



Pilotstudie

Evaluierung möglicher Beziehungen zwischen Emissionen aus Büromaschinen, insbesondere aus Fotokopierern und Laserdruckern, und Gesundheitsbeeinträchtigungen bzw. Gesundheitsschäden bei exponierten Büroangestellten

„TONERSTUDIE“

Studienleiter:

Prof. Dr. Volker H. Mersch-Sundermann

Institut für Innenraum- und Umwelttoxikologie

Projektlaufzeit

01.07.2005 - 30.11.2006 (28.02.2007)

Pilotstudie (Machbarkeitsstudie)

Lassen sich mit Methoden und Design der Studie Beziehungen zwischen einer Veränderung der Innenraumluftqualität (IAQ) und dem Betrieb von Laserdruckern bzw. Kopiergeräten unter Realbedingungen erkennen?

Lassen sich mit Methoden und Design der Studie Muster von Befindensstörungen bei Personen erkennen, die an Büroarbeitsplatz-assoziierten Gesundheitsstörungen leiden?

Lassen sich aus den Ergebnissen der Studie mögliche Beziehungen zwischen Büroarbeitsplatz-assoziierten Gesundheitsstörungen und Veränderungen der IAQ beim Betrieb von Druckern/Kopieren erkennen?

Lassen sich aus den Ergebnissen der Studie mögliche Beziehungen zwischen Büroarbeitsplatz-assoziierten Gesundheitsstörungen und Veränderungen der IAQ durch andere Innenraumfaktoren erkennen?

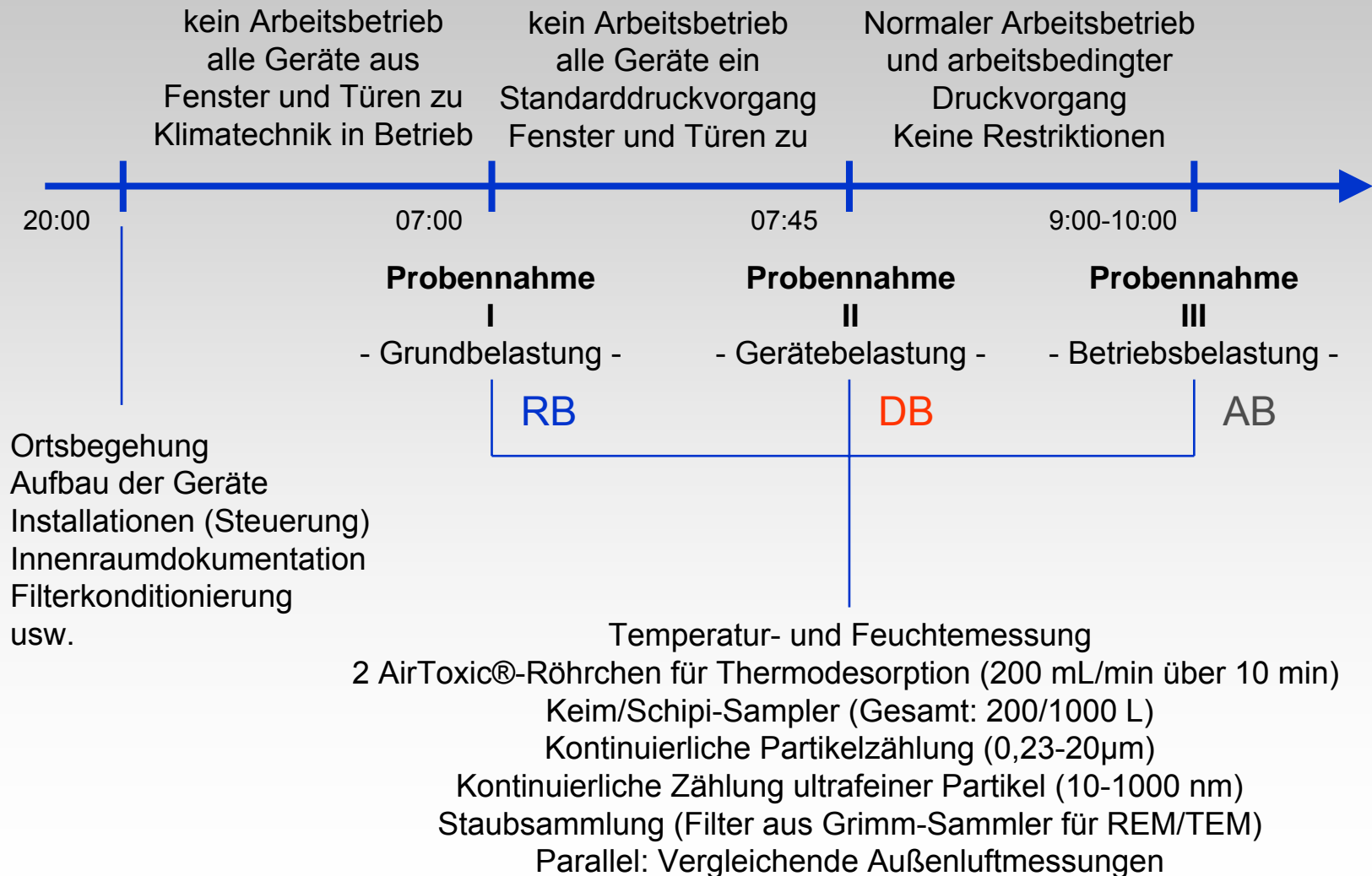
Untersuchte Büroräume

Es wurden im Jahr 2006 insgesamt
63 Büroräume
in 4 deutschen Städten
in insgesamt 9 Bürogebäuden
untersucht

- Kollektiv A
Verwaltungsgebäude (N=12)
- Kollektiv B
Bürogebäude (4 Gebäude I-IV)(N=14)
- Kollektiv C
Verwaltungsgebäude (N=11)
- Kollektiv D
Bürogebäude (3 Gebäude I-III)(N=26)

Innenraumbezogener Studienteil

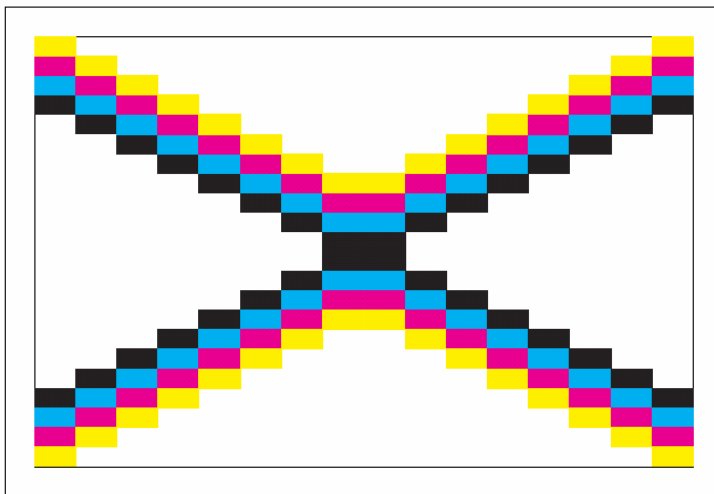
- Büroraumparameter
[Drucker, Toner, Papier, Möbel, Bodenbelag, Pflanzen, Holz, Fenster..]
- Physikalische Parameter
[Temperatur, Feuchte]
- Anorganische Gase → orientierende Messungen unzulänglich
[O₂, O₃, CO, CO₂, NO, NO₂ mit Leschke M6000; orientierend]
- Flüchtige, organische Verbindungen
[TVOC und Einzel-VOC; GC-MSD bezogen auf TE]
- Partikel / Stäube
[0,23-20 µm in 16 Fraktionen, Grimm LPC Modell 1.108, kontinuierlich]
[Gesamtstaub gravimetrisch] → zu geringe Massen
[Ultrafeine Partikel 10-1000 nm, TSI CPC, kontinuierlich]
[Bodenstäube für Metall- und Endotoxinanalyse] → zu geringe Massen
[Elektronenmikroskopie] → REM, TEM und Elementanalyse
- Formaldehyd → orientierende Messungen unzulänglich
[orientierend mit Dräger-Röhrchen]
- Luftkeime und Schimmelpilze
[mit Leschke FH5-Impaktionssamplers und Holbach MBBAS30-Samplers]



Innenraumbezogener Studienteil

Messung nach Druckerbetrieb
500 Seiten bei S/W-Laserdruckern
250 Seiten bei Farblaserdruckern
auf dem im jeweiligen Büro gebräuchlichem Papier

(dokumentiert: Papiertyp, Druckertyp, Tonertyp)

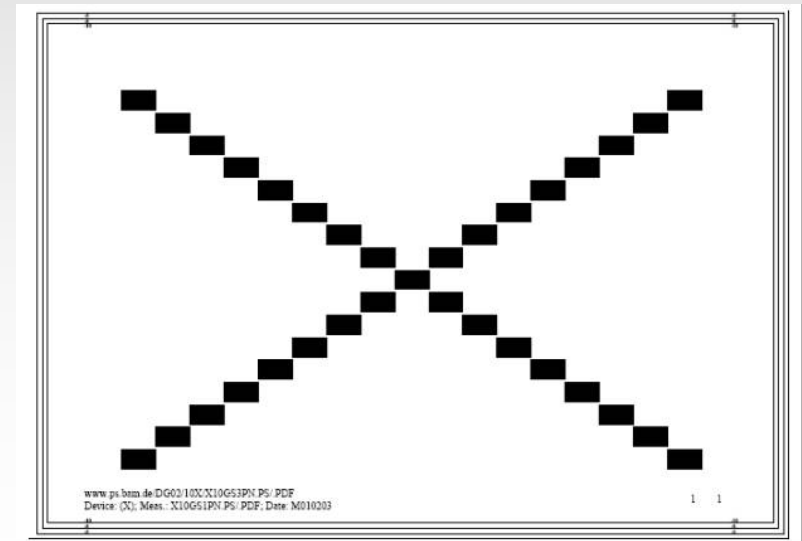


DIN 33870-Prüfvorlage Nr. 0
Ergebnis-Seite: 3%

Stufe: S1

Device: unknown printer name
Date: M2002-10-01

Seite 1a Seite 1



www.ps.bsm.de/DG02/10X-X10G51PN/PS/PDF
Device: (X): Mess - X10G51PN/PS/PDF; Date: M010203

1 1



Mess- und Erhebungsdaten (innenraumanalytischer Studienteil)

~ 1.500	Erhebungsdaten Innenraumspezifikation
~ 400	Messdaten zu Temperatur und Feuchte
~ 1000	Messdaten zu anorganischen Gasen
~ 5000	Messdaten zu TVOC, VOC
~ 1000	Messdaten (Kulturplatten) zu Keimen/Schimmelpilzen
~ 1 Mio.	Messdaten zu Stäuben/Partikeln (0,3-2 0µm)
~ 500.000	Messdaten zu Ultrafeinstäuben (10-1000 nm)

