E und F waren vereinzelt Tabakalkaloide noch in Spuren nachweisbar.

Langkettige Alkane wurden mehr oder weniger in allen Wohnungen nachgewiesen, und zwar sowohl in den Ablagerungen als auch in den Referenzproben.

Bei den Weichmacherverbindungen gelang in allen Wohnungen ein positiver Nachweis in den Wischproben. Das Dibutylphthalat (DBP) und das Diethylhexylphthalat (DEHP) wurden dabei als Hauptkomponenten identifiziert (vgl. Tab. 11a – c).

Tab. 10: Analyse von Tupfproben schwarzer Ablagerungen mittels Rasterelektronenmikroskopie in den Wohnungen A bis H

Wohnung	Partikelgrößen	Analysierte Inhaltsstoffe
A	viele Partikel um 1 µm nur wenige über 10 µm	10 µm: Chlor, Schwefel, hauptsächlich organischer Art; 1 µm: Aluminium, Silizium, Calcium; 1,5 µm: Aluminium
B	sehr viele Partikel um 1 µm auch Partikel um 10 (bis 50) µm	Aluminium, Eisen
C	viele kleine Partikel um 1 µm wenige größere (10–20 µm)	Chlor, Schwefel, Kalium, Calcium, hauptsächlich organischer Art (nicht näher identifiziert)
D	viele Partikel zwischen 10 und 20 µm, aber auch einige größere	Chlor, Calcium, Silizium, Magnesium
E	viele kleine Partikel (1–5 µm)	hauptsächlich organischer Art (nicht näher identifiziert)
F	viele Partikel um 1 µm	Chlor, Calcium, Titan
G	viele Partikel um 10 µm	Calcium, Silizium, Magnesium, Chlor
H	nur wenige Partikel erkennbar	Silizium, Aluminium, Titan, Kalium

Tab. 11a: In den Wischproben nachgewiesene Stoffgruppen (Wohnung A–C) (Zusammenstellung von KLAR 2002)

Wohnung	Probe	Tabak-alkaloide	höhere Alkane	Phthalate, Terephthalate	polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)*
A	Schwärzung über Heizkörper, Wohnzimmer	auffällige Intensität	in Spuren vorhanden	auffällige Intensität, Hauptkomponente: Dibuthylphthalat	nachweisbar $\Sigma 0,5 \mu\text{g}/\text{m}^2$
	Schwärzung der Wand über einer Kerze (vgl. Abb. IV-4)	auffällige Intensität	in Spuren vorhanden	auffällige Intensität, Hauptkomponente: Dibuthylphthalat	nachweisbar $\Sigma 5,9 \mu\text{g}/\text{m}^2$
	Referenzprobe ohne Schwärzung (Schlafzimmer)	auffällige Intensität	in Spuren vorhanden	auffällige Intensität, Hauptkomponente: Dibuthylphthalat	nachweisbar $\Sigma 3,0 \mu\text{g}/\text{m}^2$
B	Schwärzung über Heizkörper	in Spuren vorhanden	nachweisbar	nachweisbar, Hauptkomponente: Diisobuthylphthalat	nachweisbar $\Sigma 2,7 \mu\text{g}/\text{m}^2$
	Fensterscheibe, seit ca. 4 Wochen nicht gereinigt	in Spuren vorhanden	nachweisbar	nachweisbar; Hauptkomponente: DEHP	nachweisbar $\Sigma 0,05 \mu\text{g}/\text{m}^2$
	Referenzprobe ohne Schwärzung (Schlafzimmer)	nicht nachweisbar	nachweisbar	nachweisbar, Hauptkomponente: Dibutylphthalat	nachweisbar $\Sigma 1,0 \mu\text{g}/\text{m}^2$
	Schwärzung in einem Küchenschrank	nicht nachweisbar	nachweisbar	nachweisbar, Hauptkomponente: DEHP	nachweisbar $\Sigma 0,6 \mu\text{g}/\text{m}^2$
C	Schwärzung über dem Heizkörper im Wohnzimmer	nachweisbar	nachweisbar	nachweisbar, Hauptkomponente: Dibutylphthalat	nachweisbar $\Sigma 1,2 \mu\text{g}/\text{m}^2$
	Fensterscheibe im Wohnzimmer, seit mehreren Monaten nicht gereinigt	nachweisbar	nachweisbar	nachweisbar; Hauptkomponente: DEHP	nachweisbar $\Sigma 0,05 \mu\text{g}/\text{m}^2$
	Holzfußboden im Wohnzimmer	nachweisbar	nachweisbar	nachweisbar; Hauptkomponente: DEHP	nachweisbar $\Sigma 0,2 \mu\text{g}/\text{m}^2$
	Referenzprobe ohne Schwärzung (Wand im Flur)	nachweisbar	nachweisbar	nachweisbar, Hauptkomponente: Dibutylphthalat	nachweisbar $\Sigma 1,0 \mu\text{g}/\text{m}^2$
	Gitter über dem Heizkörper im Wohnzimmer, kpl. abgewischt	nachweisbar	nachweisbar	nachweisbar; Hauptkomponente: DEHP	nachweisbar $\Sigma 0,5 \mu\text{g}/\text{m}^2$

*: 14 PAK nach EPA-Richtlinie 610 (Naphthalin und Acenaphthalin wurden nicht bestimmt)

Tab. 11b: In den Wischproben nachgewiesene Stoffgruppen (Wohnung D-F) (Zusammenstellung von KLAR 2002)

Wohnung	Probe	Tabak-alkaloide	höhere Alkane	Phthalate, Terephthalate	polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)*
D	Wischprobe Fensterscheibe im Wohnzimmer	Nikotin nachweisbar	nachweisbar	nachweisbar; Hauptkomponente: DEHP	nachweisbar $\Sigma 0,3 \mu\text{g}/\text{m}^2$
	Heizungsabdeckung im Wohnzimmer	Nikotin nachweisbar	nachweisbar	nachweisbar, Hauptkomponente: Terephthalate	nachweisbar $\Sigma 0,8 \mu\text{g}/\text{m}^2$
	Tapetenoberfläche im Wohnzimmer (vgl. Abb. IV-11)	nachweisbar	nachweisbar	nachweisbar; Hauptkomponente: DEHP	n. b.
	Referenzprobe ohne Schwärzung (Schlafzimmer)	nachweisbar	nachweisbar	nachweisbar; Hauptkomponente: DEHP	nachweisbar $\Sigma 0,04 \mu\text{g}/\text{m}^2$
	Kacheloberfläche in der Küche	nachweisbar	nachweisbar	nachweisbar; Hauptkomponente: DEHP	nachweisbar $\Sigma 5,0 \mu\text{g}/\text{m}^2$
E	dunkle „Fahne“ über Heizkörper in der Küche	Nikotin in Spuren nachweisbar	nachweisbar	nachweisbar; Hauptkomponente: DEHP	nachweisbar $\Sigma 1,3 \mu\text{g}/\text{m}^2$
	Referenzprobe ohne Schwärzung (Küche)	Nikotin in Spuren nachweisbar	nachweisbar	nachweisbar, Hauptkomponente: Dibutylphthalat	nachweisbar $\Sigma 2,7 \mu\text{g}/\text{m}^2$
	schwarze Ablagerung auf Tapete im Schlafzimmer	nicht nachweisbar	nachweisbar	nachweisbar, Hauptkomponente: Diisobutylphthalat	nachweisbar $\Sigma 28,5 \mu\text{g}/\text{m}^2$
	Referenzprobe ohne Schwärzung (Schlafzimmer)	in Spuren nachweisbar	nachweisbar	nachweisbar; Hauptkomponente: DEHP	nachweisbar $\Sigma 1,7 \mu\text{g}/\text{m}^2$
	Holzfußboden im Wohnzimmer	nachweisbar	nachweisbar	nachweisbar; Hauptkomponente: DEHP	nachweisbar $\Sigma 0,1 \mu\text{g}/\text{m}^2$
F	Schwärzung über Heizkörper im Flur (vgl. Abb. IV-15)	in Spuren nachweisbar	nachweisbar	nachweisbar, Hauptkomponente: Dibutylphthalat	nachweisbar $\Sigma 3,3 \mu\text{g}/\text{m}^2$
	Referenzprobe ohne Schwärzung (Flur)	in Spuren nachweisbar	nachweisbar	nachweisbar, Hauptkomponente: Dibutylphthalat	nachweisbar $\Sigma 8,5 \mu\text{g}/\text{m}^2$
	Schwärzung über Heizkörper im Wohnzimmer	in Spuren nachweisbar	nachweisbar	nachweisbar, Hauptkomponente: Dibutylphthalat	nachweisbar $\Sigma 9,6 \mu\text{g}/\text{m}^2$

*: 14 PAK nach EPA-Richtlinie 610 (Naphthalin und Acenaphthalin wurden nicht bestimmt); n. b. = nicht bestimmt

Tab. 11c: In den Wischproben nachgewiesene Stoffgruppen (Wohnung F-H) (Zusammenstellung von KLAR 2002)

Wohnung	Probe	Tabak-alkaloide	höhere Alkane	Phthalate, Terephthalate	polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)*
F	dunkle Schlieren auf der Heizkörperoberfläche	in Spuren nachweisbar	nachweisbar	nachweisbar; Hauptkomponente: höhere Terephthalate	nachweisbar $\Sigma 0,8 \mu\text{g}/\text{m}^2$
	Fensterscheibe im Wohnzimmer, seit 3 Wochen nicht gereinigt	nachweisbar	in Spuren nachweisbar	nachweisbar; Hauptkomponente: DEHP	nachweisbar $\Sigma 0,2 \mu\text{g}/\text{m}^2$
G	geschwärzte Tapete im Arbeitszimmer	nachweisbar	nachweisbar	nachweisbar, Hauptkomponente: Dibutylphthalat	nachweisbar $\Sigma 7,0 \mu\text{g}/\text{m}^2$
	Referenzprobe ohne Schwärzung (Arbeitszimmer)	nachweisbar	nachweisbar	nachweisbar, Hauptkomponente: Dibutylphthalat	nachweisbar $\Sigma 2,2 \mu\text{g}/\text{m}^2$
	Fensterscheibe im Arbeitszimmer, seit 2 Monaten nicht gereinigt	nachweisbar	nachweisbar	nachweisbar; Hauptkomponente: DEHP	nachweisbar $\Sigma 0,2 \mu\text{g}/\text{m}^2$
	Kacheloberfläche Bad, seit 3 Monaten nicht gereinigt (vgl. Abb. IV-18)	nachweisbar	nachweisbar	nachweisbar; Hauptkomponente: DEHP	nachweisbar $\Sigma 1,0 \mu\text{g}/\text{m}^2$
H	geschwärzte Tapete im Wohnzimmer	nachweisbar	nachweisbar	nachweisbar, Hauptkomponente: Dibutylphthalat	nachweisbar $\Sigma 9,8 \mu\text{g}/\text{m}^2$
	geschwärzte Tapete im Wohnzimmer	nachweisbar	nachweisbar	nachweisbar, Hauptkomponente: Dibutylphthalat	nachweisbar $\Sigma 12,2 \mu\text{g}/\text{m}^2$
	Referenzprobe ohne Schwärzung (Wohnzimmer)	nachweisbar	nachweisbar	nachweisbar, Hauptkomponente: Dibutylphthalat	nachweisbar $\Sigma 2,7 \mu\text{g}/\text{m}^2$
	Fensterscheibe im Wohnzimmer, seit 3 Monaten nicht gereinigt	nachweisbar	nachweisbar	nachweisbar; Hauptkomponente: DEHP	nachweisbar $\Sigma 0,1 \mu\text{g}/\text{m}^2$
	geschwärzte Tapete (Latexfarbe) im Esszimmer	nachweisbar	nachweisbar	nachweisbar; Hauptkomponente: DEHP	nachweisbar $\Sigma 10,9 \mu\text{g}/\text{m}^2$

*: 14 PAK nach EPA-Richtlinie 610 (Naphthalin und Acenaphthalin wurden nicht bestimmt)

Der Vergleich von Wischproben der Ablagerungen und solchen ohne erkennbare Ablagerungen (Referenzproben) ergab hinsichtlich der SVOC-Zusammensetzung insgesamt betrachtet keine nennenswerten qualitativen Unterschiede. Quantitative Unterschiede ergaben sich vor allem in Wohnung D. In Abbildung 22 ist exemplarisch das Chromatogramm einer Wischprobe aus Wohnung D dargestellt. Die Probe wurde im Wohnzimmer von der geschwärzten Tapetenoberfläche entnommen. Hier hebt sich DEHP als Hauptkomponente besonders deutlich hervor. Die zugehörige Referenzprobe enthielt ebenfalls DEHP, allerdings in wesentlich geringerer Konzentration (WENSING u. SCHWAMPE 2001).