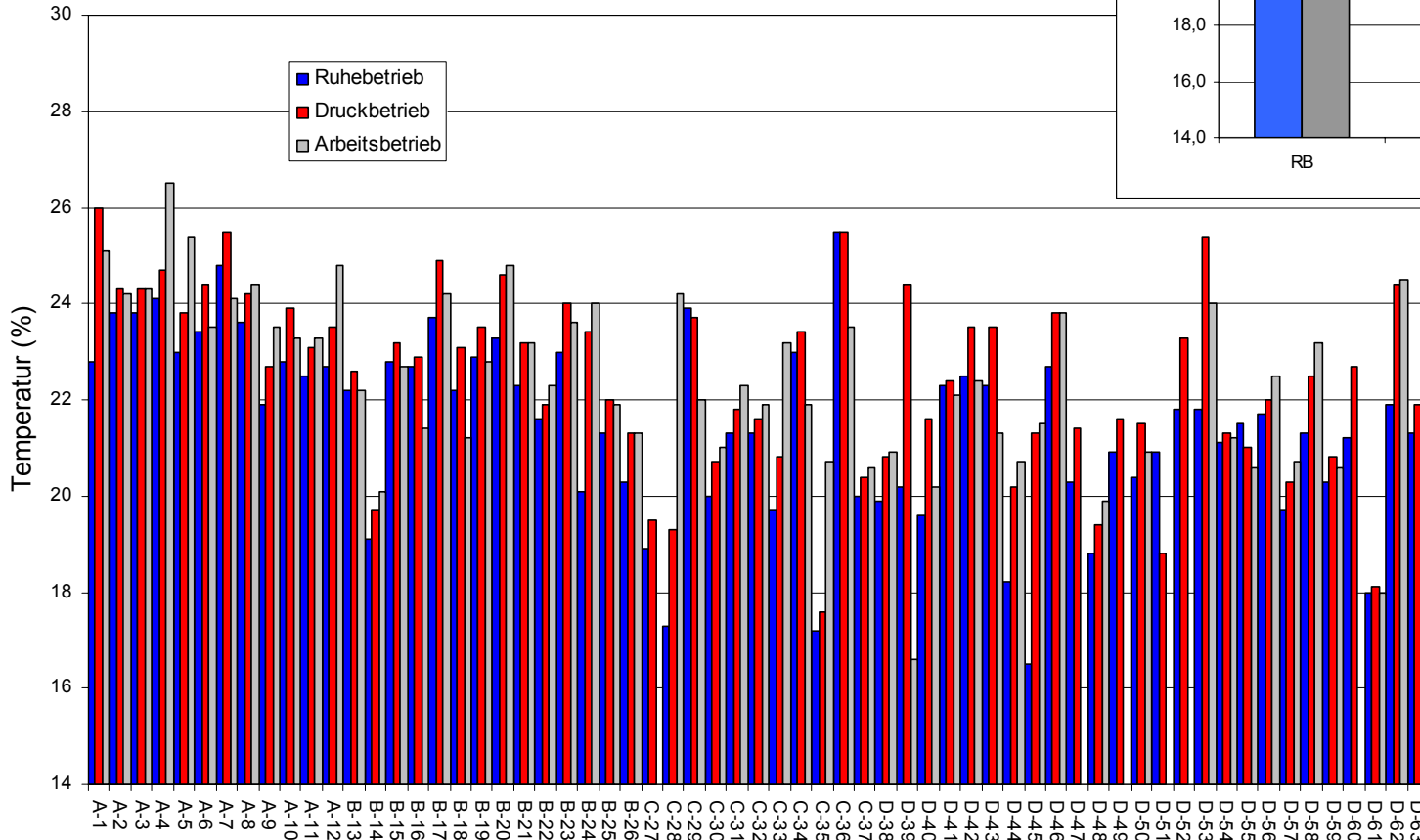
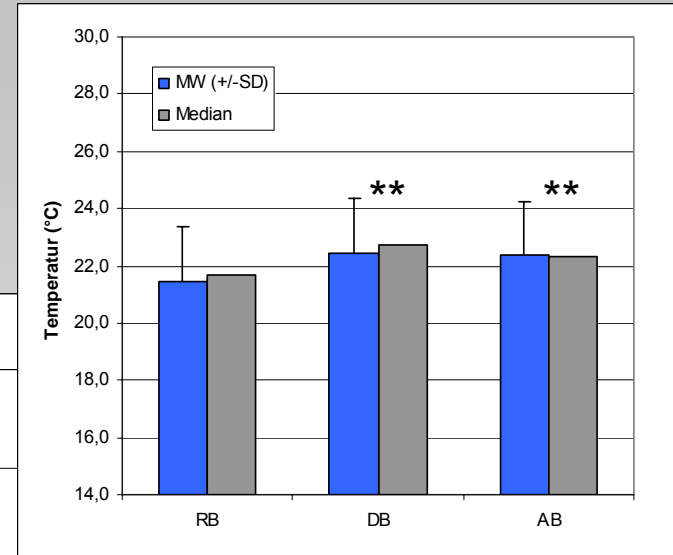
Im Rahmen der BfR-Tonerstudie wurden somit für jeden Büroraum etwa
140 Einzeldaten
und
24.000 Staubmesswerte
erhoben



Temperatur, Feuchte und anorganische Gase

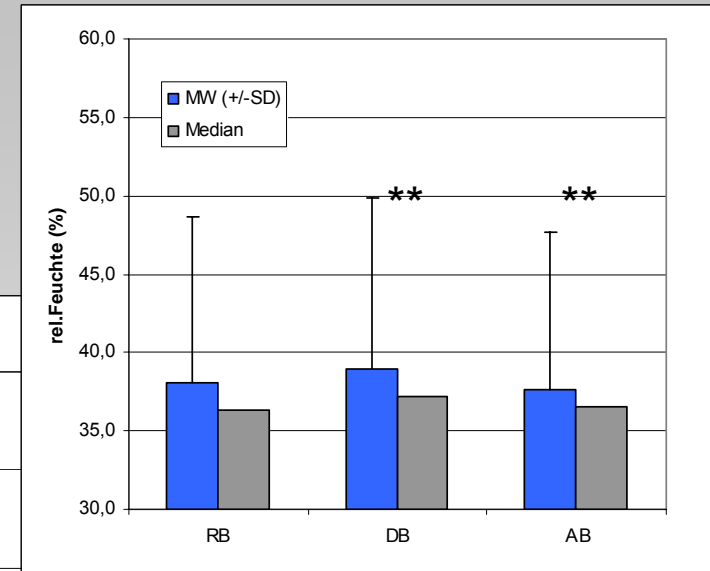
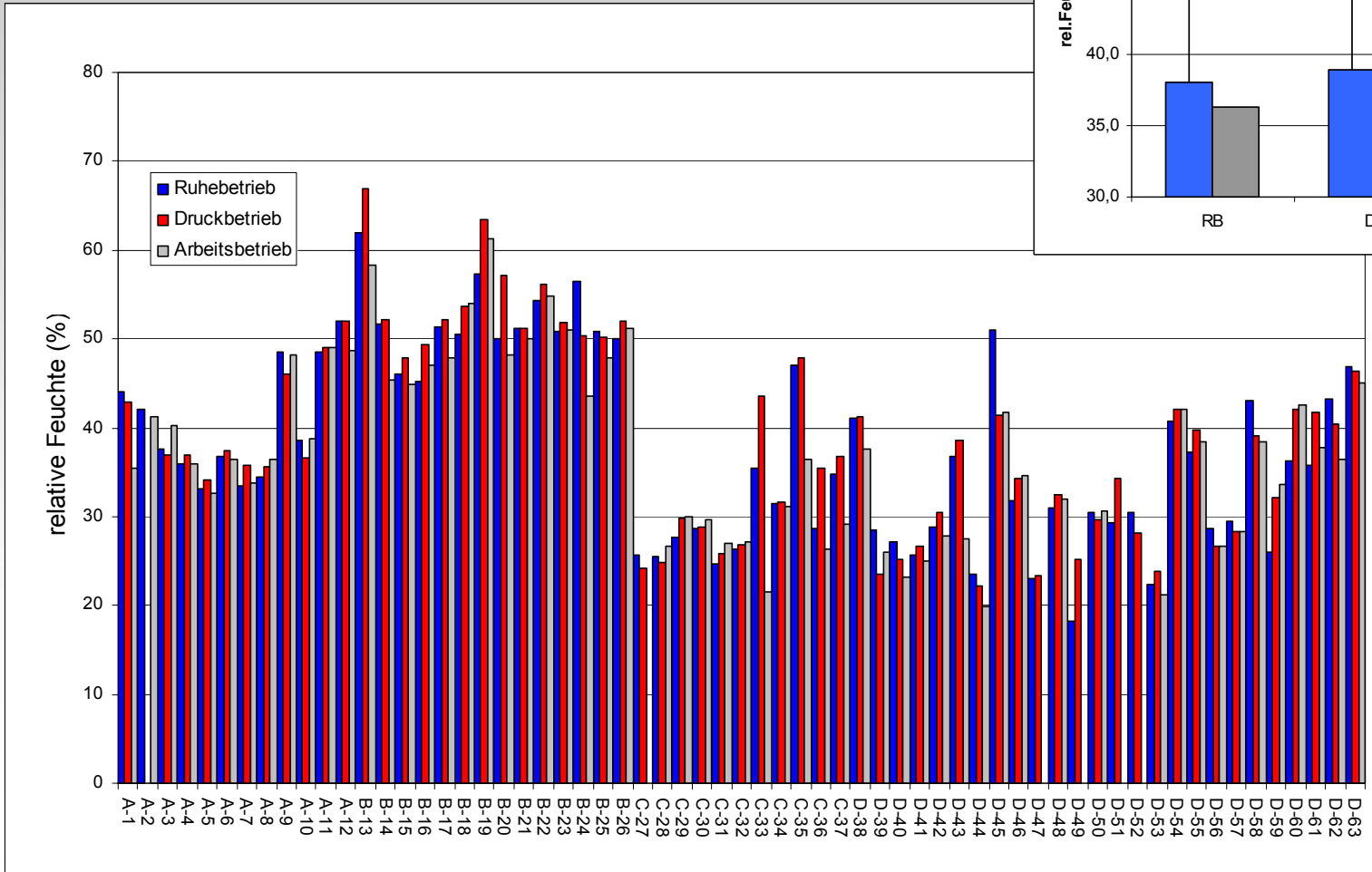
Temperatur

Im Mittel nimmt die Raumtemperatur während des Druckvorgangs von $21,5 \pm 1,9^\circ\text{C}$ auf $22,4 \pm 1,9^\circ\text{C}$ ($P < 0,001$) zu.



Luftfeuchte

Im Mittel nimmt die relative Feuchte während des Druckvorgangs von $38,8 \pm 10,6\%$ auf $38,9 \pm 10,9\%$ ($P=0,011$) zu.



Anorganische Gase (mit Leschke M4000®)

Messbereiche

O ₂	0,1 – 30	Vol. %
O ₃	0,01 – 1,00	ppm
NO	1,0 – 100	ppm
NO ₂	1,0 – 30	ppm
CO	1,0 – 1000	ppm
CO ₂	0,5 – 5,0	Vol. %
Formaldehyd	0,2 – 5,0	ppm



Ergebnisse
inkonsistent
wegen zu geringer
Sensitivität der
Methode



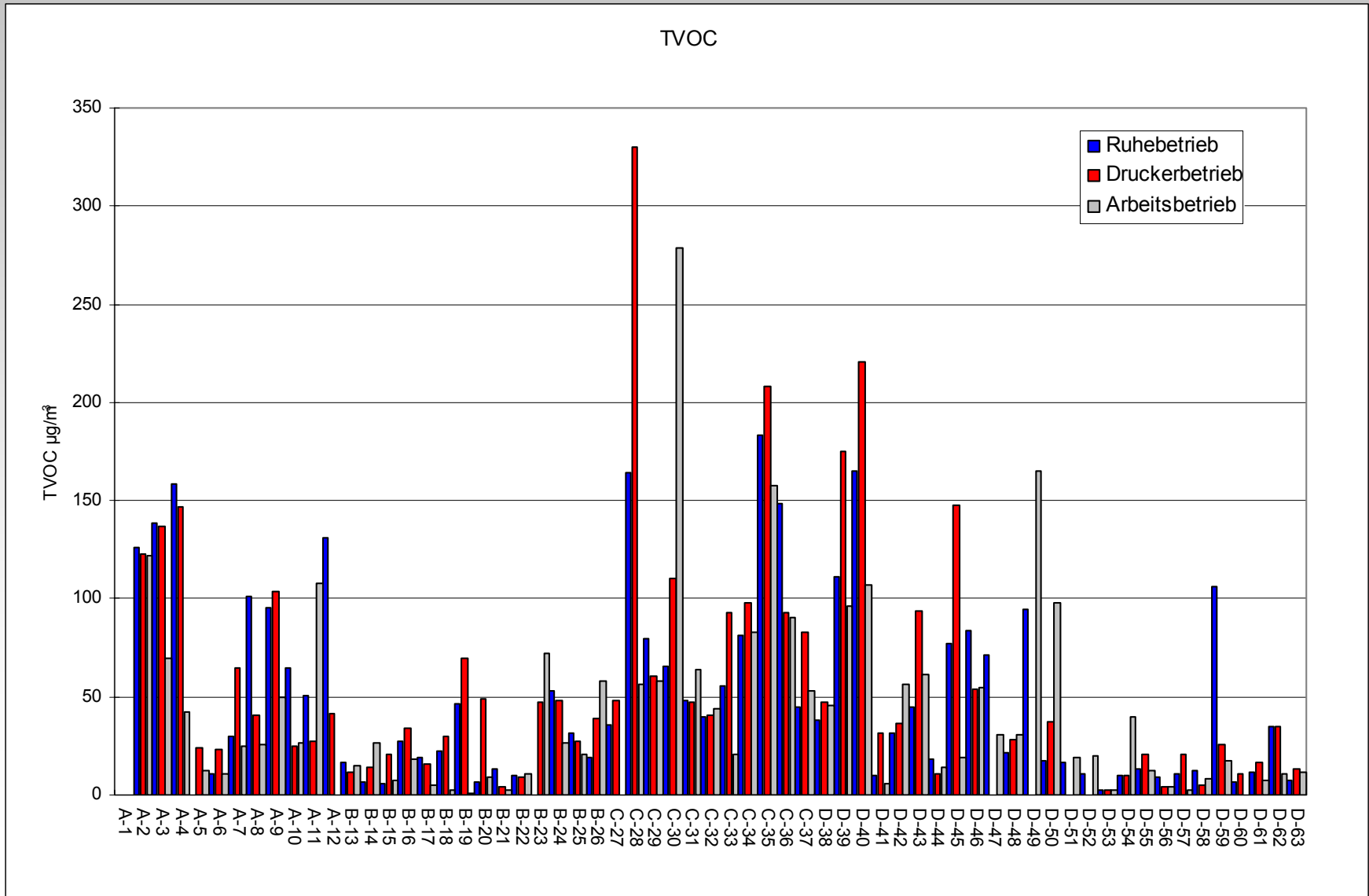
Flüchtige organische Verbindungen (TVOC, VOC)

Innenraummessungen

Flüchtige, organische Verbindungen [VOC und TVOC]



TVOC-Messungen in Büroräumen (N=63)



VOC-Konzentrationen (indoor/outdoor)

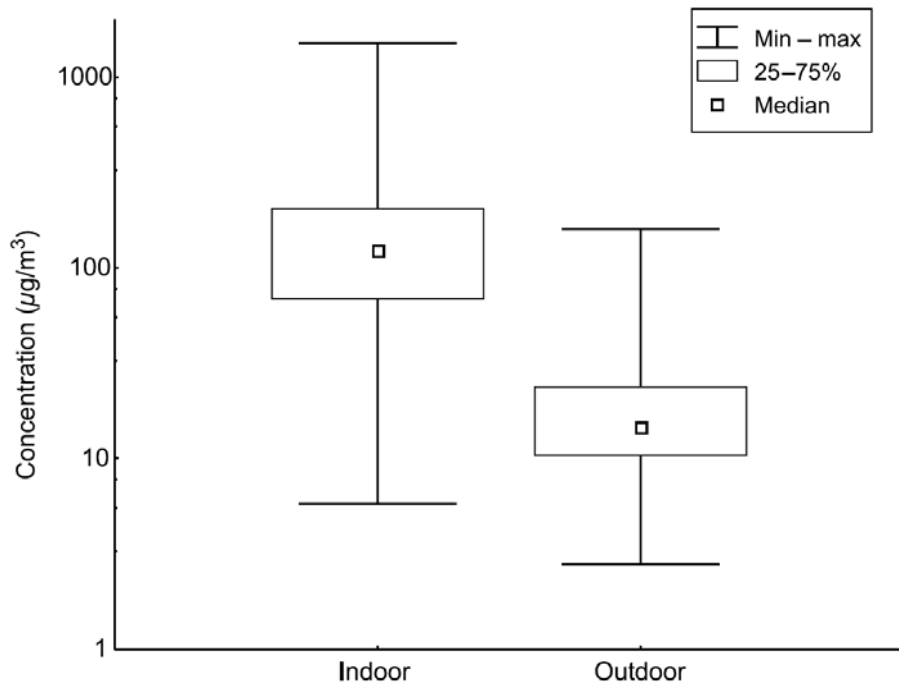
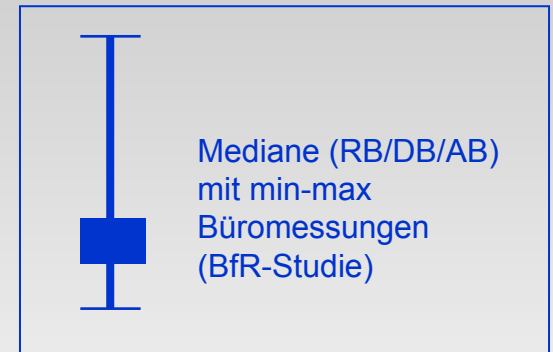
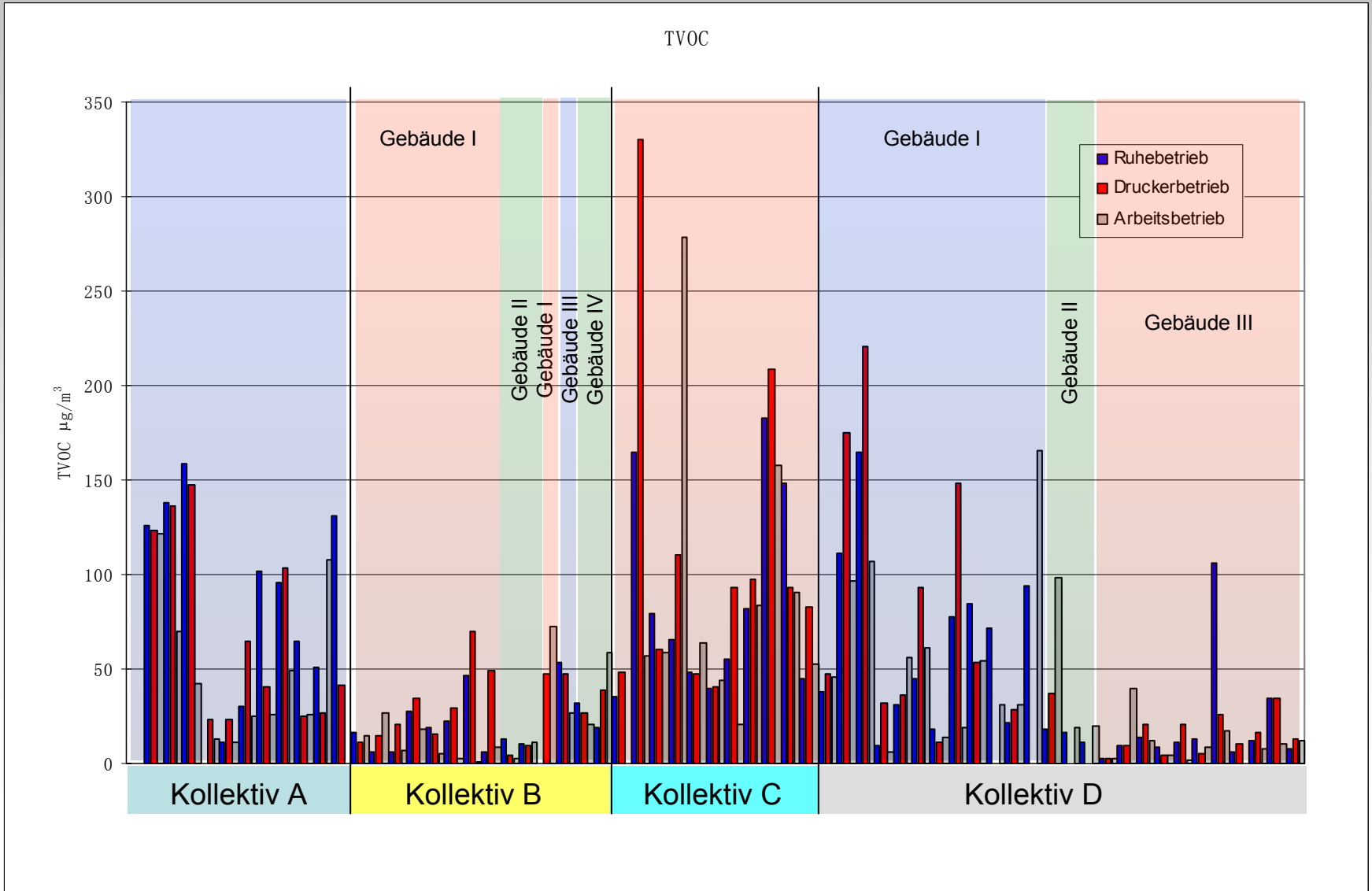


Fig. 1 Thirty VOC sum concentration observed in matched samples of indoor and outdoor measurements taken in Leipzig in 2000 and 2001

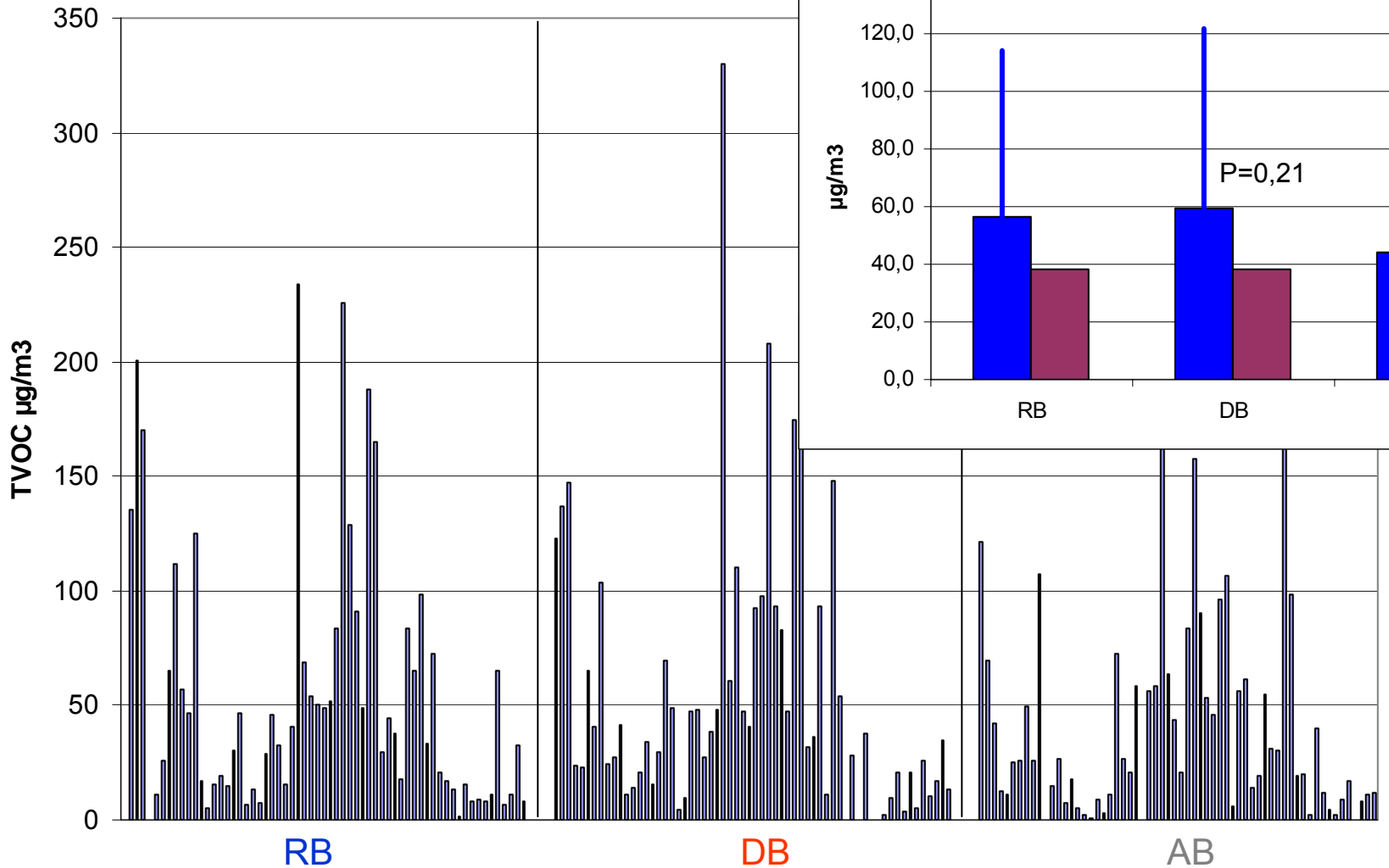


Rehwagen *et al.*, Indoor Air 13 (2003) 283-91
N = 1499 (indoor measurements); N = 222 (outdoor measurements)

TVOC-Messungen in Büroräumen (N=63)