Bezüglich der Konzentrationen von PAK in den Wischproben ergaben die Untersuchungen unterschiedliche Resultate in den einzelnen Wohnungen. In Wohnung A ließen sich zum Teil PAK in den Ablagerungen, aber auch in der Referenzprobe nachweisen ($0,5 - 5,9 \mu\text{g}/\text{m}^2$), in Wohnung B wurden weniger PAK ($0,05 - 1 \mu\text{g}/\text{m}^2$) gefunden, ebenso in Wohnung C ($0,05 - 1 \mu\text{g}/\text{m}^2$ und z. T. in Wohnung D ($0,04 - 5 \mu\text{g}/\text{m}^2$). Die höchsten Konzentrationswerte fanden sich in Wohnung E in einer Probe schwarzer Ablagerungen aus dem Schlafzimmer ($28,5 \mu\text{g}/\text{m}^2$) und in Wohnung H an mehreren Ablagerungsstellen mit $9,8 - 12,2 \mu\text{g}/\text{m}^2$. Die Nichtraucherhaushalte E und F waren – zumindest in einzelnen Räumen – nicht weniger mit PAK belastet als die Raucherhaushalte (A, C, D, G und H). Alle PAK-Werte blieben unter dem nach Brandunfällen angestrebten Sanierungszielwert von $100 \mu\text{g}/\text{m}^2$.

„Fogging“-Werte:
In allen Wohnungen wurden „foggingaktive“ SVOC, die sich aus der Raumluft abgeschieden haben, mittels der „Fogging“-Probenahmeapparatur nachgewiesen. Die Summenwerte sind in Abbildung 23 wiedergegeben.

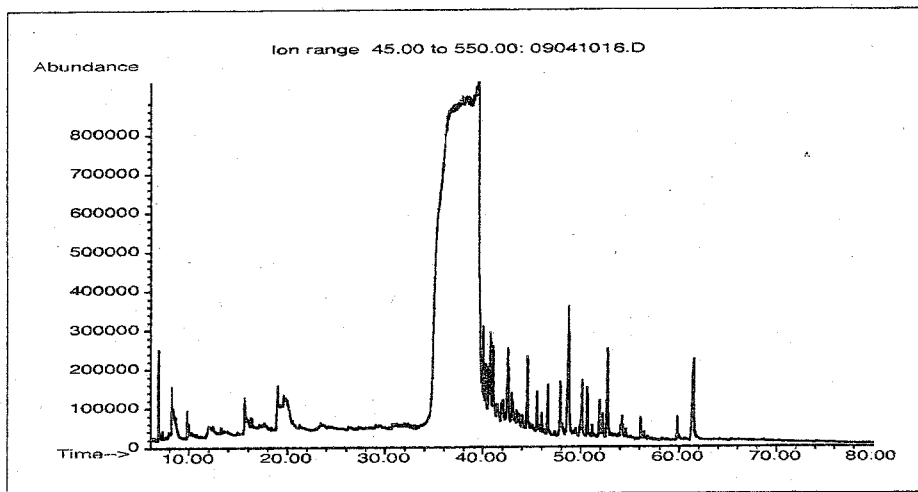


Abb. 22:
Totalionenstromchromatogramm einer Wischprobe aus Wohnung D, Hauptpeak Diethylhexylphthalat (DEHP) (Quelle: WENSING u. SCHWAMPE 2001)

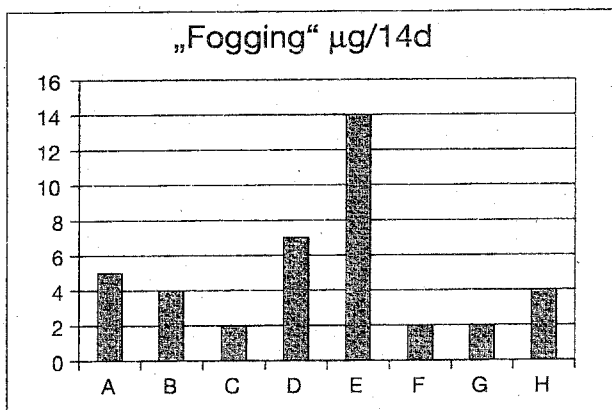


Abb. 23: „Fogging“-Gehalte (µg/14 Tage) von aus der Luft abgetrennten SVOC in den untersuchten Wohnungen A – H

Die höchsten „Fogging“-Werte wurden in Wohnung E mit 14 µg/14 Tage und in Wohnung D mit 7 µg/14 Tage gefunden. Die geringsten „Fogging“-Werte ergaben sich in Wohnung C, F und G mit jeweils 2 µg/14 Tage. In sieben von acht Wohnungen war dabei Diethylhexylphthalat die Hauptkomponente. In Wohnung A wurde Nikotin als Hauptkomponente im Fogging nachgewiesen (Raucherhaushalt).

Flüchtige organische Verbindungen (VOC):

Abbildung 24a + b zeigt die Ergebnisse der VOC-Messungen. Für jede Wohnung wurden jeweils die 100 flächenintensivsten VOC anhand ihres Massenspektrums identifiziert. Die TVOC-Konzentrationen variierten von ca. 310 µg/m³ (Wohnung F) bis ca. 1030 µg/m³ (Wohnung D) (vgl. Abb. 24a). Aufgrund eines nicht zu vermeidenden Quereinflusses durch das Toluol (Toluol wurde als Lösemittel bei der Wischprobenahme eingesetzt) sind die „wahren“ TVOC-Konzentrationen allerdings im Einzelfall möglicherweise um einige Prozent geringer. Nach Abzug des Toluolgehaltes ergeben sich TVOC-Konzentrationen in der Raumluft von ca. 200 – 820 µg/m³ (vgl. Abb. 24b).

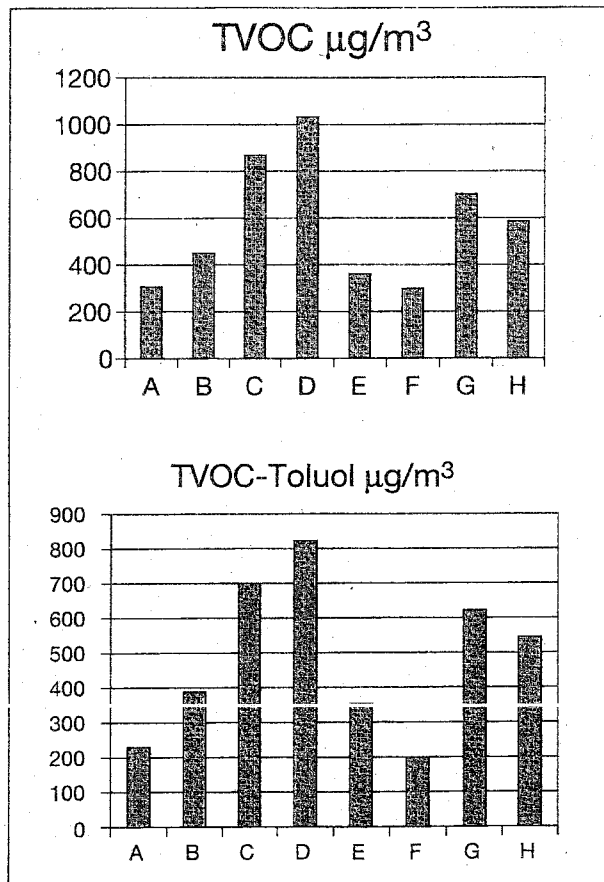


Abb. 24a+b: Summengehalte flüchtiger organischer Verbindungen (TVOC) (Abb. 24a) sowie der TVOC-Gehalte, bereinigt um die Konzentration von Toluol (Abb. 24b) in der Raumluft der untersuchten Wohnungen A – H; Angaben in µg/m³

Schwebstaubgehalte (PM₁₀, Korngrößenfraktionierung):

In Abbildung 25a sind die Schwebstaub-(PM₁₀)-konzentrationen in den Wohnungen A bis H dargestellt. In den Woh-

nungen A, B, D, G und H wurden in der Raumluft höhere PM_{10} -Konzentrationen als parallel in der Außenluft gemessen. In Wohnung C, E und F wurden dagegen etwa gleich hohe oder geringere Konzentrationen als zeitgleich in der Außenluft bestimmt. Die höchsten PM_{10} -Werte wurden in den beiden Raucherhaushalten A bzw. D mit 247 bzw. 269 $\mu g/m^3$ gemessen. Die geringsten Schwebstaubkonzentrationen ergaben sich in Wohnung F (Nichtraucherhaushalt) mit 14 $\mu g/m^3$.

Bei der Korngrößenfraktionierten Staubmessung ergaben sich – bei Summation der einzelnen Impaktorstufen – ähnliche Schwebstaubgehalte in der Innenraum- und Außenluft wie bei den PM_{10} -Messungen. Die höchsten Staubkonzentrationen (der Cut-Off-Bereich reichte bis $> 16,5 \mu m$ auf der ersten Impaktorstufe) wurden erneut in Wohnung D mit 283 $\mu g/m^3$ gemessen, die geringsten in Wohnung F mit 13 $\mu g/m^3$ (vgl. Abb. 25b).

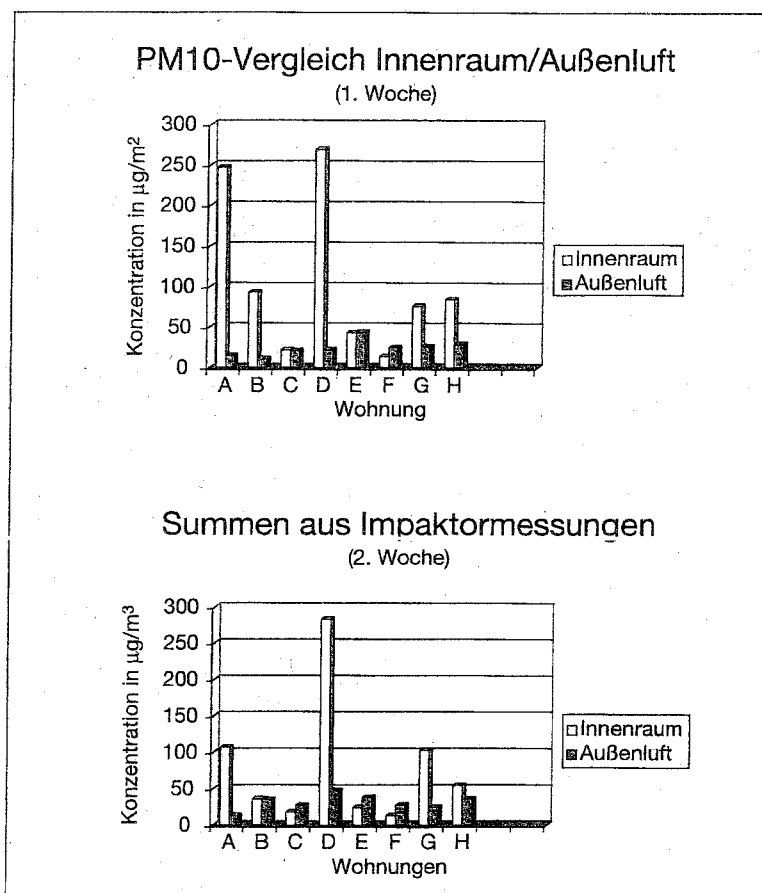
Ein unterschiedliches Bild ergibt sich bei Betrachtung der Korngrößenverteilung auf die einzelnen Impaktorstufenbe-

reiche. Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 26 bis 33 dargestellt. Während in Wohnung A, E und G und – abgeschwächt – auch in Wohnung H zum Teil ein stetiger Anstieg der Staubpartikelkonzentrationen $< 1 - 2 \mu m$ aerodynamischer Durchmesser zu erkennen war, zeigte die Korngrößenverteilung in den übrigen Wohnungen in etwa die bimodale Verteilung von Staubpartikeln, wie man sie im Allgemeinen in der Außenluft in städtischen Regionen findet (vgl. Kap. III-3.1 Abschn. 3.4).

NO₂-Konzentrationen:

Die Ergebnisse der NO₂-Messungen in verschiedenen Räumen der untersuchten Wohnungen sowie in der Außenluft (auf Terrasse oder Balkon) zeigt Abbildung 34a-c. Die Konzentrationen (Wochenmittelwerte) lagen ausnahmslos in allen Wohnungen unter den parallel gemessenen Außenluftwerten. Die höchsten NO₂-Konzentrationen wurden bei Wohnung D (innen bis ca. 25 $\mu g/m^3$; außen bis ca. 40 $\mu g/m^3$) gemessen. Höhere Außenluftwerte ergaben sich auch bei Wohnung E (bis ca. 50 $\mu g/m^3$).