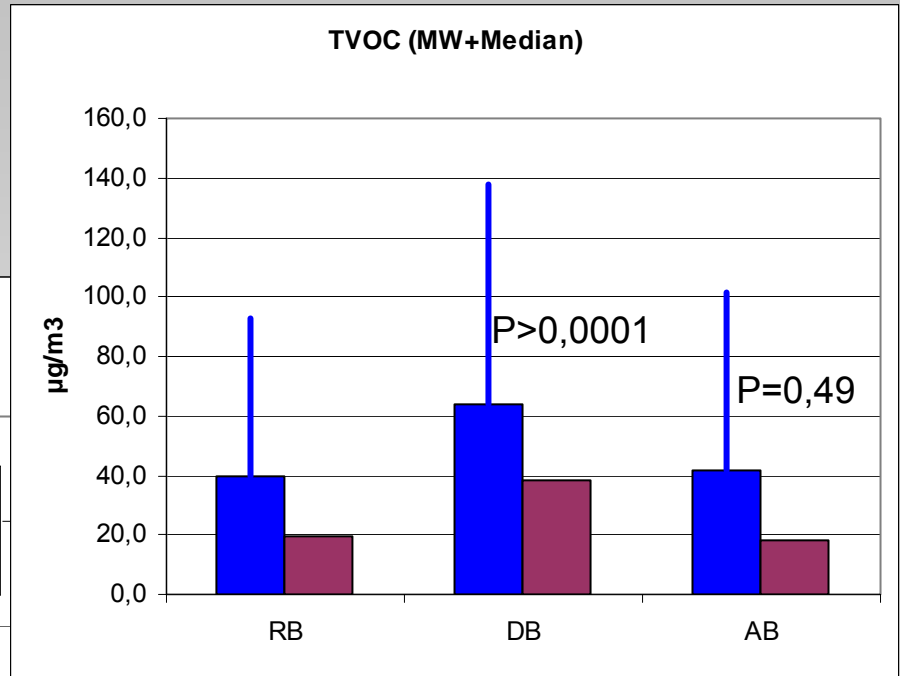
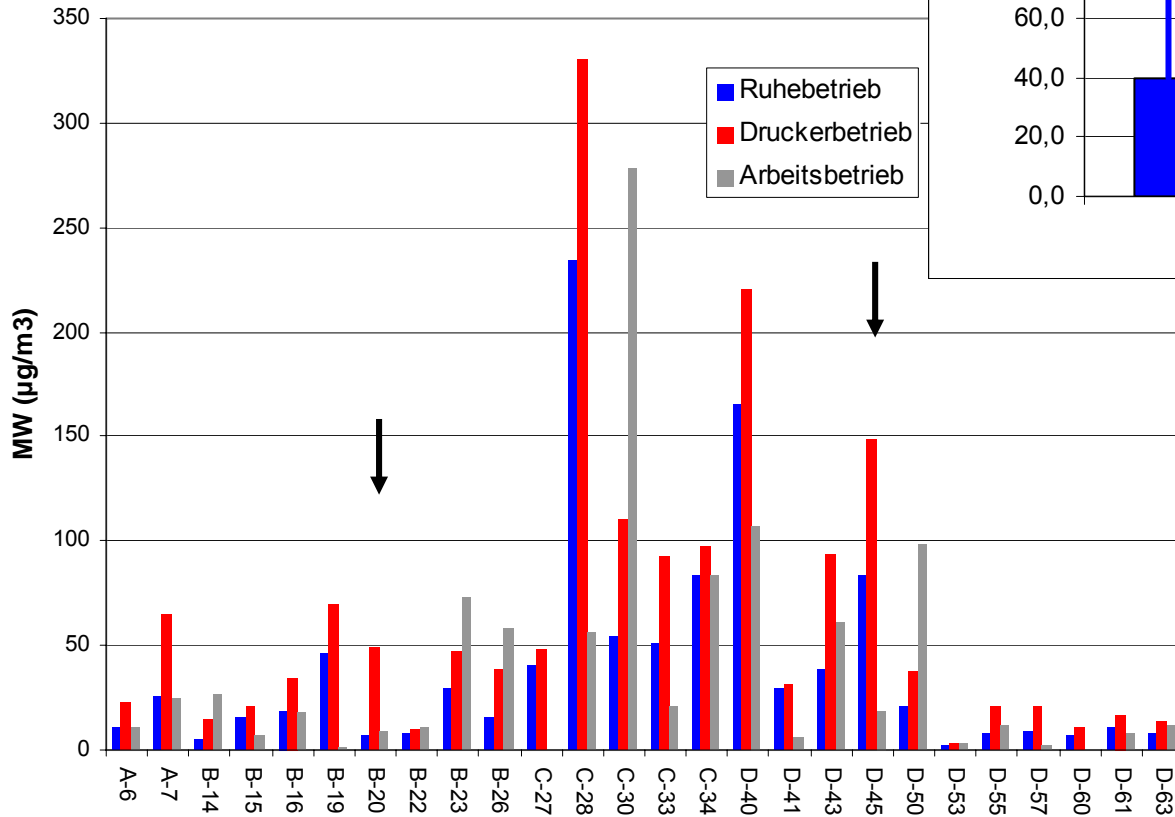


TVOC-Messungen in Büroräumen (N=63)



TVOC-Werte von Büroräumen (N=26; ~40%)
 in denen der TVOC-Wert in der DB-Phase
 höher als in der RB-Phase lag ($DB_{TVOC} > RB_{TVOC}$)
 (Doppelbestimmungen)

TVOC mit $DB > RB$ (Bürräume N=26)



Raum B-20 (Büro 38 m²)

TVOC_{RB}: 6,5 µg/m³

TVOC_{DB}: 48,8 µg/m³

TVOC_{AB}: 8,9 µg/m³

Drucker:

Toner:

Papier:



Raum D-45 (Büroraum 36 m²)

TVOC_{RB}: 83,6 µg/m³

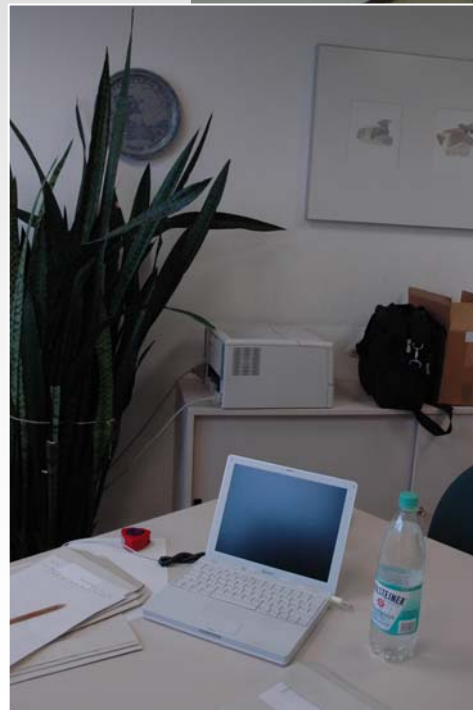
TVOC_{DB}: 148,1 µg/m³

TVOC_{AB}: 19,0 µg/m³

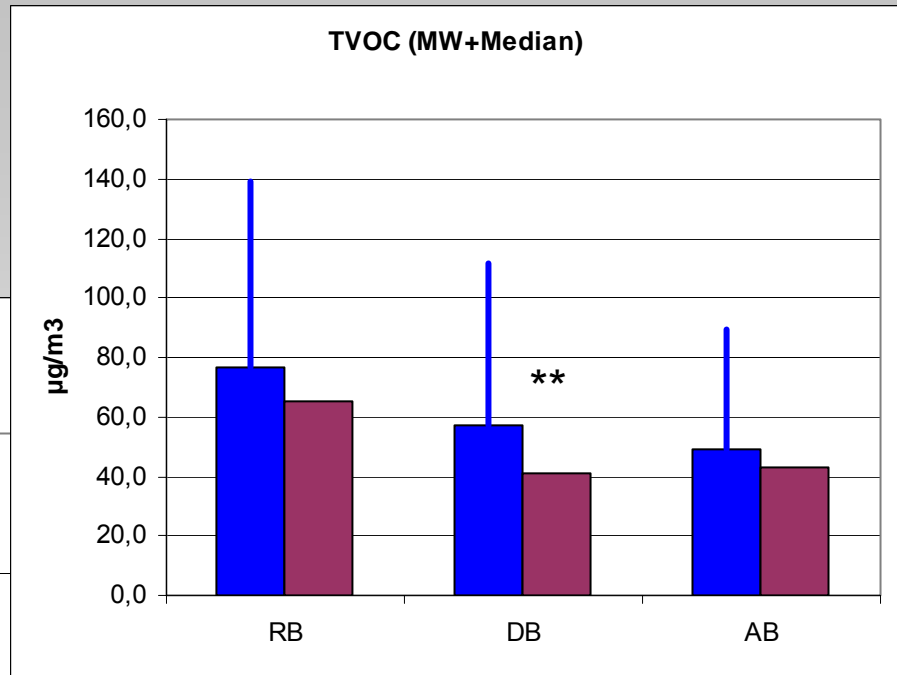
Drucker:

Toner:

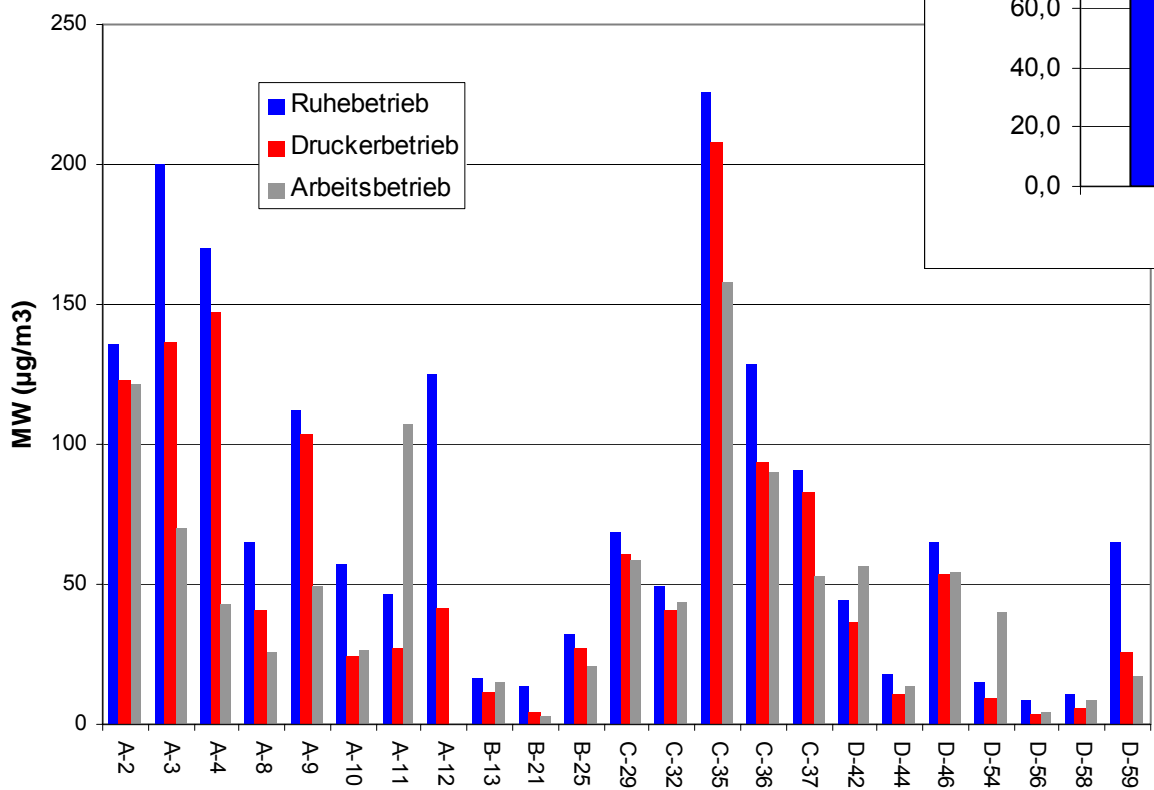
Papier:



TVOC-Werte von Büroräumen (N=23; ~35%)
 in denen der TVOC-Wert in der DB-Phase
 niedriger als in der RB-Phase lag ($DB_{TVOC} < RB_{TVOC}$)
 (Doppelbestimmungen)



TVOC mit DB<RB (Bürräume N=23)





Schlussfolgerungen

Emission flüchtiger, organischer Verbindungen (TVOC) durch Betrieb von Laserdruckern und Kopiergeräten

In den untersuchten Büroräumen konnten TVOC-Konzentrationen zwischen wenigen Mikrogramm pro Kubikmeter Luft ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) und Maxima von etwa $330 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen werden.

Bei 40% der untersuchten Büroräume ließen sich Erhöhungen der TVOC-Werte im Innenraum durch den Betrieb von Laserdruckern (DB- versus RB-Phase) erkennen.

Eine Zuordnung von TVOC-Konzentrationen zu büroraumspezifischen Faktoren bzw. bestimmten Drucker- oder Tonertypen konnte aufgrund der geringen Stichprobe und der hohen Variabilität der Räume/Geräte in der Pilotstudie nicht erkannt werden.

Die Standardmethoden der TVOC-Messung zeigten sich als geeignet, um Laserdrucker-bedingte Emissionen flüchtiger, organischer Verbindungen in Realräumen (Bürräumen) zu erfassen (Machbarkeitsstudie)

Die Quantifizierung einzelner VOC, insbesondere der BTEX-Aromaten und von Styrol steht noch aus; hier wird auf den Abschlussbericht verwiesen.

In der insgesamt hier gefundenen Größenordnung der TVOC-Konzentrationen im Ruhebetrieb (RB), Druckerbetrieb (DB) und Arbeitsbetrieb (AB) können auf Basis der derzeitigen Erkenntnisse* keine adversen gesundheitlichen Effekte auf die in den Büros Beschäftigten zu erwarten.

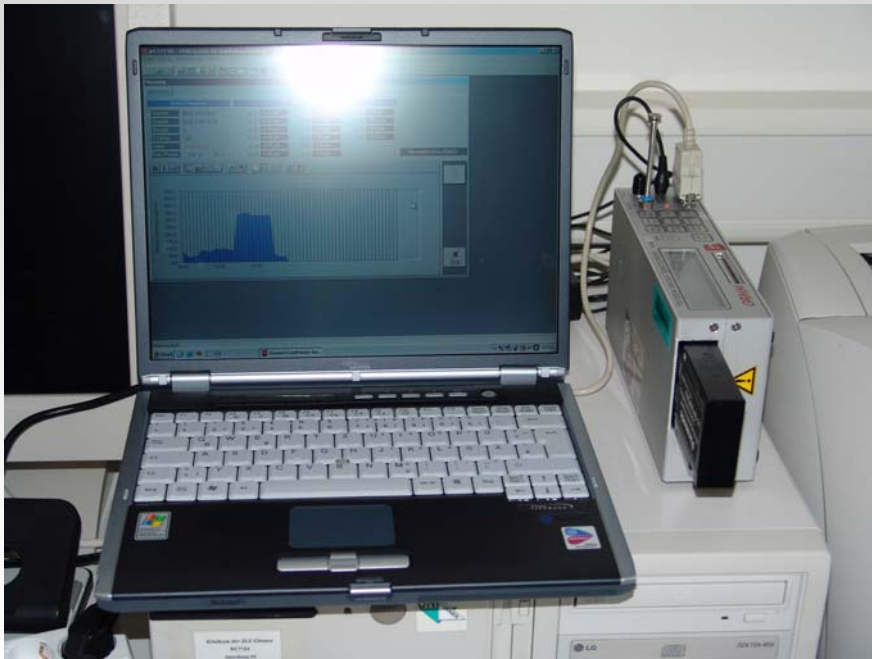
*basierend auf Empfehlungen zur Bewertung der Innenraumlufthygienekommission (IRK) des Umweltbundesamtes (UBA)



Feinstäube und Partikel (0,23 - 20 μ m)

Partikelmessungen (Stäube)

Partikel >230 nm bis >20 μm



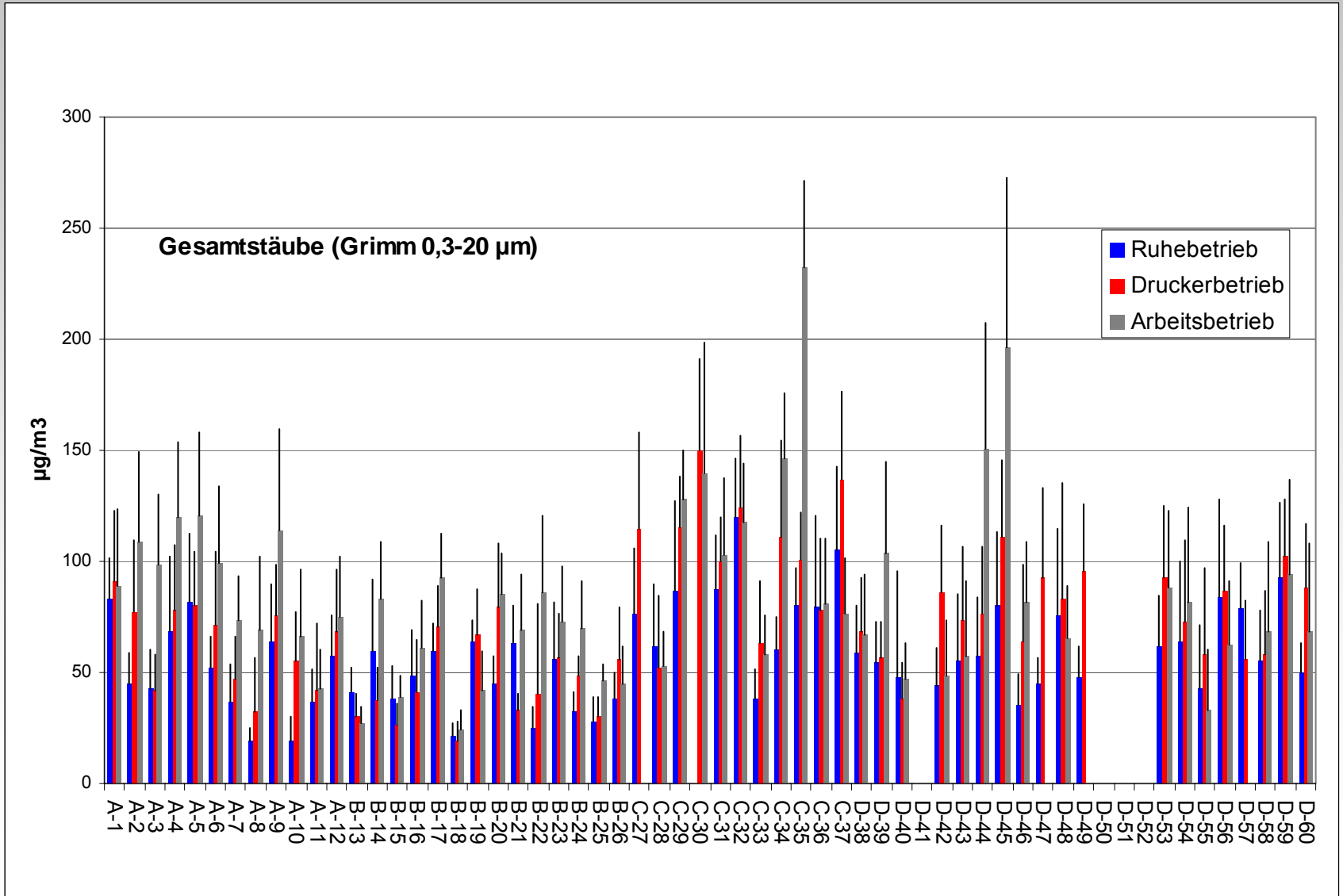
Grimm Modell 1.108 Aircheck

Messung für jeweils 30 Minuten
mit 10 Messungen/Minute
(6 s/Messwert)

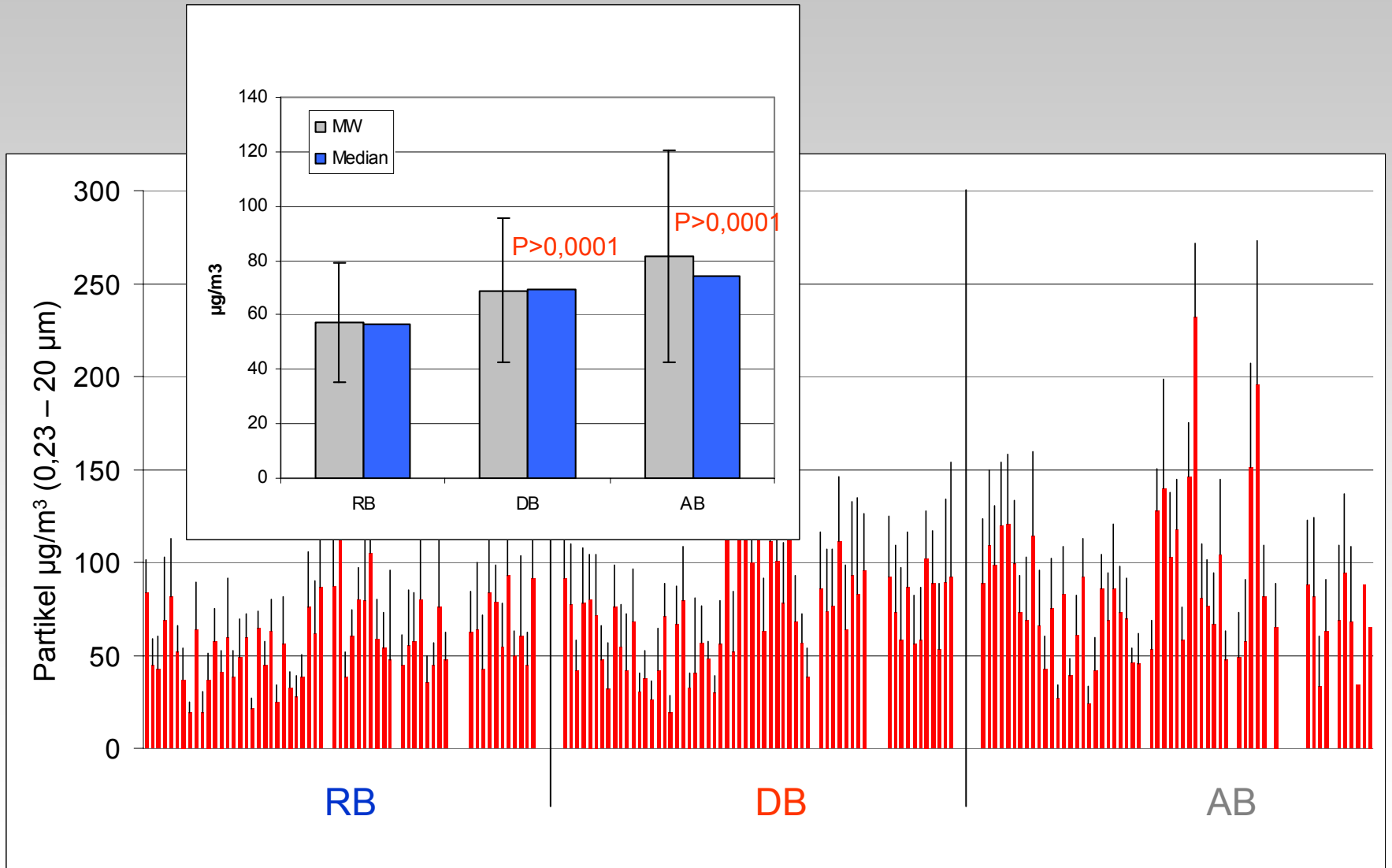
16 Fraktionen (>230 nm bis >20 μm)

Messung als $\mu\text{g}/\text{m}^3$ für jede
Staubfraktion mit $\leq x$ μm

Partikel/Stäube 230nm - 20µm (Grimm-Counter)



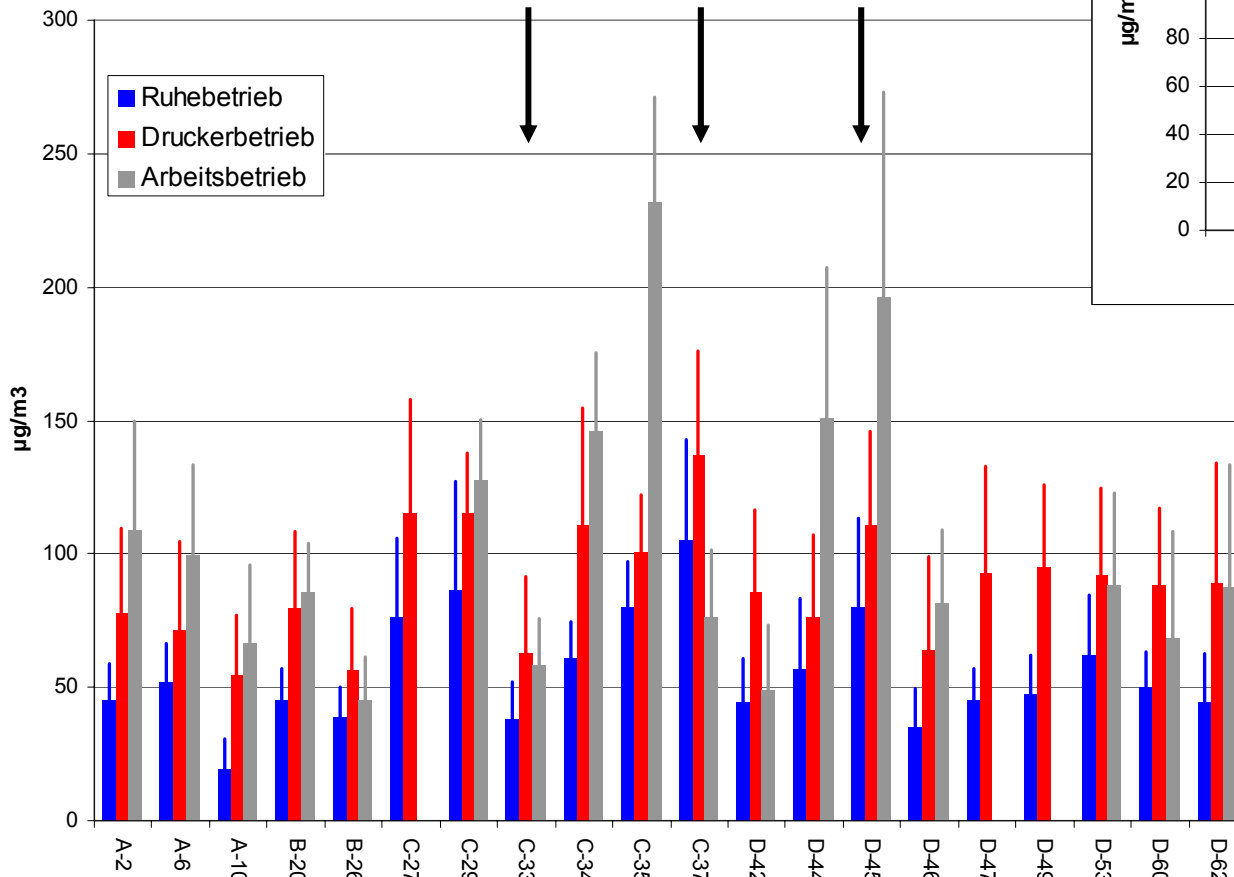
Partikel/Stäube 230 nm – 20 µm (Grimm-Counter)