Abb. 25a+b:
Schwebstaubkonzentrationen aus PM_{10} -Messungen (Abb. 25a) sowie aus Impaktormessungen (als Summation der einzelnen Impaktorstufenwerte, Abb. 25b) in den Wohnungen A – H und parallel in der Außenluft vor den Wohnungen; Angaben in $\mu g/m^3$



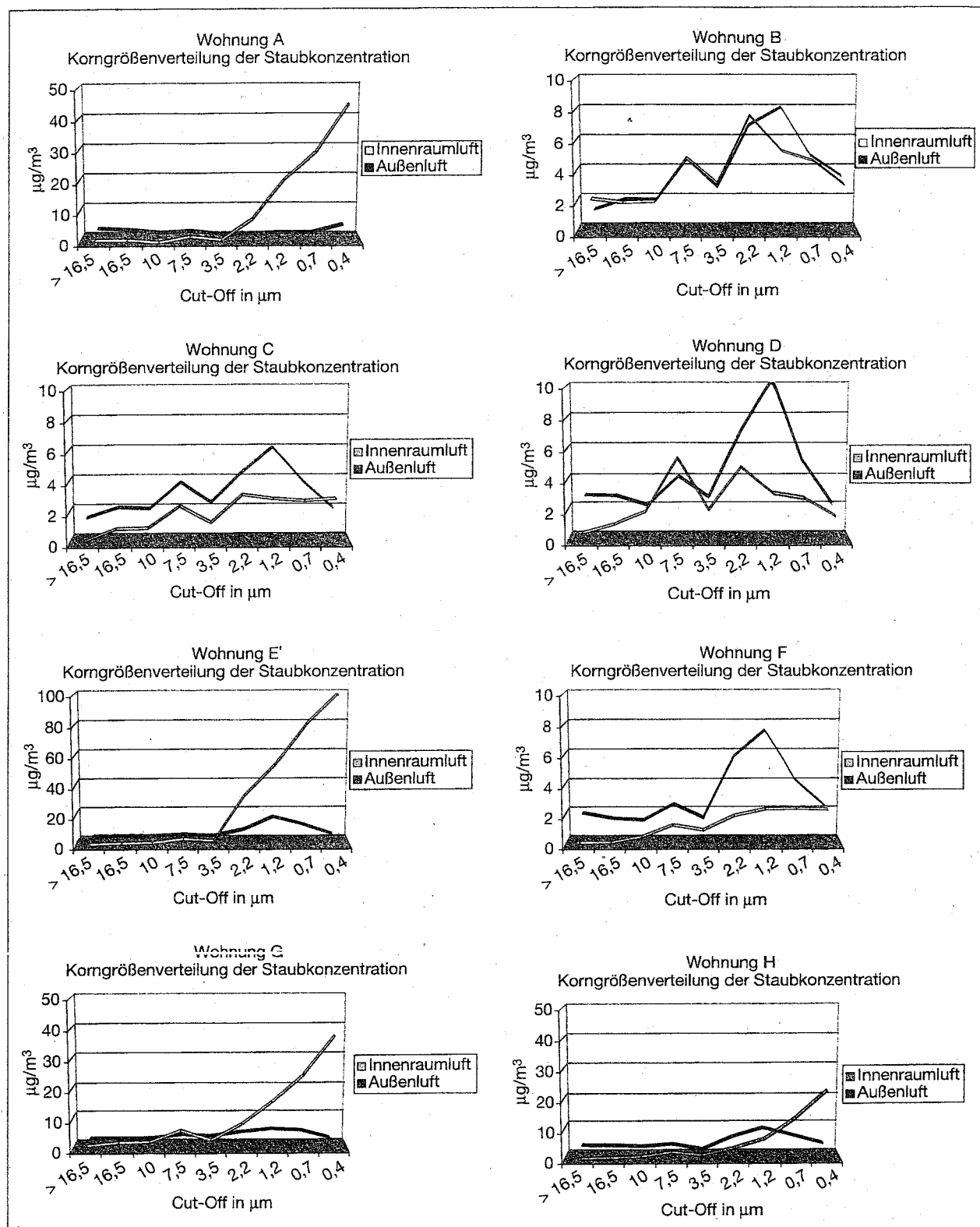


Abb. 26-33: Korngrößenverteilung der Schwebstäube ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) in den untersuchten Wohnungen und parallel in der Außenluft vor den Wohnungen

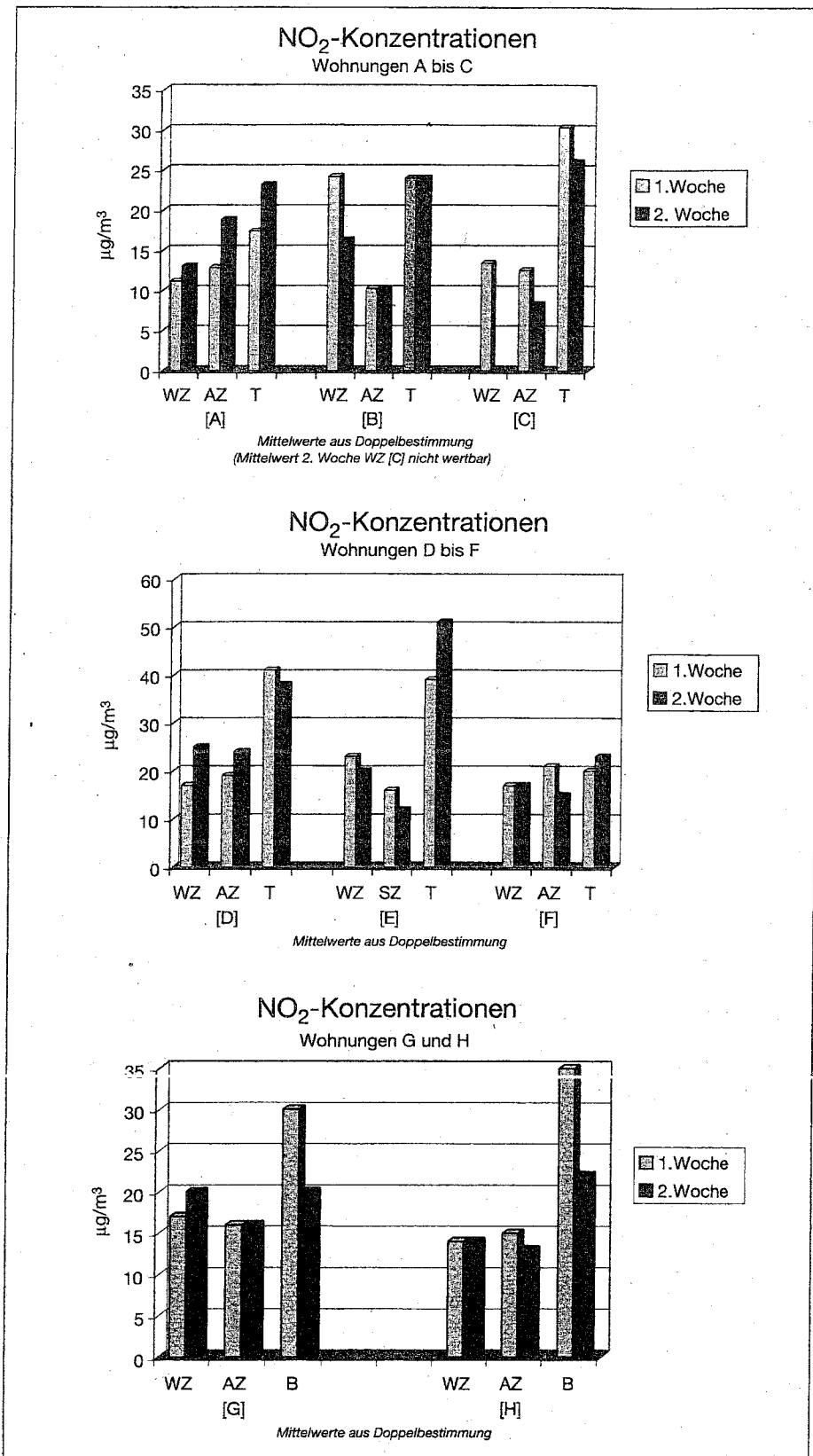


Abb. 34a-c:
Stickstoffdioxid(NO₂)-Konzentrationen (µg/m³) in einzelnen Wohnräumen (WZ = Wohnzimmer, AZ = Arbeitszimmer, SZ = Schlafzimmer) und in der Außenluft (T = Terrasse, B = Balkon); Wochenmittelwerte aus Doppelproben in der 1. und 2. Untersuchungswoche

Tab. 14: In schwarzen Wohnungen identifizierte schwerflüchtige organische Verbindungen (SVOC) (nach WENSING et al. 1998)

Stoffgruppe	Einzelverbindungen
Langkettige Alkane	Heptadecan – Pentatriacontan ($C_{17} - C_{35}$)
Fettalkohole	Tetradecanol, Hexadecanol, Octadecanol
Fettsäuren	Palmitinsäure, Stearinsäure, Ölsäure, Linolsäure, Linolensäure
Fettsäureester	Methylpalmitat, Methylstearat, Butylpalmitat, Cetylpalmitat, Stearylpalmitat
Phthalsäureester	Dimethylphthalat, Dibutylphthalat, Diisobutylphthalat, Benzylbutylphthalat, Diethylhexylphthalat, Dicotylphthalat
Sonstige Stoffe	Adipate, Sebacate, Triterpene, Terephthalate, Squalen, Polyethylenglycole, Siloxane

Bei den Untersuchungen wurden diese Substanzen in den Ablagerungen und zum Teil in der Raumluft (ermittelt über die „Fogging“-Probenahme) gefunden; in einigen Fällen wurden sie auch an Stellen in der Wohnung ohne erkennbare Schwärzung (Referenz-Messstellen) gefunden.

Bei den „Fogging“-Untersuchungen der Raumluft wurden in unterschiedlichem Maße über den Luftpfad eingetragene SVOC nachgewiesen, die in einigen Wohnungen auch an Fensterscheiben und Fliesenoberflächen zu klebrigen SVOC-haltigen Ablagerungen führten. Da die genannten Flächen selber originär keine SVOC enthalten, müssen die SVOC über den Luftweg dorthin gelangt sein (= „Foggingeintrag“). In allen Wohnungen wurden in den schwarzen Ablagerungen SVOC nachgewiesen. In einigen Fällen wurden diese SVOC aber auch in den Referenzstellen gefunden. In diesen Fällen dürfte nicht primär der „Foggingeintrag“ über die Luft, sondern die Reaktion von Staubpartikeln mit SVOC unmittelbar entlang der Oberflächen (= „Klebefilm-effekt“) zu den Schwärzungen geführt haben (MORISKE et al. 2001b; WENSING et al. 2001). Zusammen mit anderen Faktoren (z. B. größere Temperaturdifferenzen zwischen Raumluft und Wandoberflächen, verschiedene Luftströmungen) begünstigten die SVOC-haltigen Untergründe die Ablagerung von Stäuben. Unter Berücksichtigung strömungstechnischer und thermographischer Einflüsse (siehe unten) kam es dann an einzelnen Flächen zu den schwarzen Belägen.

Ein besonders ausgeprägtes Beispiel für diesen „Klebefilm-effekt“ ergab die Untersuchung der Vinyltapete in Wohnung D (vgl. Abb. 22). Die in der Tapete enthaltene Weichmacherverbindung DEHP ist vermutlich durch Migration an die Oberfläche gelangt, was zur Ausbildung eines hochwirksamen Klebefilms führte (MORISKE et al. 2001b).

In einzelnen Fällen wurden in den Wischproben auch erhöhte PAK-Konzentrationen gefunden, und zwar nicht nur

in den Raucherhaushalten, wo es aufgrund der Verbrennung von Tabak zu erwarten war, dass die PAK-Gehalte in den Ablagerungen und Referenzproben vergleichsweise erhöht waren, sondern auch in den Nichtraucherhaushalten E und F. Im Falle der Wohnung E (höchster gemessener PAK-Wert an Schwärzungestelle im Schlafzimmer mit $28,5 \mu\text{g}/\text{m}^2$) könnte PAK-Eintragsquelle u. a. die Nutzung von Öllämpchen gewesen sein. In Wohnung F war hin und wieder ein offener Kamin in Gebrauch, bei dessen Nutzung ebenfalls PAK entstehen können. In Wohnung A ergab sich die Möglichkeit, gezielt eine Oberfläche zu untersuchen, die durch eine an der Wand angeordnete Kerze geschwärzt worden war. Die PAK-Flächenbelastung dieser Probe betrug $5,9 \mu\text{g}/\text{m}^2$, während der PAK-Gehalt einer Vergleichsfläche im selben Raum lediglich bei $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^2$ lag – ein Hinweis auf die Verwendung (rußender) Kerzen.