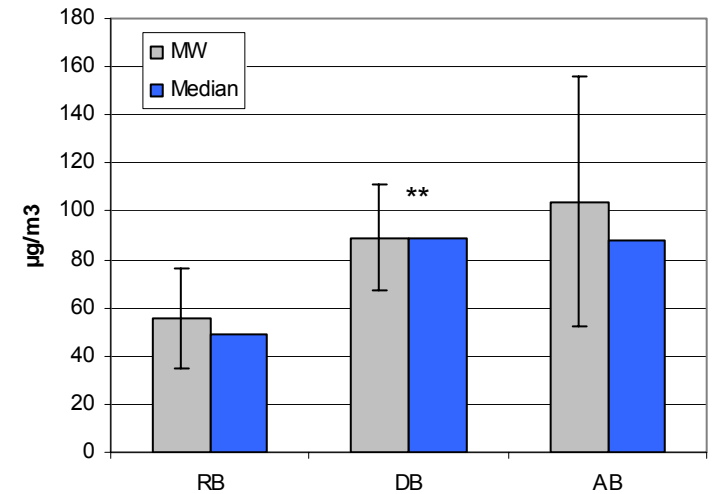
Partikel/Stäube >230nm - >20µm (Grimm-Counter)

Selektion aller Räume, in denen der Druckerbetrieb im Mittel zu einer Erhöhung von $\geq 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Gesamtstaub führte (~30% vom Gesamtkollektiv)

Gesamtstäube (0,3-20 µm) Grimm (nur DB+20µg- Büros)



Gesamtstaub (0,3-20µm) Grimm

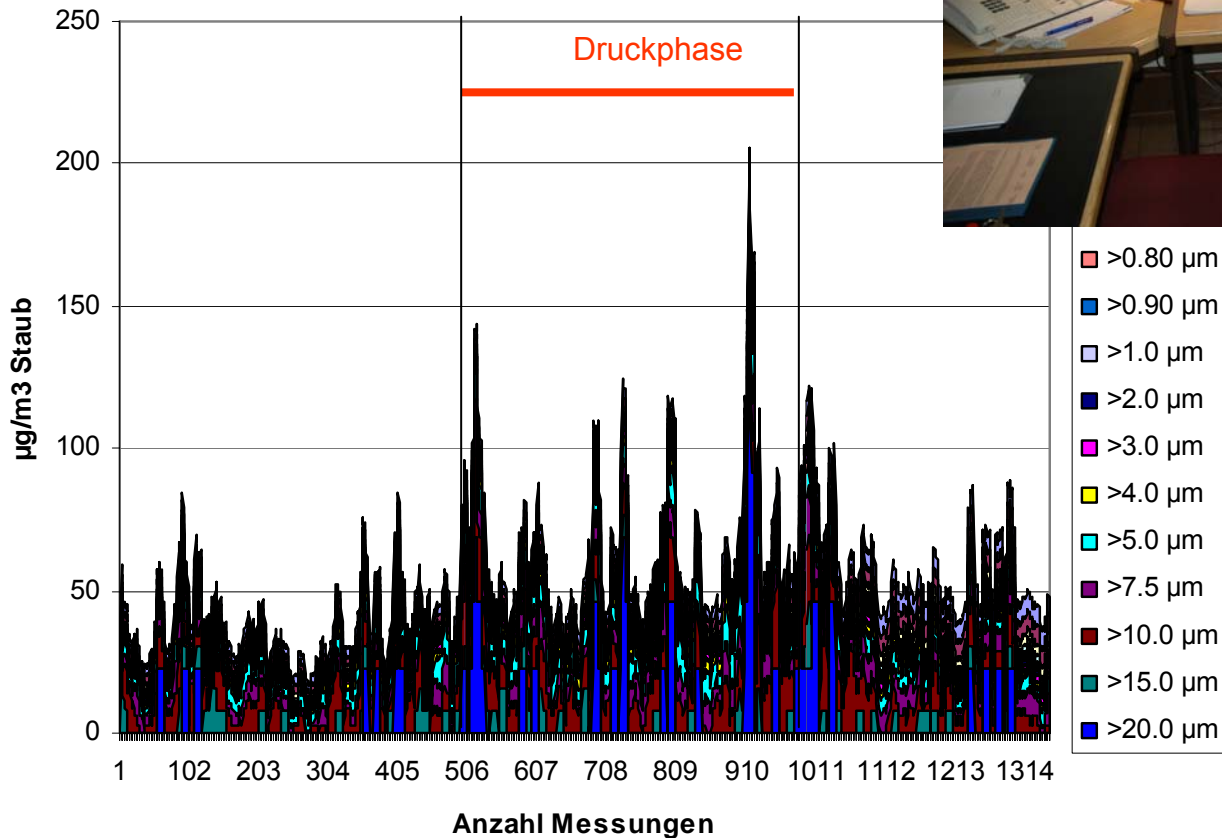


$$P_{DB} \gg P_{AB}$$

Partikel/Stäube 230nm - 20µm
 (Grimm-Counter)
 Raum C-33



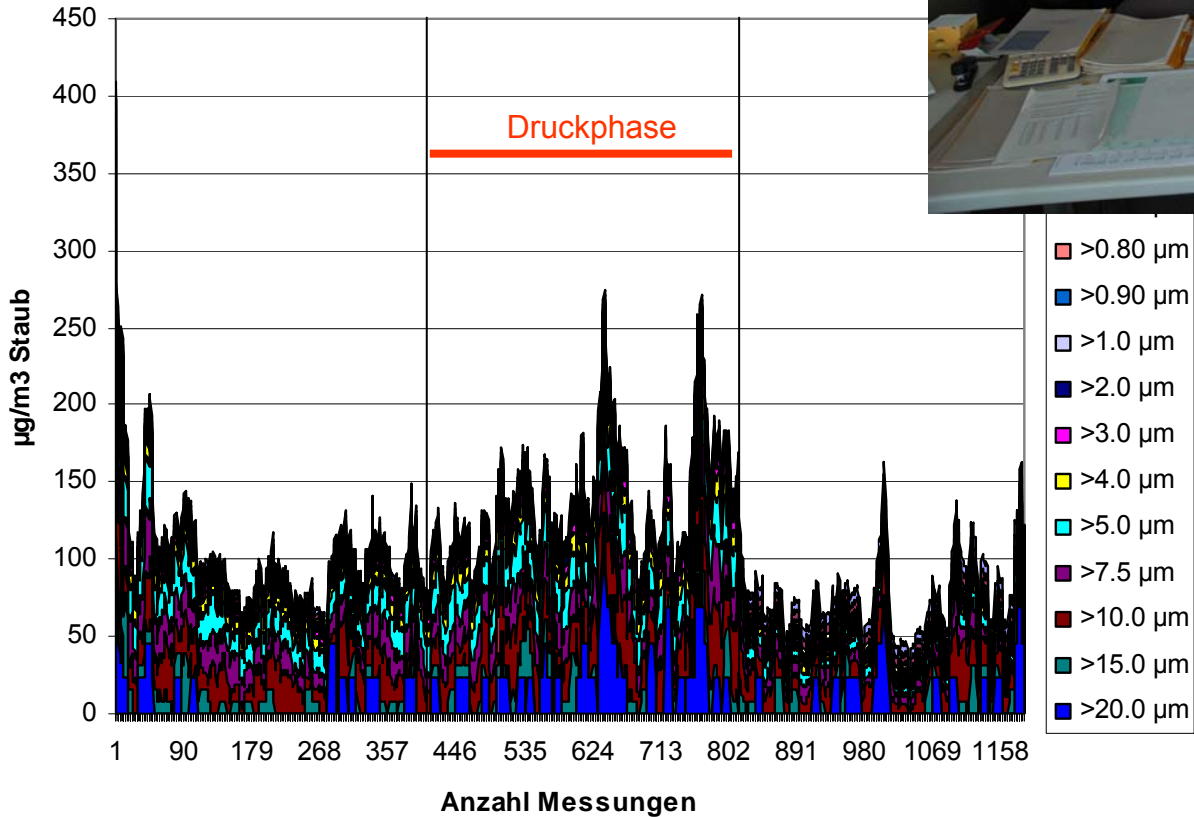
Alle Partikel nach Fraktionen



Partikel/Stäube 230nm - 20µm
 (Grimm-Counter)
 Raum C-37



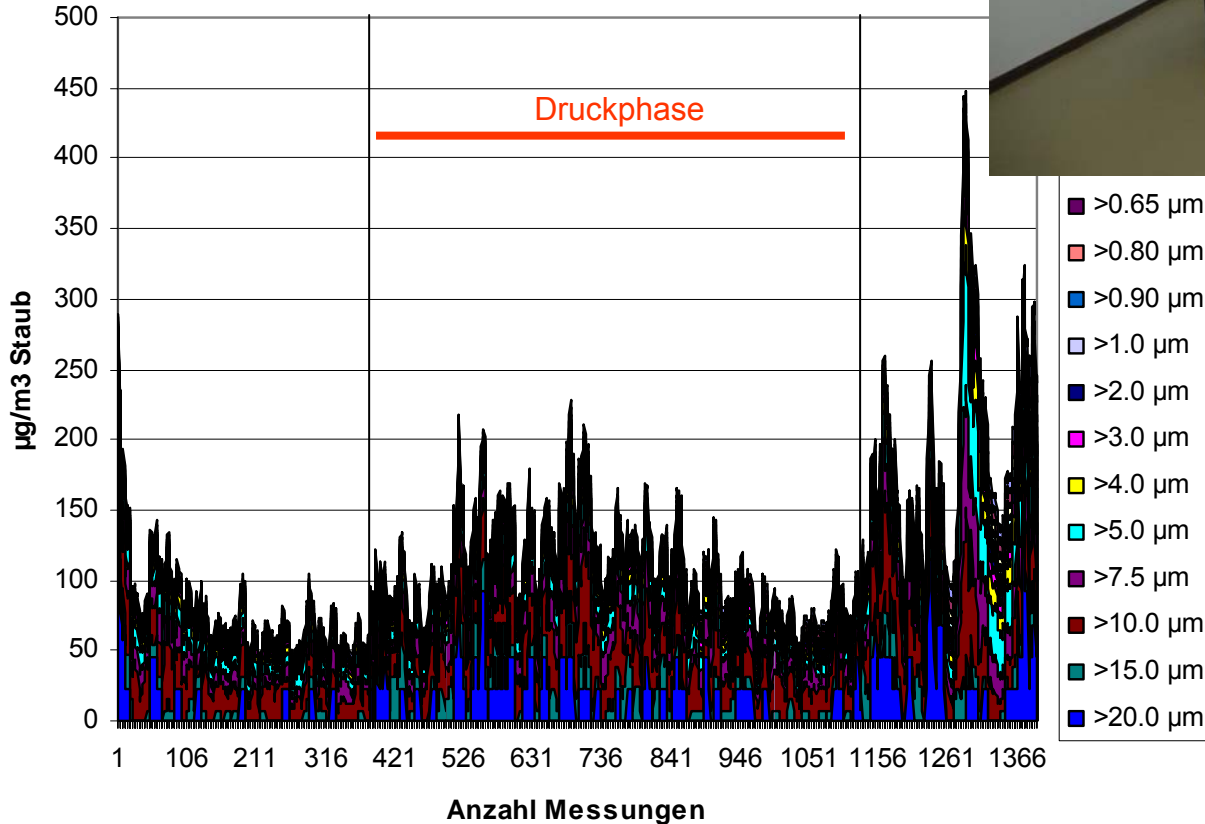
Alle Partikel nach Fraktionen



Partikel/Stäube 230nm - 20µm
 (Grimm-Counter)
 Raum D-45



Alle Partikel nach Fraktionen





ELSEVIER

Atmospheric Environment 41 (2007) 854–866

**ATMOSPHERIC
ENVIRONMENT**

www.elsevier.com/locate/atmosenv

Particulate matter in the indoor air of classrooms—exploratory results from Munich and surrounding area

H. Fromme^{a,*}, D. Twardella^a, S. Dietrich^a, D. Heitmann^b, R. Schierl^c,
B. Liebl^d, H. Rüden^e

^aBavarian Health and Food Safety Authority, Department of Environmental Health, Veterinärstrasse 2, D-85764 Oberschleißheim, Germany

^bBavarian Environment Agency, Analysis of Organic Compounds, Bürgermeister-Ulrich-Strasse 160, D-86179 Augsburg, Germany

^cInstitute and Outpatient Clinic for Occupational and Environmental Medicine, Ludwig-Maximilians-University, Ziemssenstrasse 1, D-80336 Munich, Germany

^dBavarian State Ministry of the Environment, Public Health and Consumer Protection, Rosenkavalierplatz 2, D-81925 Munich, Germany

^eInstitute of Hygiene and Environmental Medicine, Charité—Universitätsmedizin Berlin, Hindenburgdamm 27, D-12203 Berlin, Germany

Received 17 February 2006; received in revised form 31 July 2006; accepted 1 August 2006

N=64 Schulen in und um München (167 Klassenräume)

The median indoor CO₂ concentration in a classroom was 1603 ppm in winter and 405 ppm in summer. With LAS in winter, median PM concentrations of 19.8 µg m⁻³ (PM_{2.5}) and 91.5 µg m⁻³ (PM₁₀) were observed, in summer PM concentrations were significantly reduced (median PM_{2.5} = 12.7 µg m⁻³, median PM₁₀ = 64.9 µg m⁻³). PM_{2.5} concentrations determined by the gravimetric method were in general higher (median in winter: 36.7 µg m⁻³, median in summer:

Tab. 2: Konzentrationsbereiche von Feinstaub in Innenräumen

Konzentrations-Bereich [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	Partikelklasse	Gebäudetyp	Autor
15 - 300	n.d.	"older building"	Kemp et al., 1998
18 - 367	PM 10	Schule	Shaugnhessy et al., 1995
3 - 26	PM 10	13 US-Gebäude	Girman et al., 1995
12 - 211	n.d.	4 Bürogebäude	Menzies et al., 1993
90 - 950	n.d.	Bürogebäude	Skov et al., 1990
14 - 42	TSP	3 NR-Wohnungen	Kamens et al., 1991
24 - 70	PM 10	55 amerik. Wohnungen	Spengler et al., 1981

In Obenland und Kerber, 2005

Schlussfolgerungen

Emission von Partikeln/Stäuben (0,3-20 μm) durch Betrieb von Laserdruckern und Kopiergeräten

In den untersuchten Büroräumen konnten Stäube (0,23 – 20 μm) zwischen ~20 Mikrogramm pro Kubikmeter Luft ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) und Maxima von etwa 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen werden.

Die Staubkonzentrationen lagen mit Mittel- und Medianwert für RB und DB um 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ relativ hoch (AB: ~80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), aber innerhalb der Konzentrationsrange anderer Studien.

Im Mittel konnte eine Erhöhung der Staubbelastung der Luft von RB über DB zu AB festgestellt werden; *in 30% der untersuchten Räume mit einer Zunahme $\geq 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zwischen RB und DB und ohne weitere Zunahme in der AB-Phase.*

Eine Zuordnung der Staubkonzentrationen zu büroraumspezifischen Faktoren bzw. definierten Drucker- oder Tonertypen konnte aufgrund der geringen Stichprobe und der hohen Variabilität der Räume/Geräte nicht erkannt werden (Pilotstudie!).

Die Standardmethoden der Partikelmessung zeigten sich als geeignet, um Laserdrucker-bedingte Emissionen von Stäuben im Realraum (Bürraum) zu erfassen (Machbarkeitsstudie).

Hinsichtlich der insgesamt gefundenen Größenordnung der Staubkonzentrationen in RB, DB und AB können auf Basis der derzeitigen Erkenntnisse keine Aussagen über akute gesundheitliche Wirkungen auf die in den Büros Beschäftigten gemacht werden.

Da die Ermittlung der Staubmassen auf der sphärischen Umrechnung der Partikelzahlen gemittelter Partikelfraktionen erfolgte, sollte in weiterführenden Studien zur genaueren Erfassung der Staubmassen eine Staubsammlung für gravimetrische Messung ergänzt werden.



Luftkeimzahlen und Schimmelpilze

Innenraummessungen (Kollektiv Freiburg) Schimmelpilzbestimmungen in der Raum- und Außenluft*

- Keimzahlbestimmung mit Leschke FH5-Impaktionssampler und Holbach MBASS30
- Sampling von 200L/1000L Luft (100 l/min über 2 min bzw. 10 min)
- Dichloranglyzerin-Agar (DG-18) bei 22°C und 37°C (bis zu 10 Tage)
- Malzextraktagar (MEA) bei 22°C und 37°C (bis zu 10 Tage)
- 3 Sammlungen (synchron zum Messprogramm)
- 1 Außenluftprobe (MEA und DG-18 bei 22°C und 37°C)
- Differenzierung bei Bedarf (innenraumluftthygienische Relevanz)

* nach UBA- und LGA-Leitfaden

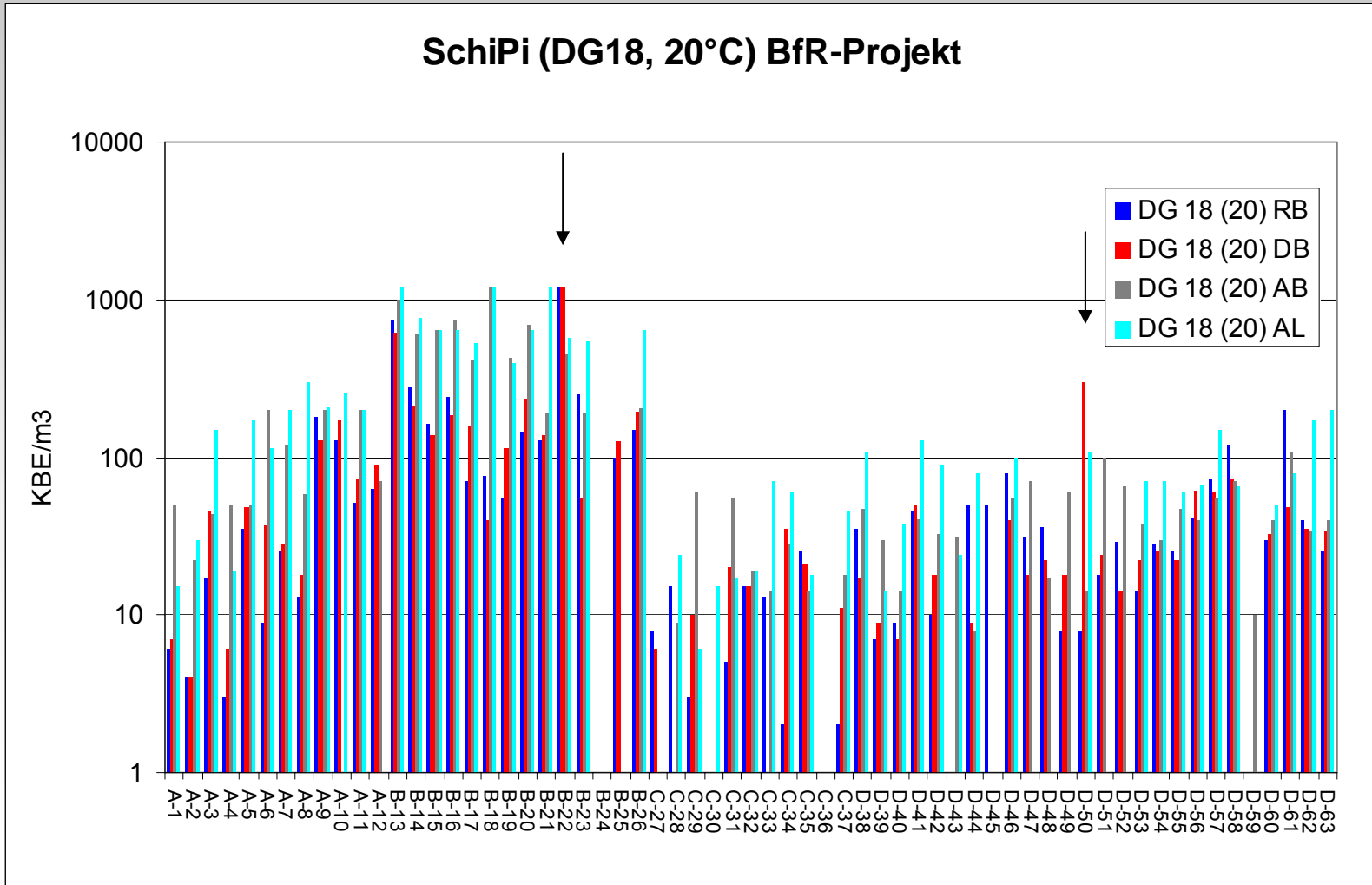


Leschke Impactor FH5
Volumenstrom: 100 L/min
Sammelzeit: 10 min
Sammelvolumen: 1 m³
Nährmedien: MEA / DG18
auf Standardpetrischale

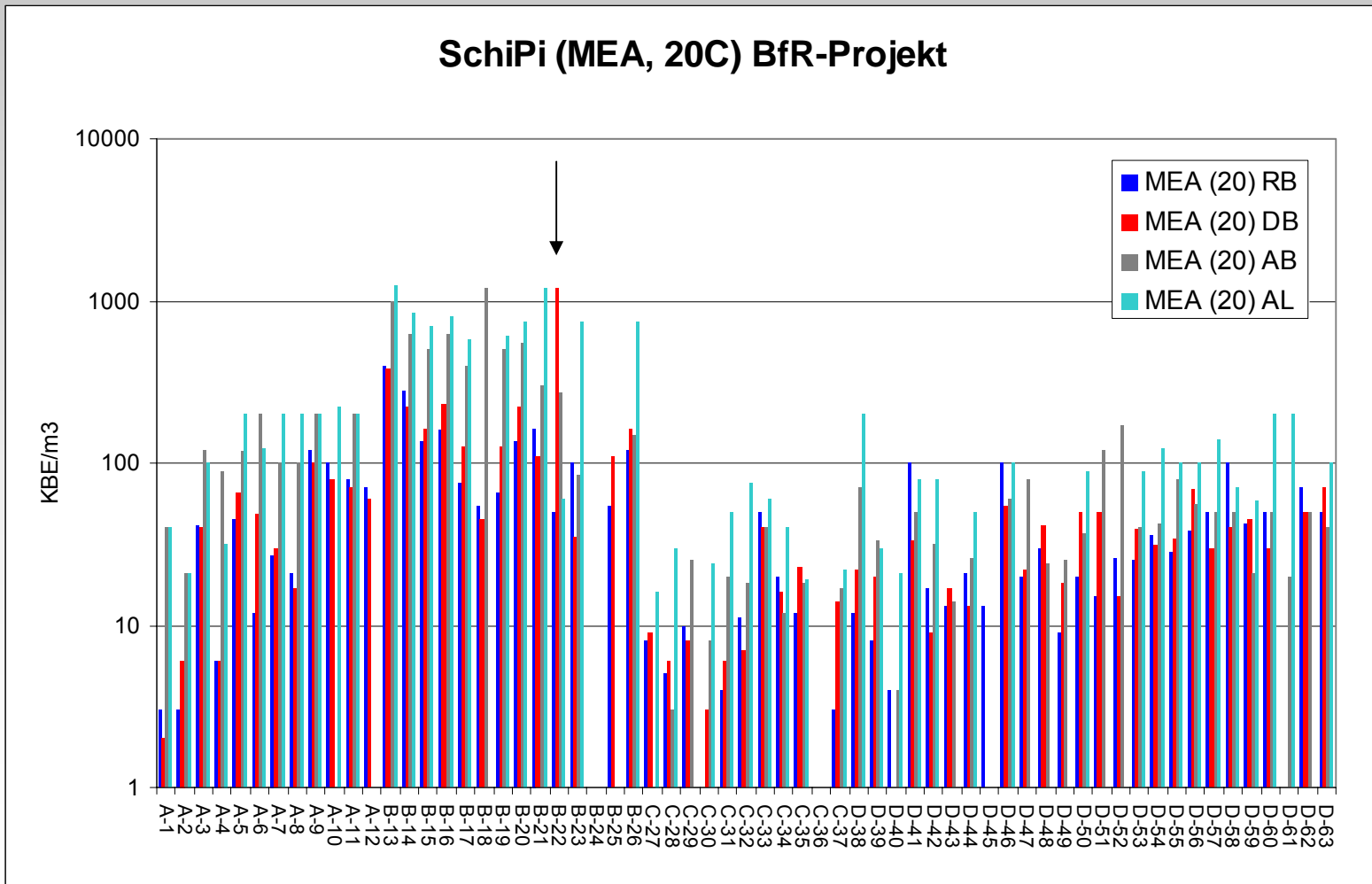


Holbach MBASS30
Mit LKS30-Keimzählkopf
Volumenstrom: 30 L/min
Sammelzeit: ~7 min
Sammelvolumen: 0,2 m³
Nährmedien: MEA / DG18
auf Standardpetrischale

Schimmelpilze in Büroräumen (KBE/m³) auf **DG18-Agar** (Inkubation bei 20°C über 10 Tage)
Luftsammlung im Ruhebetrieb (RB), Druckbetrieb (DB) und Arbeitsbetrieb (AB) im Vergleich zur Aussenluftprobe (AL);
10-minütige Luftsammlung mit Lesche Impactor FH5 (100 L/min; 1 m³) und Holbach MBASS30/LKS30 (30 L/min; 0,3 m³)