Über die NO_2 -Messungen in den Wohnungen konnte der Einfluss von Verbrennungsquellen innerhalb der Wohnungen zwar nicht bestätigt werden. Es wurde jedoch ein unterschiedlicher Belastungseinfluss von außen erkennbar. Bei den Wohnungen D und E, die sich in der Nähe von Hauptverkehrsstraßen befanden, lagen die NO_2 -Außenluftkonzentrationen höher als in den übrigen Fällen; in beiden Wohnungen wurden auch in der Raumluft zum Teil höhere NO_2 -Gehalte gemessen.

In einigen Wohnungen wurde geraucht. Den Einfluss des Tabakrauches sowie sonstiger Verbrennungsprozesse in einzelnen Wohnungen belegten insbesondere die Schwebstaubmessungen. In den Raucherhaushalten A, D, G und H wurden zum Teil höhere PM_{10} -Konzentrationen im Vergleich zu den PM_{10} -Konzentrationen in der Außenluft vor den Wohnungen gemessen. Eine Ausnahme bildete nur die Wohnung C, ebenfalls ein Raucherhaushalt. In Wohnung A und D lagen die PM_{10} -Konzentrationen mehr als 10 mal so hoch wie in der Außenluft. Zum Vergleich: Im städtischen Aerosol findet man in Deutschland ca. $20 - 50 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{PM}_{10}$. Beide Wohnungen waren starke Raucherhaushalte. In Wohnung A war zudem ein Einfluss rußender Kerzen (s. oben) nachgewiesen worden.

Die Korngrößenfraktionierung des Staubes zeigte ebenfalls, dass in einigen Fällen – übrigens entgegen zum Teil anders lautender Angaben in den Fragebögen – Verbrennungsvorgänge in der Wohnung stattgefunden haben mussten. Bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe entstehen überwiegend kleine Partikel mit einem Korngrößendurchmesser $< 1 \mu\text{m}$ (vgl. Kap. III-3.1 Abschn. 3).

Bezüglich der VOC-Bestimmungen in der Raumluft wurden im Vergleich mit den Ergebnissen aktueller Studien in „normalen“ Wohnungen (SCHLEIBINGER et al. 2000), keine auffälligen Unterschiede im Hinblick auf den TVOC-Gehalt der Raumluft ermittelt. Die TVOC-Gehalte lagen überwiegend im Bereich der von der Innenraumlufthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes angestrebten Empfehlungswerte (SEIFERT 1999; vgl. auch Kap. III-5

Abschn. 3.2). Auch unter Berücksichtigung früherer Messungen in „Schwarzen Wohnungen“ konnte ein Zusammenhang zwischen dem Phänomen „Schwarze Wohnungen“ und erhöhten VOC-Emissionen damit nicht gefunden werden, auch wenn dieser Zusammenhang von einzelnen Autoren beschrieben wird (Landeshygieneinstitut MV 1999).

Einflüsse der Außenluft und mögliche mikrobielle Belastungen (Schimmelpilzbildung) im Innenraum spielten nach den Untersuchungsergebnissen keine Rolle. Dies deckte sich mit den Angaben aus der Fragebogenaktion, bei der – wenn überhaupt Schimmelpilzmessungen erfolgten – keine Hinweise auf einen Zusammenhang mit den schwarzen Belägen erkennbar wurden (KLAR 2002).

Hinsichtlich der Randbedingungen für das Entstehen der schwarzen Ablagerungen konnte bei den Messungen Folgendes festgestellt werden. Alle raumklimatischen Parameter lagen zum Zeitpunkt der Messungen im „wohnüblichen“ Bereich. Die Auswertung der über 14 Tage aufgezeichneten zeitlichen Temperaturverläufe in der Raumluft ließ zudem erkennen, dass in dem meisten Wohnungen regelmäßig gelüftet wurde. Lediglich in den Wohnungen C, D und G wurde offenbar weniger gelüftet. Zumindest waren bei diesen Wohnungen, im Gegensatz zu den übrigen Wohnungen, keine plötzlichen Temperatureinbrüche in den aufgezeichneten Daten zu erkennen, die, wie die Erfahrung zeigt, oftmals ein Indiz für eine wirksame Lüftung sind.

Bei den acht untersuchten Wohnungen traten in keinem Fall besonders deutliche Wärmebrücken auf. Es wurden jedoch Temperaturdifferenzen an Wandoberflächen festgestellt, die möglicherweise für die Entstehung des Phänomens bereits ausreichend sind.

Der entscheidende Effekt aus physikalischer Sicht sind, wie die Untersuchungen ergeben haben, neben der bevorzugten Ablagerung an kalten Flächen auch Turbulenzen der Luftströmung entlang dieser sich die schwarzen Beläge absetzen. Mittels der thermographischen Untersuchungen und Strömungsmessungen konnte gezeigt werden, warum die Schwarzfärbungen gehäuft an den Innenseiten von Außenwänden, oberhalb von Heizkörpern und an Übergangsbereichen Wand/Decke auftreten, an Innenwänden jedoch seltener beobachtet wurden. Der Einfluss kälterer Wände zusammen mit den thermischen Strömungsbedingungen wird durch das individuelle Wohnverhalten (z. B. durch tagsüber gedrosselte Heizungen bei berufsbedingter Abwesenheit; vgl. Ergebnisse der Fragebogenauswertung) unter Umständen noch verstärkt.

Ferner könnten elektrophysikalische Vorgänge, die im Rahmen des Projektes nicht näher untersucht werden konnten, z. B. ein erhöhtes elektrisches Feld in der Raumluft und/oder elektromagnetische Felder, die sich im Bereich von Lichtschaltern, Steckdosen, diversen elektrischen Geräten ausbilden, das Absetzen der schmierigen Beläge begünstigen (LITVAK et al. 2000). Weitere Einflüsse haben evtl. auch die Raumlufttemperatur und die relative Luftfeuchtigkeit, die u. a. das Emissionsverhalten von SVOC beeinflussen (LOOK et al. 1993; LORENZ et al. 1999). Thermophorese-Prozesse könnten beim Entstehen der schwarzen Beläge ebenfalls eine Rolle spielen. Aufgrund der Messungen konnte jedoch nicht bestätigt werden, dass diese Vorgänge allein, d. h. auch ohne Beitrag von SVOC, für das Entstehen des Phänomens „Schwarze Wohnungen“ verantwortlich sind, wie von einzelnen Autoren beschrieben (GRÜN 2001).

5 Entstehungsursachen des Phänomens „Schwarze Wohnungen“

Zum Phänomen „Schwarze Wohnungen“ wurden in den letzten Jahren zahlreiche Fälle dokumentiert, Messungen von unterschiedlicher Art und unterschiedlichem Niveau vorgenommen sowie verschiedene Theorien zur Entstehung entwickelt (SCHOLZ et al. 1997; MORISKE 1997+1998; TAPPELER et al. 1998; MORISKE 2000a-d; MORISKE et al. 2000; MELZER 2001; MORISKE et al. 2001a+b; WENSING et al. 1998; WENSING u. SALTHAMMER 1999; GRÜN 2001; MÜNZENBERG u. THUMMULA 2001; PLIENINGER 2001; WENSING et al. 2001).

Einzelne Beschreibungen liegen weiter zurück (WEISHEIT 1980; WOLLRAB 1992). Die Auswertung dieser Literatur offenbarte aber, dass es sich dabei nicht um das hier beschriebene Phänomen handelte: zum einen lagen Ammoniumsalzeinträge aus undichten Schornsteinen, zum anderen

eine Verbrennung von Teppich-Wollpartikeln an Heizkörperoberflächen vor.

Aufgrund der umfangreichen eigenen Studien und nach Auswertung der Literatur stellt sich der aktuelle Sachstand wie folgt dar:

- Das Phänomen tritt fast ausschließlich während der Heizperiode in renovierten (oder neu errichteten) Wohnungen auf.
- Schwarze, schmierige Beläge setzen sich binnen weniger Wochen (in Extremfällen binnen weniger Tage) auf verschiedenen Flächen in der Wohnung in einem oder mehreren Räumen ab.
- Durch Emissionen aus den bei der Renovierung/dem Neubau von Gebäuden verwendeten Produkten gelangen oftmals schwerflüchtige organische Verbindungen

(SVOC), insbesondere Weichmacherverbindungen (Phthalate), langkettige Alkane, höhere Alkohole, Fettsäuren und Fettsäureester in die Raumluft. Diese SVOC sind unter anderem in einigen Farben und Lacken (auch in umweltfreundlichen Produkten, da selbst „lösemittelfreie“ Farben nicht frei von Weichmachern und anderen SVOC sein müssen), in Fußbodenklebern, PVC-Bodenbelägen, Vinyltapeten, Kunststoff-Dekorplatten, Holzimitat-Paneele etc. enthalten. Auch Kunststoffoberflächen von Möbeln können Weichmacher enthalten, die an die Raumluft abgegeben werden. Physikalisch gesehen haben SVOC die Eigenschaft, dass sie weniger stark als flüchtige organische Verbindungen (VOC), die man früher z. B. Lacken und Klebstoffen als Lösemittel zusetzte, ausgasen, dafür aber oft über längere Zeit in die Raumluft abgegeben werden können (in Einzelfällen 1 – 2 Jahre und länger; das Konzentrationsniveau in der Raumluft nimmt dabei jedoch kontinuierlich ab) (WASER 1998) (vgl. auch Kap. III-4.2 Abschn. 2–3). Dies führt dazu, dass nach Renovierungsarbeiten, die z. B. im Sommer erfolgt sind, erst in den darauffolgenden Übergangs- und Wintermonaten, wenn geheizt und weniger oft gelüftet wird, die Konzentrationen der SVOC in der Raumluft merklich ansteigen und so – im Beisein weiterer Faktoren – zu den erkennbaren schwarzen Ablagerungen führen können.

- Die SVOC lagern sich an vorhandene Schwebstaubpartikel im Raum an und führen zu einer Agglomeration kleiner Partikel zu größeren Teilchen, die sich in der Folge als schmierige Beläge in der Wohnung absetzen können („Fogging“-Effekt). Darüber hinaus können Staubpartikel auch entlang von weichmacherhaltigen Oberflächen als schmierige Beläge deponiert werden („Klebefilm“-Effekt) (MORISKE et al. 2000).
- Zur Zeit kann nicht abschließend geklärt werden, ob der Eintrag „foggingaktiver“ SVOC immer notwendige Voraussetzung zum Entstehen der schwarzen Beläge ist oder lediglich einer von mehreren Einflussfaktoren, die das Entstehen der Beläge begünstigen.

Es müssen in der Regel mehrere negative Einflussfaktoren zusammenkommen, bevor es zu den plötzlichen schwarzen Staubbelägen in der Wohnung kommt.

Diese Einflussfaktoren sind (es müssen nicht alle Faktoren gleichzeitig vorliegen):

- **Renovierungseinflüsse** (SVOC-Einträge über „Fogging“- und/oder „Klebefilm“-effekt (vgl. Textausführungen),
- **Bauliche Gegebenheiten** (Wärmebrücken, „kalte“ Wandflächen, ungünstige strömungstechnische Einflüsse; intensive Abdichtung der Gebäudehülle und damit Verringerung der natürlichen Luftaustauschs),
- **Raumausstattung** (Materialien, die zusätzlich Weichmacher abgeben, wie PVC-haltige Dekorplatten, Weichmacher enthaltende Möbel),
- **Raumnutzung** (Verwendung zusätzlicher Emissionsquellen für SVOC, wie Öllämpchen, rußende Kerzen; periodisches Heizen; unzureichendes Lüften (nur bei stark abgedichteten Gebäuden); erhöhte Staubkonzentration in der Raumluft),
- **Raumklimatische- und Witterungseinflüsse** (zu geringe Luftfeuchtigkeit; erhöhte Elektrostatik der Luft).

Abbildung 42 fasst die möglichen Parameter und Einflussfaktoren, die zu schwarzen Ablagerungen in Wohnungen führen, graphisch zusammen. Diese bereits 1998 von WENSING et al. erarbeitete Graphik gibt – unter Berücksichtigung auch des aktuellen Kenntnisstandes – einen sehr guten Überblick über die einzelnen Einflussfaktoren, die beim Phänomen „Schwarze Wohnungen“ eine Rolle spielen und zeigt gleichzeitig auf, welche Abgrenzung zwischen einer „klassischen“ Verrußung in der Wohnung und plötzlichen Staubablagerungen im Sinne des in diesem Beitrag beschriebenen „Fogging“-Phänomens bestehen (WENSING et al. 1998; MORISKE et al. 2000).

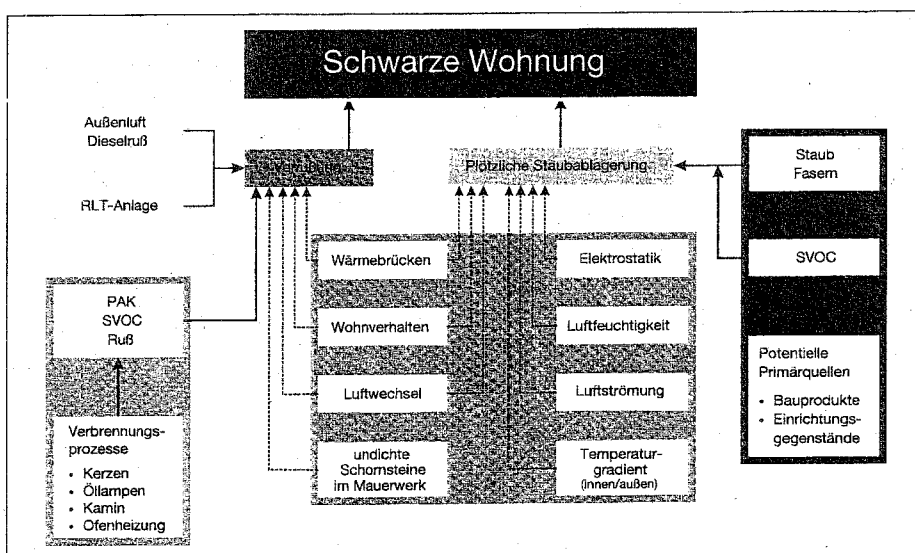


Abb. 42: Zusammenstellung von Faktoren, die zum Entstehen schwarzer Ablagerungen in Wohnungen führen können; Abgrenzung „Verrußung“ und „Fogging“-Phänomen (Quelle: WENSING et al. 1998)

6 Rechtliche Aspekte

Das Auftreten des Phänomens „Schwarze Wohnungen“ ist nicht nur ein hygienisches, sondern oft auch ein rechtliches Problem (MORISKE 2000e; SZEWIERSKI und MORISKE 2002).

Die Fragen, um die es dabei rechtlich geht, sind fast immer die gleichen:

- Der Mieter beklagt einen Wohnungsmangel und mindert einen Teil der Miete.
- Da die Ursachen für das Entstehen der Ablagerungen – selbst bei kooperativer Suche von Mieter und Vermieter – in der Regel unklar bleiben, will keiner für die erforderliche Renovierung der Wohnung aufkommen. Manche Wohnungen sehen nämlich aus, als hätten dort Schwelbrände stattgefunden; entsprechend teuer können die Kosten einer Renovierung sein.
- In einigen Fällen werden vom Mieter Kosten für unbrauchbar gewordene Einrichtungsgegenstände geltend gemacht. Das gilt insbesondere für durch die Ablagerungen funktionsunfähig gewordene elektronische Geräte (z. B. Fernseher, Computer), für Sitzgarnituren (z. B. hel-le Ledermöbel), Gardinen etc.
- In einigen Fällen äußert der Wohnungsnutzer gesundheitliche Probleme und stellt z. B. die Arzt- und Heilkosten in Rechnung.
- Der Vermieter schließt Einflüsse des Gebäudes aus und belegt dies oft mit einem Bausachverständigen-Gutachten. Er verlangt die Rückzahlung der ausstehenden Miete und droht mit Schadensersatzforderungen und Klage vor Gericht.

Über z. B. selbstständige Beweisverfahren vor Gericht muss dann geklärt werden, was die Ursachen der Ablagerungen sind und bei wem die Verantwortlichkeiten für die Entstehung liegen. Oftmals geschieht dies jedoch mit unbefriedigendem Ergebnis, was die Aufklärung des Sachverhaltes und die eindeutige „Schuldzuweisung“ anbelangt.

6.1 Eingrenzung des Problems

Die in den vorherigen Abschnitten dargestellten Zusammenhänge machen deutlich, dass es sich beim Phänomen „Schwarze Wohnungen“ um ein **multifaktorielles Geschehen** handelt, welches zu den schwarzen Ablagerungen in der Wohnung führt. Dies macht es sowohl dem Hygieniker als auch dem Juristen gleichermaßen schwer, eindeutige Zuordnungen für das Entstehen der Beläge zu finden.

Wie gezeigt, entstehen die „Fogging“-Beläge nach Renovierungsarbeiten oder Erstbezug von Wohnungen in neu errichteten Gebäuden.

Da schwarze Beläge an Wänden etc. in der Wohnung auch durch andere Vorgänge entstehen können, nämlich durch klassische Verbrennungsvorgänge oder Schimmelpilzbefall,

der ebenfalls schwarz aussehen kann, sollte bei einer **Besichtigung und späteren Begutachtung ausgeschlossen werden, dass nicht andere Ursachen in Frage kommen**. Das erspart allen Beteiligten eine Menge Zeit und Kosten; denn die Ursachensuche bei Verruungen oder Schimmelpilzbildung gehen in eine ganz andere Richtung als beim „Fogging“-Phänomen und liegen überdies zumeist klarer auf der Hand (vgl. Ausführungen in Abschnitt 7).

Die **Sachstandsermittlung sollte nur durch geeignete Personen** (Innenraumhygieniker, mit dem „Fogging“-Problem vertraute kompetente Sachverständige) erfolgen. Fehleinschätzungen der Sachlage sind ansonsten nicht auszuschließen.

Handelt es sich um das „Fogging“-Phänomen, beginnt die eigentliche Ursachensuche.

Erschwert wird sie dadurch, dass der Sachverständige im Allgemeinen erst dann in die Wohnung gerufen wird, wenn das Problem bereits einige Zeit vorhanden ist (manchmal traten die ersten Beläge schon in der vorherigen oder weiter zurückliegenden Heizperioden auf, wurden seither jedoch nicht entfernt). Man muss zwischen „aktiven“ und nicht mehr aktiven Schwärzungen unterscheiden (MORISKE et al. 2001). Das bedeutet, dass mit einer aktuellen Analyse oft nicht mehr exakt der Zustand der Entstehung der Ablagerungen in der Wohnung erfasst wird, sondern der momentane Zustand der Wohnung. Chemisch können in den Ablagerungen dann bereits weitere Stoffe (Sekundärkontaminationen) enthalten sein, die das Analyseergebnis verfälschen. Besser auswertbar sind die Fälle, bei denen der Sachverständige die Wohnung besichtigt, wenn die Ablagerungen gerade erst entstanden sind – das dürfte jedoch die Ausnahme bleiben. **Wichtig ist rechtzeitiges Handeln aller Beteiligten.**

Kompliziert aus der Sicht des Hygienikers wird die personenmäßige **Zuordnung der Gefahrenkreise** in der Wohnung. Wie gezeigt, entstehen die Ablagerungen, von Ausnahmefällen mit extrem hohen Weichmachereinträgen abgesehen, erst dann, wenn gleichzeitig mehrere negative Einflussfaktoren vorliegen. Diese können in unterschiedlichen Zuständigkeitsbereichen liegen.

Es gibt Faktoren, die im Gebäude zu suchen sind. Es handelt sich hierbei in erster Linie um bauliche Mängel, wie klassische Wärmebrücken. An kalten Außenwänden setzen sich die schmierigen Beläge bevorzugt ab. **Der bauliche Mangel führt im Einzelfall dazu, dass die Beläge überhaupt erst sichtbar werden bzw. deren Erscheinungsbild verstärkt wird.** Nicht immer jedoch müssen bauliche Mängel zum Entstehen der „Fogging“-Beläge beitragen. **Durch ein Gutachten muss geklärt werden, ob Baumängel vorliegen (Baufachmann) bzw. ob Baumängel zu den Ablagerungen beitragen haben könnten.**

Durch das Nutzungsverhalten der Bewohner bedingte Einflussfaktoren sind z. B. der Gebrauch von Öllämpchen oder **rußende Kerzen** in der renovierten Wohnung. Auch wenn diese, für sich betrachtet, nicht zu dem beschriebenen Phänomen führen (eine rußende Kerze gibt i. A. nur einen Rußfleck an der Decke, aber keine massiven Verfärbungen in der ganzen Wohnung), so **können sie jedoch bei Vorliegen weiterer Faktoren (vgl. Abschnitt 5) die Entstehung der schwarzen Ablagerungen beschleunigen bzw. intensivieren.** Problematisch scheint hier, dass der Wohnraumnutzer in der Regel gar nicht weiß, dass der Gebrauch von Öllampen oder Kerzen zu schwarzen Belägen in der renovierten Wohnung führen kann.

Das Gleiche gilt für das Heiz- und Lüftungsverhalten. An dieser Stelle muss betont werden, dass unzureichendes Lüften oder falsches Heizen allein in keinem einzigen bisher bekannten Fall zum „Fogging“-Phänomen geführt hat. Wir wissen aber aus zahlreichen Fällen, dass z. B. periodisches Heizen (gemeint ist die vollständige Drosselung der Heizkörperthermostaten während der Abwesenheit der Bewohner und das Wiederaufdrehen während der Anwesenheit, nicht die allgemein übliche Tag-/Nachtabsenkung des zentralen Heizkessels) das Entstehen der Ablagerungen begünstigen kann.

Bei der Frage des Eintrages der „Fogging“-Verbindungen in die Raumluft können Wohnraumnutzer, Gebäudebetreiber oder Handwerker beteiligt sein, je nachdem, wer die Renovierungsarbeiten in der Wohnung durchgeführt oder in Auftrag gegeben hat. Auch hier stellt sich die Frage, woher die Renovierenden wissen sollen, dass die von Ihnen verwendeten Produkte oder Einrichtungsgegenstände schwarze Beläge erzeugen können. Aus fachlicher Sicht ist hier anzumerken, dass es bis heute erst wenige Hersteller gibt, die auf ihren Produkten angeben, ob darin z. B. Weichmacher enthalten sind oder nicht (MORISKE 2000d). Nicht jedes weichmacherhaltige Produkt, führt, wie gezeigt, aber nach Anwendung zu einem „Fogging“-Problem, so dass viele Hersteller sich bis heute darauf zurückziehen, dass die Verantwortlichkeit ihrer Produkte zum Entstehen der „Fogging“-Ablagerungen gar nicht bewiesen ist und sie deshalb nichts deklarieren müssen. Einige Wandfarbenhersteller gehen hier seit einiger Zeit mit positivem Beispiel voran und haben Farben im Angebot, die „lösemittel- und weichmacherfrei“ sind. Für den Verbraucher sollte dies anwenderfreundlich auf dem Produkt vermerkt sein (Umweltbundesamt 2001a+b).

6.2 Gesundheitsgefahren durch „Fogging“-Ablagerungen

Ein mögliches Argument für Mietminderungen beim Vorliegen des „Fogging“-Phänomens ist die Sorge um mögliche Gesundheitsrisiken für die Bewohner.

Eine gesundheitliche Gefährdung besteht nach gegenwärtigem Erkenntnisstand nicht, da die SVOC-Konzentrationen

in der Raumluft zwar gegenüber nicht von schwarzen Ablagerungen betroffenen Wohnungen geringfügig erhöht sein können, das Konzentrationsniveau dennoch aber deutlich unterhalb der Schwelle einer möglichen akuten Gesundheitsgefahr bleibt. Ein Gesundheitsrisiko kann bei Vorliegen erhöhter PAK- und/oder Rußkonzentrationen in den Ablagerungen gegeben sein, was bei intensiven Verbrennungsvorgängen vorkommt.

Aus hygienisch-präventiven Gründen empfiehlt sich in jedem Fall eine Beseitigung der Ablagerungen und Klärung der Ursachen im Einzelfall.

6.3 Schadensbeseitigung

Nicht unerheblich aus rechtlicher Sicht ist die Frage der Kosten, die für eine Beseitigung der Schäden erforderlich sind.

Dazu muss man wissen, dass zur Beseitigung nicht unbedingt alle Einflussfaktoren eliminiert werden müssen, sondern es in der Regel genügt einzelne Faktoren zu beseitigen. Beispielsweise kann beim erneuten Renovieren eine Wandfarbe gewählt werden, die wenig oder gar keine „fogging-aktiven“ Substanzen enthält. In Einzelfällen kann auch eine Änderung des Lüftungs- und Heizverhaltens zum Verschwinden des Phänomens beitragen. Die Beseitigung baulicher Mängel (Wärmebrücken) führt dazu, dass sich die Beläge nicht mehr an solchen Stellen bevorzugt absetzen können.

Gemeinsam ist allen bisher bekannten Fällen, dass die Ablagerungen zwar rußähnlich aussehen (aber kein Ruß sind, was nicht ausschließt, dass Rußablagerungen, wie beschrieben und wie bei den eigenen Messungen bestätigt, im Einzelfall gemeinsam mit „Fogging“-Ablagerungen auftreten können) und sich ölig-schmierig anfühlen. Zu Ihrer Beseitigung wird deshalb in der Regel eine intensive Reinigung mit Spülmittelzusätzen, Kunststoffreinigern etc. erforderlich sein. Bloßes Überstreichen hilft wenig! Bei der Reinigung können betroffene Tapeten o. ä. derart in Mitleidenschaft gezogen werden, dass sie vollständig entfernt werden müssen. Das erhöht naturgemäß die Kosten einer erneuten Renovierung.

In Einzelfällen müssen Bodenbeläge (PVC-Beläge etc.) entfernt und größere bauliche Eingriffe (Reduzierung von Wärmebrücken) durchgeführt werden. Dies erhöht die Kosten weiter.

6.4 „Fogging“ als Mangel der Mietsache

Zum „Fogging“-Phänomen in Wohnungen gibt es bereits erste Urteile von Amts- und Landgerichten. Die Auswertung dreier bereits ergangener Urteile (LG Ellwangen, Urteil vom 09. März 2001, AZ 1 S 244/02, AG Hamburg, Ur-

teil vom 01. August 2000, AZ 48 C 299/99, AG Hamburg-Wandsbeck, Urteil vom 29. Mai 2000, AZ 712 DC 27/99) zeigt, wie sich Juristen diesem Problem genähert haben (Einzelheiten siehe bei SZWEWIERSKI u. MORISKE 2002).

Aus der Beschreibung des Erscheinungsbildes des „Fogging“-Phänomens lässt sich unschwer erkennen, dass es sich bei Auftreten um einen Fehler der Mietsache handelt,

der ihre Tauglichkeit zum vertragsmäßigen Gebrauch erheblich mindert.

Ausgangspunkt bei der rechtlichen Beurteilung ist die verschuldensunabhängige Haftung des Vermieters für die Überlassung einer mangelfreien Mietsache. Der Mieter wiederum hat Beschädigungen, die über den vertragsgemäßen Gebrauch hinausgehen, zu unterlassen (SZWEWIERSKI u. MORISKE 2002).

7 Praktische Vorgehensweise bei der Beurteilung des Phänomens „Schwarze Wohnungen“

Der Mechanismus einer möglichen Entstehung der schwarzen Ablagerungen ist, wie gezeigt, sehr facettenreich. Es gibt bis heute deshalb kein „Patentrezept“, nach welchem ein auftretender Fall zu beurteilen ist. Vielmehr muss im Einzelfall entschieden werden, wie genau vorzugehen ist und welche Lösungsansätze gewählt werden können. Die folgende Aufstellung soll dem mit der Beurteilung von Foggingfällen betrauten Sachverständigen ein systematisches Vorgehen erleichtern (MORISKE 2002) (siehe Kasten 1).

Zur Klärung im Einzelfall werden neben der Ortsbegehung und Fragebogenerhebung im Einzelfall Analysen in den betroffenen Wohnungen durchzuführen sein. Eine Analyse ist jedoch nur dann sinnvoll, wenn bereits durch die Ortsbeachtung der Verdacht auf „Fogging“ bestätigt wurde und das Entstehen der Ablagerungen noch nicht sehr lange zurückliegt (die letzte Renovierung sollte am besten innerhalb des letzten halben Jahres vor dem erstmaligem Auftreten der Beläge erfolgt sein). Bei weiter zurückliegenden Fällen sind zwischenzeitlich erfolgte Sekundärkontamination oder chemische Weiterreaktionen in den Ablagerungen zu berücksichtigen; unter Umständen können sie die Aussagekraft der Analysen unmöglich machen.

Eine Analyse empfiehlt sich aber auch dann, wenn nicht ganz klar ist, ob es sich um Foggingeinträge oder um Rußrückstände aus Verbrennungsprozessen (oder beides) handelt (die Analyse kann hier Klärung schaffen) und dies möglicherweise zur rechtlichen Streitigkeiten zwischen Mieter und Vermieter führt (vgl. Anmerkungen in Abschnitt 6).

Kasten 1:

Vorgehensweise (Schrittfolge) zur Ermittlung der Ursachen des Phänomens „Schwarze Wohnungen“:

I) Ortsbegehung

- Sichtung (Aussehen und Art der Beläge, Orte der Ablagerung, Intensität)
- Fingerprobe (schmierig?)
- Zustand des Hauses (außen+innen)
- Baulicher Zustand der betroffenen und ggf. benachbarter Wohnungen
- Quellen in der Wohnung? (Öfen, Öllampen, Kerzen etc.)
- Quellen (Rußeinträge) von außerhalb der Wohnung?

II) Hintergrundinformationen

- Fragebogenerhebung
- Ggf. weitere Hintergrundinformationen (Problem wie und wann entstanden, Art der Renovierung etc.)
- Produktinformationen (für Produkte bei Renovierung)

III) Messungen

- Analyse der Ablagerungen (Wischproben: SVOC, PAK, ggf. Ruß)
- Raumluftanalyse (Schwebstaub, Korngrößenverteilung, Fogging-Messung, PAK-Messung)
- Außenluftmessung (Schwebstaub)
- Mikrobiologische Messungen (nur bei Verdacht auf Schimmelpilzbefall)
- Temperatur-, Feuchtemessung im Raum

IV) Stellungnahme/Gutachten

- Auswertung der Fragebögen und Analysenbefunde
- Bauliche Gegebenheiten
- Nutzerverhalten
- „Gerichtsfeste“ Stellungnahme
- Empfehlungen/Minimierungsmaßnahmen

8 Schlussbetrachtung

Das Phänomen „Schwarze Wohnungen“ ist wie beschrieben ein sehr komplexer Vorgang zu dessen Entstehung in der Regel mehrere Einflussfaktoren notwendig sind.

Es stellt sich dabei die Frage, warum dieses aktuelle Innenraumproblem erst seit den 90er-Jahren gehäuft auftritt und nicht schon früher, z. B. in den 70er- und 80er-Jahren in Erscheinung getreten ist. Die in der Literatur vereinzelt zu findenden früheren Darstellungen (WEISHEIT 1980; WOLLRAB 1992) haben einen anderen Entstehungshintergrund, wie Verrußungen, Verbrennung von Teppichflusen etc. (vgl. Abschnitt 5).

Da das Problem immer nur nach Renovierungsarbeiten und/oder Erstbezug neu errichteter Wohnungen in Erscheinung tritt, müssen die übergeordneten Gründe offenbar hierin zu suchen sein.

Bei vielen Herstellern von Bau- und Renovierungsprodukten sowie Einrichtungsgegenständen gibt es seit einigen Jahren das Bestreben, die Rezepturen dahingehend zu ändern, dass z. B. bei Farben, Lacken oder Klebstoffen weniger flüchtige organische Verbindungen (VOC) sondern vermehrt schwerflüchtige organische Verbindungen (SVOC) als Lösemittel, Additive etc. zugesetzt werden. Die eingesetzten Stoffe sind geruchlich oft nicht wahrnehmbar, in der Regel weniger gesundheitsbedenklich und müssen nicht als Lösemittel deklariert werden (organische Verbindungen, die oberhalb etwa 200 °C sieden, sind per definitionem keine „Lösemittel“) (zur Definition der VOC und SVOC vgl. auch Kap. III-4.2 Abschn. 2 und 3). Der Hersteller kann das Produkt als „lösemittelfrei“ auf dem Markt anbieten,

heutzutage ein nicht zu unterschätzendes positives Werbe- und Verkaufsargument.

Ein weiterer Umstand ist, dass aus Gründen des Wärmeschutzes und der Energieeinsparung bei Neubauten, aber auch bei der umfassenden Altbauanierung, die Gebäudehülle immer dichter wird, um die Verluste an eingesetzter Primärenergie zum Beheizen der Gebäude soweit wie möglich zu minimieren (MORISKE 2001) (vgl. auch Kap. IV-7.4). Die Wärmeschutzverordnung aus dem Jahr 1995 schaffte hier lange Zeit den rechtlichen Rahmen; seit 1.2.2002 gilt die Energieeinsparverordnung (EnEV), die eine weitere Minimierung des Primärenergieeinsatzes in Gebäuden vorsieht, was wiederum – in der bautechnischen Praxis – zu einer weiteren Abdichtung der Gebäude führen wird (die EnEV lässt allerdings auch andere Aspekte zur Reduzierung und Bilanzierung des Energieverbrauches in Gebäuden zu, so z. B. die passive Energiegewinnung aus Sonnenenergie etc.).

Das Problem der „Schwarzen Wohnungen“ scheint damit aus heutiger Sicht noch lange nicht beseitigt, auch wenn erste Schritte unternommen wurden, um z. B. den Eintrag „foggingaktiver“ Stoffe in die Raumluft nach Renovierungsarbeiten zu verringern. So bieten verschiedene Farbenhersteller seit einiger Zeit nicht nur „lösemittelfreie“, sondern auch „lösemittel- und weichmacherfreie“ Produkte in den Verkaufsregalen an.

In diesem Zusammenhang ist es erforderlich, die Kriterien für eine „Foggingaktivität“ eines Produktes genauer zu definieren und entsprechende Prüfvorgaben zu erarbeiten.

Literatur

BAUHOF, H. und M. WENSING: Standard test methods for the determination of VOCs and SVOCs in automobile interiors. In: Indoor air pollutants. Ed.: T. SALTHAMMER. Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim (1999) 105 – 115

BAUHOF, H., WENSING, M., ZIETLOW, J. und K. MÖHLE: Prüfstandsmethoden zur Bestimmung organisch-chemischer Emissionen des Pkw-Innenraums. ATZ Sonderheft 25 Jahre FAT (1996) 37 – 42

DEKERMENJIAN, M. und M. SHUM: Investigation of black material on walls and household contents in two residences. Proceedings Indoor Air 2002. Ed.: H. LEVIN, Santa Cruz (2002) 751 – 754

DIN – Deutsches Institut für Normung: Bestimmung des Fogging-verhaltens von Werkstoffen der Kraftfahrzeuginnenausstattung, DIN 75201, Beuth-Verlag, Berlin (1992)

FIEDLER, K.: Nachweismethoden, gesundheitliche Bewertung und Bekämpfung von Schimmelpilzbefall in Räumen Teil IV. Wohnmedizin 40 (2002) 51 – 59

FLOHRER, M.: Wärmeverluste auf der Spur – Wärmetechnische Gebäudediagnose und Qualitätskontrolle mittels Infrarot-Thermographie – Thermische Bauphysik, Beratende Ingenieure, Springer, Heidelberg/VDI-Verlag, Düsseldorf (1997)

GARRETSON, L.D. und E.D. GOLLA: Unambiguous confirmation by GCMS and large volume injection of residential soot contamination from the burning of candles. Proceedings Indoor Air 2002. Ed.: H. LEVIN, Santa Cruz (2002) 543 – 548

GRÜN, L.: Das Phänomen plötzlicher Staubablagerungen (Magic Dust?) – Welche Rolle spielen Heizung, Lüftung und Bauphysik?. Tagungsband des 6. AGÖF-Fachkongresses der Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) am 20. und 21. September 2001 in Nürnberg, Nürnberg (2001) 312 – 318

KLAR, A.: Untersuchungen zu plötzlichen Schwarzfärbungen in Innenräumen. Diplomarbeit am Institut für Technischen Umweltschutz, Fachgebiet Hygiene der Technischen Universität Berlin, angefertigt im Rahmen eines Forschungsprojektes des Umweltbundesamtes. Berlin (2002)

Landeshygieneinstitut Mecklenburg-Vorpommern: Jahresbericht Umwelthygiene, Schwerin (1999)

LITVAK, A., GADGIL, A.J. und W.J. FISK: Hygroscopic fine mode particle deposition on electronic circuits and resulting degradation of circuit performance: An experimental study. *Indoor Air* 10 (2000) 47 – 56

LOOCK, F., LAMPE, Th. und A.M. BAHADIR: Temperaturabhängigkeit des Fogging-Phänomens. In: *Kunststoffe*. Heft 3 (1993)

LORENZ, W., SIGRIST, G. und H. OTTO: Feuchtigkeitsinduzierte Emissionen aus weichmacherhaltigen Werkstoffen und deren Wirkungen. In: *Zeitschrift für Umweltmedizin*. 7 (1999) 32 – 38

MEINLSCHMIDT, P. und J. SEMBACH: Industrial Thermographic Inspection Of Delaminations In Laminated Wood-Based Panels, Third European Workshop on non-destructive testing of panel products, Oct. '99, Llandudno (1999)

MELZER, W.: Schwarzverfärbung von Innenräumen („Fogging-Effekt“). Fachinformation des Chemisch-Technologischen Laboratoriums Dr. W. Melzer, Bremen (2001)

MORISKE, H.-J.: (Plötzliches) Auftreten von Staubimmissionen in Wohnungen. Umweltmedizinischer Informationsdienst. Umweltbundesamt. Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Berlin, Nr. 3 (1996) 29–32

MORISKE, H.-J.: Plötzliche Staubimmissionen in Wohnungen: Neue Aspekte, Fragebogenaktion. Umweltmedizinischer Informationsdienst. Umweltbundesamt. Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Berlin, Nr. 1 (1997) 15 – 19

MORISKE, H.-J.: Plötzliche Staubablagerungen in Wohnungen – Auswertung der Fragebogenaktion aus UMID 1/1997. Umweltmedizinischer Informationsdienst. Umweltbundesamt, Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Berlin Nr. 2 (1998) 28 – 30

MORISKE, H.-J.: Zum „Phänomen Schwarze Wohnungen“. Umweltmedizinischer Informationsdienst. Umweltbundesamt Nr. 1 (2000a) 24 – 30

MORISKE, H.-J.: Rätselhaft schwarze Ablagerungen in Wohnungen – das Fogging-Phänomen. *Arconis-Baufachzeitschrift*. Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart 5 (2000b) 34 – 35

MORISKE, H.-J.: Zum Auftreten von plötzlichen Staubimmissionen in Wohnungen – das Phänomen der „Schwarzen Wohnungen“. *Schornsteinfegerhandwerk* 54 (2000c) 13 – 17;

dito: *K & L Magazin* 15 (2001) 14 – 18

MORISKE, H.-J.: „Schwarze“ Wohnungen und der „Fogging“-Effekt – ein Phänomen auf der Spur. *Caparol-Werkstofftag 2000*, Tagungsband, Fa. Caparol, Ober-Ramstadt (2000d) 1 – 8

MORISKE, H.-J.: Das Phänomen „schwarzer“ Wohnungen – ein hygienisches und juristisches Problem. *Neue Zeitschrift Miet- und Wohnungsrecht (NZM)* 3 (2000e) 894 – 897

MORISKE, H.-J.: Innenluftraumqualität in Wohn- und Bürogebäuden: Erfordernisse aus der Sicht der Lufthygiene. In: *Der Sachverständige* 28 (2001) 228 – 233

MORISKE, H.-J.: Rätselhaft schwarze Staubablagerungen in Wohnungen – das „Fogging“-Phänomen. In: *Bauschadensfälle*, Band 2. Hrsg.: G. Zimmermann und R. Schumacher. Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart (2002) im Druck; dito: In: *Der Bau- und Immobilien-Sachverständige*, Heft 5 (2002) im Druck

MORISKE, H.-J., RUDOLPHI, A., SALTHAMMER, T. und M. WENSING: Zum Phänomen der „Schwarzen“ Wohnungen – Aktueller Sachstandsbericht. *Gesundheits-Ingenieur* 121 (2000) 305 – 311

MORISKE, H.-J., SALTHAMMER, T., WENSING, M., KLAR, A., EBERT, G., MEINLSCHMIDT, P., PARDEMANN, J., RIE-MANN A. und W. SCHWAMPE: Neue Untersuchungsergebnisse zum Phänomen „Schwarze Wohnungen“. *Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft* 61 (2001) 387 – 394

MORISKE, H.-J., SCHÖNDUBE, M., MENK, G. und B. Seifert: Erfassung von NO₂-Konzentrationen in der Außenluft mittels Passivsammlern nach Palmes. 1. Mitteilung: Laborversuche und Qualitätssicherung. *Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft* 56 (1996a) 129 – 132

MORISKE, H.-J., SCHÖNDUBE, M., EBERT, G., MENK, G., SEIFERT, B. und H.-J. ABRAHAM: Erfassung von NO₂-Konzentrationen in der Außenluft mittels Passivsammlern nach Palmes. 2. Mitteilung: Feldversuche. *Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft* 56 (1996b) 161 – 164

MORISKE, H.-J., WENSING, M. und T. SALTHAMMER: Zum Phänomen der „Schwarzen Wohnungen“. Technische Akademie Esslingen, Lehrgang „Zur Verschmutzung von Innen- und Außenwandflächen“ vom 21.-22.3.2001 in Ostfildern-Nellingen, Tagungsband. Ostfildern (2001)

MÜCKE, W. und Ch. LEMMEN: Schimmelpilze. ecomed-Verlagsgesellschaft, Landsberg (2000)

MÜNZENBERG, U. und J. THUMULLA: Thesen zum Phänomen Magic Dust. Tagungsband des 6. AGÖF-Fachkongresses der Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) am 20. und 21. September 2001 in Nürnberg, Nürnberg (2001) 308 – 311

PLIENINGER, P.: Schwarzstaub: Ruß, Dreck oder Spuk? Tagungsband des 6. AGÖF-Fachkongresses der Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) am 20. und 21. September 2001 in Nürnberg, Nürnberg (2001) 319 – 326

SALTHAMMER, T. und P. MEINLSCHMIDT: Untersuchungsbericht über thermographische Untersuchungen zum Phänomen „Schwarze Wohnungen“ im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA-Eigenforschungsvorhabens Nr. 59961515), Wilhelm Klau-ditz Institut, Fraunhofer-Institut, Braunschweig (2001)

SCHLEIBINGER, H., HOTT, U., MARCHL, D., BRAUN, P., PLIENINGER, P. und H. RÜDEN: VOC-Konzentrationen in Innenräumen des Großraums Berlin im Zeitraum 1988-1999. In: *Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft*. Bd. 61 (2000) 26 – 40

SCHOLZ, H., QUOST, A. und H. SANTL: Fogging in Innenräumen – ausgewählte Fallbeispiele. Posterbeitrag, AGÖF-Kongress, Fulda (1997)

SEIFERT, B.: Richtwerte für die Innenraumluft. Die Beurteilung der Innenraumluftqualität mit Hilfe der Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC-Wert). Bundesgesundhbl. 42 (1999) 270 – 277

Statistisches Bundesamt (Hrsg.) (2000): 50 Jahre Wohnen in Deutschland

SZEWIERSKI, K. und H.-J. MORISKE: Plötzliche schwarze Staubablagerungen in Wohnungen (Das „Fogging“-Phänomen) – Rechtliche und hygienische Anmerkungen zu einem aktuellen Wohnraumproblem. In: Miet- und Wohnungsrecht (2002) im Druck

TAPPLER, P., DAMBERGER, B. und F. TWRDIK: Ursachenermittlung und analytische Vorgangsweisen bei Auftreten von Schwarzstaubbelastungen in Gebäuden. In: Gebäudestandard 2000: Energie & Raumluftqualität. Hrsg.: Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF). Tagungsband. Springe-Eldagsen (1998) 235 – 241

Umweltbundesamt: Renovieren mit dem Blauen Engel – schon 40 Dispersionsfarben erfüllen die Kriterien. Umweltzeichen Newsletter, Nr. 4 (2001a)

Umweltbundesamt: Wenn die Wände in der Wohnung plötzlich schwarz werden. Presseinformation Nr. 45 (2001b)

Verein Deutscher Ingenieure (VDI): Messen von Innenraumluftverunreinigungen. Bestimmung der Luftwechselzahl in Innenräumen. VDI-Richtlinie 4300, Bl. 7. VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft, Bd. 5, VDI-Verlag, Düsseldorf/Beuth, Berlin (2001)

WASER, M.: Die Beeinflussung der Luftqualität von Innenräumen durch Kunststoff-Additive und deren Abbauprodukte. Diplomarbeit an der Abteilung für Umweltnaturwissenschaften an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (1998)

WEISHEIT, W.: Schwarze Schmiere aus dem Heizofen. Umschau 80 (1980) 730

WENSING, M., MORISKE, H.-J. und T. SALTHAMMER: Das Phänomen der „Schwarzen Wohnungen“. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 58 (1998) 463 – 468

WENSING, M., und T. SALTHAMMER: The phenomenon of „Black Magic Dust“ in housings. In: Proceedings of the 8th International Conference on Indoor and Climate. Eds.: RAW, G., AIZLEWOOD, C. and Warren, P. (1999), Edinburgh, Vol. 2, S. 824 – 829

WENSING, M., SALTHAMMER, T. und H.-J. MORISKE: Zum Phänomen der „Schwarzen Wohnungen“ – Untersuchungsmethoden und exemplarische Ergebnisse. Technische Akademie Esslingen, Lehrgang „Zur Verschmutzung von Innen- und Außenwandflächen“ vom 21.–22.3.2001 in Ostfildern-Nellingen, Tagungsband. Ostfildern (2001)

WENSING, M. und W. SCHWAMPE: Prüfberichte über die Untersuchungen ungewöhnlicher Schwärzungen in Wohnräumen im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA-Eigenforschungsvorhabens Nr. 59961515), TÜV Nord, Hamburg (2001)

WOLLRAB, O.: Verschmutzungen in Altbauwohnungen durch Ausdunstungen von Ammoniumsalzen aus den Schornsteinen. Bericht des Instituts für Schadensforschung der öffentlich rechtlichen Versicherer, Kiel (1992)

Anlage 1:

I) Fragebogen des Umweltbundesamtes von 1997 – 1999 zum Phänomen „Schwarze Wohnungen“

Frage 1:

Wann ist das Staubphänomen in der Wohnung aufgetreten?

- In der Heizphase (Herbst/Winter) ☐
- In der Nicht-Heizphase (Sommer) ☐

Frage 2:

Wie lange liegt das Phänomen zurück?

- Weniger als 6 Monate ☐
- Mehr als 6 Monate ☐
- Mehr als 1 Jahr ☐

Frage 3:

Ist das Staubphänomen bereits früher einmal in derselben oder in einer benachbarten Wohnung aufgetreten?

- Ja ☐
- Nein ☐

Frage 4:

Wurde die Wohnung, in der das Staubphänomen auftritt, zuvor renoviert?

- Renoviert ☐
- Nicht renoviert ☐

Wenn renoviert, Renovierung zuletzt:

- vor kurzem ☐
- im letzten halben Jahr ☐
- im letzten Jahr ☐
- noch weiter zurückliegend ☐

Frage 5:

Welche Art Renovierung wurde durchgeführt?

- Maler- und Lackierarbeiten mit überwiegend umweltfreundlichen Farben und Lacken ☐
- Maler- und Lackierarbeiten mit herkömmlichen lösemittelhaltigen Farben ☐
- Fußbodenarbeiten ☐
- Größere bauliche Eingriffe (Wandaufbau oder -abriß, neue Heizungsanlage, neue Fenster und Türen etc.) ☐
- Allgemein verbesserte Abdichtungsmaßnahmen an Fenstern und Türen ☐

Frage 6:

Waren vor oder während des Staubphänomens in der Wohnung weitere Emissionsquellen, gegebenenfalls auch nur kurzzeitig, vorhanden?

- Ja ☐
- Nein ☐

Wenn, ja, welche (z. B. Öllampen, Kerzen) (bitte angeben)

Frage 7:

Liegt die Wohnung in unmittelbarer Nähe von Emissionsquellen von außerhalb, die zum Staubphänomen beigetragen haben könnten (Kraftwerke, Hauptverkehrsstraße, Industriebetriebe mit hoher Staubemission etc.)?

- Ja ☐
- Nein ☐

Frage 8:

Gibt es in der Wohnung ein außergewöhnlich hohes elektrisch leitendes Potential der Luft (äußert sich zum Beispiel in Knistern und Funkenbildung beim Berühren von Gegenständen, verstärkte elektrostatische Aufladungen etc.)?

- Ja ☐
- Nein ☐

Frage 9:

Wie sieht der Staubbelaag sensorisch aus (mehrere Antworten sind möglich)?

- Ölig-schmierig ☐
- Schwarz-grau ☐
- Anders (bitte beschreiben) ☐

Frage 10:

Wurde eine Analyse von Staubinhaltsstoffen durchgeführt?

- Ja ☐
- Nein ☐

Wenn ja, welche Inhaltsstoffe wurden identifiziert (bitte angeben)

Frage 11:

Wo schlug sich der Staub im wesentlichen nieder?

- Auf Fensterbänken ☐
- Auf Fensterbänken und Tischen ☐
- An Gardinen und Vorhängen ☐
- An Wandflächen über den Heizkörpern ☐
- Andernorts (bitte angeben) ☐

Frage 12:

Wurden nach Auftreten des Staubphänomens Abhilfemaßnahmen ergriffen?

- Ja ☐
- Nein ☐

Wenn ja, welche Maßnahmen (bitte kurz beschreiben)

Frage 13 (falls Frage 12 mit „ja“ beantwortet):

Erbrachten die durchgeführten Abhilfemaßnahmen eine Reduktion oder sogar ein völliges Verschwinden der Staubbelaugung?

- Ja, kurzfristig ☐
- Ja, völlig ☐
- Nein ☐

II) Erweiterter Fragebogen zum Phänomen „Schwarze Wohnungen“ 1999-2001

Gebäudeangaben

- Altbau (vor dem 2. Weltkrieg) ☐
 Neubau (nach dem 2. Weltkrieg) ☐
 Plattenbauweise ☐
 Dachgeschoßausbau ☐
 Erstbezug ☐

Lage der Wohnung:

- Hauptstraße ☐
 Nebenstraße ☐
 Vorderhaus ☐
 Hinterhof ☐
 Etage (bitte angeben): ☐

Frage 1:

Falls Ihre Wohnung im Parterre-Bereich liegt – befindet sich unterhalb der Wohnung:
 eine Tiefgarage bzw. befindet sich im Haus integriert eine Garage?

- Ja ☐
 – Nein ☐

Befindet sich unterhalb der Wohnung ein Heizkeller?

- Ja ☐
 – Nein ☐

Frage 2:

Sind Sie der/die erste Bewohner(in) nach Errichtung bzw. Fertigstellung der Wohnung (Erstbezug)?

- Ja ☐
 – Nein ☐

Wenn Erstbezug, wann bezogen (bitte angeben):

Frage 3:

Wann ist das „Phänomen Schwarze Wohnung“ in Ihrer Wohnung zum ersten Mal aufgetreten?

- In der Heizperiode ☐
 – In der Nicht-Heizperiode ☐

Wann genau (Monat und Jahr):

Frage 4:

Ist das „Phänomen“ später noch einmal in Ihrer Wohnung aufgetreten?

- Ja ☐
 – Nein ☐

Wenn ja, wann? (mehrere Antworten sind möglich)

- In der letzten Heizperiode ☐
 – In weiter zurückliegenden Heizperioden ☐
 – In der letzten und weiter zurückliegenden Heizperioden ☐
 – Mehrmals innerhalb einer Heizperiode (z. B. erneutes Auftreten nach Entfernen der Ablagerungen) ☐

– Sonstiges (bitte angeben):

Insgesamt, wie oft:

Frage 5:

In welchen Räumen sind die Ablagerungen aufgetreten? (bitte ankreuzen)

Raum	Ausmaß der Ablagerungen		
	hoch	mittel	gering
Küche <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bad <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wohnzimmer <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Schlafzimmer <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kinderzimmer <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
anderes Zimmer (bitte benennen) <input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

allgemein:

- Zimmer zur Straßenseite ☐
 – Zimmer zur Hofseite ☐

Frage 6:

Bitte machen Sie Angaben, wie der Raum/die Räume, in denen die Ablagerungen aufgetreten sind, ausgestattet sind:

a) Fußbodenbeläge (z. B. Teppichboden, Parkettfußböden (Echtholz), Parkett (Laminat/Kunststoffoberfläche), PVC-Belag, Linoleum etc.) (bitte angeben):

b) Wandbeläge: (z. B. Fliesen, Raufasertapete, Schaumtapete, Putz, Dispersionsfarbe, Latexfarbe, Lackanstriche etc.) (bitte angeben):

c) Möblierung (z. B. Art der Möbel, Echtholz, furniert, Kunststoffmöbel, Glasmöbel etc.) (bitte angeben):

Frage 7:

Wo traten die Ablagerungen im wesentlichen auf? (mehrere Antworten sind möglich)

- Auf Fensterbänken und Tischen ☐
 – An Fensterrahmen ☐
 – An Gardinen und Vorhängen ☐
 – An Innenwandflächen ☐
 – An Außenwandflächen ☐
 – Oberhalb von Heizkörpern ☐
 – Auf kunststoffhaltigen Flächen (Küchenmöbel, Lichtschalter, Steckdosen) ☐
 – Auf elektronischen Geräten ☐
 Andere Stellen (bitte angeben): ☐

Frage 8:

Wurde Ihre Wohnung, bzw. wurden die Räume, in denen die Ablagerungen aufgetreten sind, in den letzten 2 Jahren vor dem Auftreten der Ablagerungen renoviert?

- Renoviert ☐
- Nicht renoviert ☐

Wenn ja, Renovierung vor dem Auftreten der Ablagerungen zuletzt:

- innerhalb der letzten 6 Monaten ☐
- innerhalb der letzten 6-12 Monate ☐
- weiter zurückliegend ☐

Wann genau (Monat und Jahr):

Frage 9:

Falls renoviert wurde, welche Art Renovierungen wurden durchgeführt?

- Maler- und Lackierarbeiten mit
 - a) Herkunft und Zusammensetzung der Farben unbekannt ☐
 - b) überwiegend wasserlösliche (Dispersions)farben und Lacke ☐
 - c) lösemittelhaltige Farben und Lacke ☐
 - d) Können Sie nähere Angaben machen (Produkt, Inhaltsstoffe etc.) (falls ja, *bitte angeben*): ☐
- Fußbodenerneuerung ☐
 - Wenn ja, was wurde gemacht (z. B. Bodenbeläge erneuert, Teppichboden verklebt/unverklebt, Parkettfußboden eingebaut, Estrich, Dielen erneuert etc.) (*bitte angeben*):
- Heizkörper lackiert ☐
- Größere bauliche Eingriffe vorgenommen
 - a) Wandaufbau/-abriß ☐
 - b) Dach erneuert ☐
 - c) Wärmedämmverbund-Systeme:
 - Fassadendämmung von außen ☐
 - Dämmungsmaßnahmen innen ☐
 - d) Heizungsanlage erneuert ☐
 - e) Fenster erneuert:
 - Isolierglasfenster ☐
 - Holzfenster ☐
 - Kunststoff-Fenster ☐
 - f) Sonstige Maßnahmen (falls ja, *bitte angeben*):

Frage 10:

Waren vor oder während des Auftretens der Ablagerungen in der Wohnung Emissionsquellen für Ruß und organische Stoffe (z. B. Öllampen, Kerzen, offener Kamin, Ofenheizung, offene Behältnisse von Farben, Lacken, Lösemitteln), gegebenenfalls auch nur kurzzeitig, vorhanden?

- Ja ☐
- Nein ☐

Wenn ja, welche (*bitte angeben*):

Frage 11:

Sind Ihnen in der Wohnung bauliche Mängel (z. B. Feuchtigkeit auf Fenstern, Schimmelbildung, undichtiges Mauerwerk, undichte Schornsteine) aufgefallen?

- Ja ☐
- Nein ☐

Wenn ja, welche Mängel (*bitte angeben*):

☐ Wurden die baulichen Mängel durch einen Bausachverständigen bestätigt?

- Ja ☐
- Nein ☐

Frage 12:

Rauchen Sie oder ein/eine Mitbewohner/in in der Wohnung?

- Ja ☐
- Nein ☐

Wenn ja, wie viele Zigaretten in etwa am Tag (*bitte angeben*):

Frage 13:

Liegt die Wohnung in unmittelbarer Nähe von Schadstoffquellen von außerhalb (Kraftwerke, Hauptverkehrsstraße, Industriebetriebe mit hoher Staubemission, chemische und petrochemische Industrie etc.)?

- Ja ☐
- Nein ☐

Frage 14:

Wie heizen Sie in Ihrer Wohnung?

- Im Herbst und Winter durchgehend (Heizkörper/Heizungsanlage werden einmal eingestellt und bleiben dann den ganzen Winter mehr oder weniger in dieser Stellung) ☐
- Nur im Winter durchgehend, ansonsten mit Tag- und Nachtschaltung ☐
- Immer mit Tag- und Nachtschaltung ☐
- Nur, wenn ich zu Hause bin, ansonsten sind die Heizkörper bzw. ist die Heizanlage gedrosselt (Nachtabsenkung) ☐

Wird die gesamte Wohnung gleichmäßig beheizt oder werden einzelne Räume unterschiedlich beheizt?

- Gleichmäßig beheizt ☐
- Unterschiedlich beheizt ☐

Wenn unterschiedlich beheizt,

- Art und Weise (*bitte angeben*):
- Welche Räume (*bitte angeben*):

Art der Wärmeerzeugung:

- Fernheizung ☐
- Gaszentralheizung (Therme außerhalb der Wohnung) ☐
- Gasetagenheizung ☐
- Ölbefeuerte Zentralheizung ☐
- Kohlebefeuerte Zentralheizung ☐
- Kamine/Kohleöfen ☐
- Kerosinzusatzheizgerät/Ölofen ☐
- Holz- und kohlebefeuerte Einzelöfen ☐

Heizsysteme:

- Fußbodenheizung ☐
- (normale) Wandflächenheizkörper ☐
- Kachelöfen und Kamine ☐
- Kerosinheizgeräte ☐
- Sonstiges (*bitte angeben*):

Frage 15:

Haben Sie zum Zeitpunkt, als die Ablagerungen aufgetreten sind, in Ihrem Heiz- oder Wohnverhalten etwas gegenüber der Wohnsituation vorher oder nachher verändert (z. B. Heizung vorübergehend auf Nachtabsenkung eingestellt, Lüftungsverhalten geändert, neue Möbel angeschafft (wenn ja, welche?), allgemeine Veränderungen der Wohnraumausstattung vorgenommen)?

- Ja ☐
- Nein ☐

Wenn ja, welche Veränderungen wurden vorgenommen (*bitte angeben*):**Frage 16:**

Wie und wie oft lüften Sie am Tag (durch Fensterlüftung)?

- Einmal kurz durch Stoßlüftung (Fenster weit geöffnet) ☐
- Einmal kurz über Kippstellung der Fenster ☐
- Mehrmals kurz durch Stoßlüftung ☐
- Mehrmals kurz über Kippstellung der Fenster ☐

Haben Sie in Ihrem Lüftungsverhalten während des Auftretens der Ablagerungen etwas geändert?

- Ja ☐
- Nein ☐

Wenn ja, was (*bitte angeben*):**Frage 17:**

Haben Sie zusätzlich zur Beeinflussung des Raumklimas Klima- oder Luftbefeuchtergeräte in Gebrauch?

- Ja ☐
- Nein ☐

Wenn ja, wie oft/wie lange am Tage sind die Geräte in Betrieb (*bitte angeben*):

Wenn ja, in welchem Raum bzw. in welchen Räumen sind die Geräte installiert worden? (*Raum/Räume bitte angeben*):

Frage 18:

Wie charakterisieren Sie die Ablagerungen (mehrere Antworten sind möglich)?

- Ölig-schmierig ☐
- Trocken-staubig ☐
- Schwarz-grau ☐
- Anders (*bitte beschreiben*):

Frage 19:

Wurde eine chemische Analyse der Ablagerungen und/oder der Raumluft durchgeführt?

- Ja ☐
- Nein ☐

Wenn ja, welche Inhaltsstoffe wurden analysiert (*bitte angeben oder Meßbericht (anonym) beifügen*):

Frage 20:

Wurden physikalische Messungen
(Lufttemperatur, Oberflächentemperaturen,
relative Luftfeuchtigkeit, elektrische Leitfähigkeit,
Luftwechsel, Luftgeschwindigkeit etc.)
durchgeführt?

- Ja ☐
- Nein ☐

Wenn ja, *bitte, sofern vorhanden*, Ergebnisse angeben:

- Lufttemperatur:
- relative Luftfeuchtigkeit:
- elektrische Leitfähigkeit/elektrostatisches
Potential der Luft:
- Oberflächentemperaturen der Wände:
- Luftwechsel:
- Luftgeschwindigkeit (Strömungsgeschwindigkeit):

Frage 21:

Wurden Maßnahmen zur Verringerung/Beseitigung
der Ablagerungen ergriffen?

- Ja ☐
- Nein ☐

Wenn ja, welche Maßnahmen (z. B. Luftfeuchtigkeit
im Raum erhöht, Teppichboden entfernt, Heiz-
oder Lüftungsverhalten geändert, Möbel entfernt)
(*bitte angeben*):

Wenn ja, hatten die durchgeführten Maßnahmen
eine Reduktion oder sogar ein völliges
Verschwinden der Staubablagerungen zur Folge?

- Ja, aber nur kurzfristig ☐
(Ablagerungen traten nach einigen Wochen
oder im nächsten Winter wieder auf)
- Ja, dauerhaft ☐
- Nein ☐