Schimmelpilze in Büroräumen (KBE/m³) auf **MEA-Agar** (Inkubation bei 20°C über 10 Tage)
Luftsammlung im Ruhebetrieb (RB), Druckbetrieb (DB) und Arbeitsbetrieb (AB) im Vergleich zur Aussenluftprobe (AL);
10-minütige Luftsammlung mit Lesche Impactor FH5 (100 L/min; 1 m³) und Holbach MBASS30/LKS30 (30 L/min; 0,3 m³)



Raum B-22

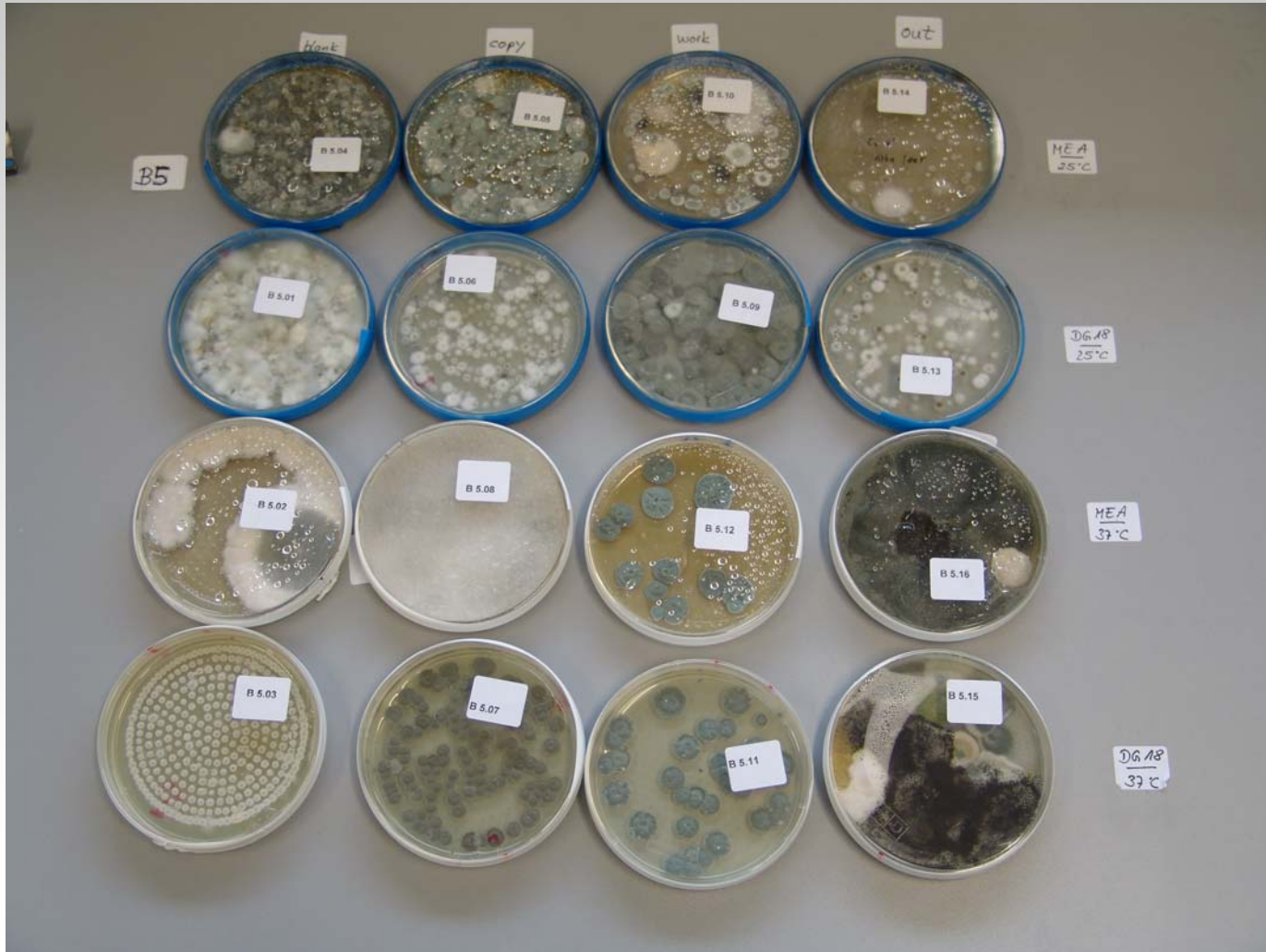
(04.10.2006; 8:00-10:00 Uhr)

im Vergleich zur Außenluftkontrolle auffällig hohe SchiPi-Keimzahlen sowie unterschiedliche Spezies

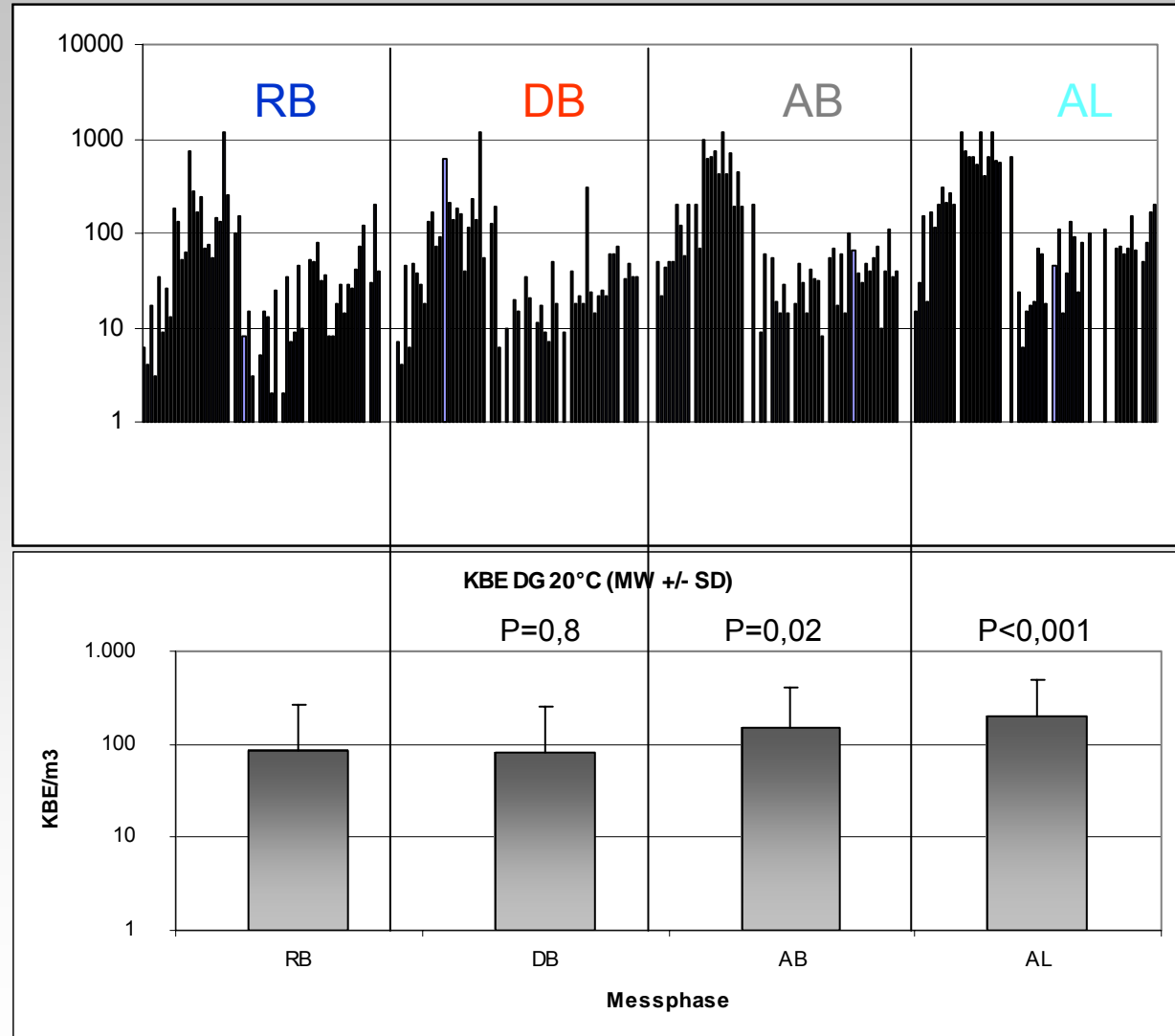


SchiPi-Kulturen von Raum B-22
(04.10.2006; 8:00-10:00 Uhr)

(im Vergleich zur Außenluftkontrolle auffällig hohe SchiPi-Keimzahlen sowie unterschiedliche Spezies)



Pilzkeimzahlen
(DG18, 20°C) in
KBE/m³ in
N=63 Büroräume
RB: Ruhebetrieb
DB: Druckerbetrieb
AB: Arbeitsbetrieb
AL: Außenluft
Signifikanz gerechnet
gegen die RB



Pilzkeimzahlen
(MEA, 20°C) in
KBE/m³

N=63 Büroräume

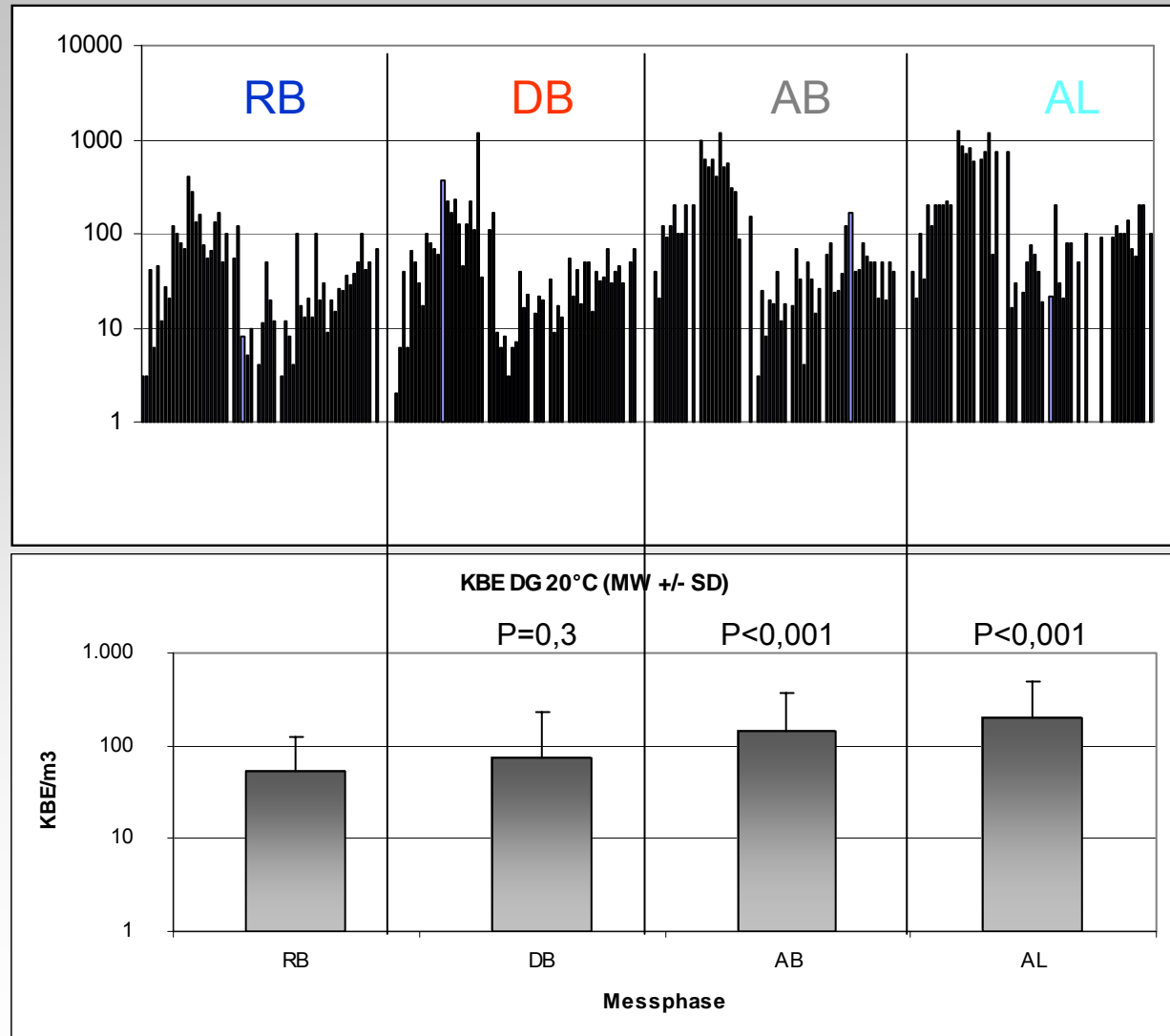
RB: Ruhebetrieb

DB: Druckerbetrieb

AB: Arbeitsbetrieb

AL: Außenluft

Signifikanz gerechnet
gegen die RB



Pilzkeimzahlen
(DG18 und MEA, 37°C)
in KBE/m³

N=63 Büroräume

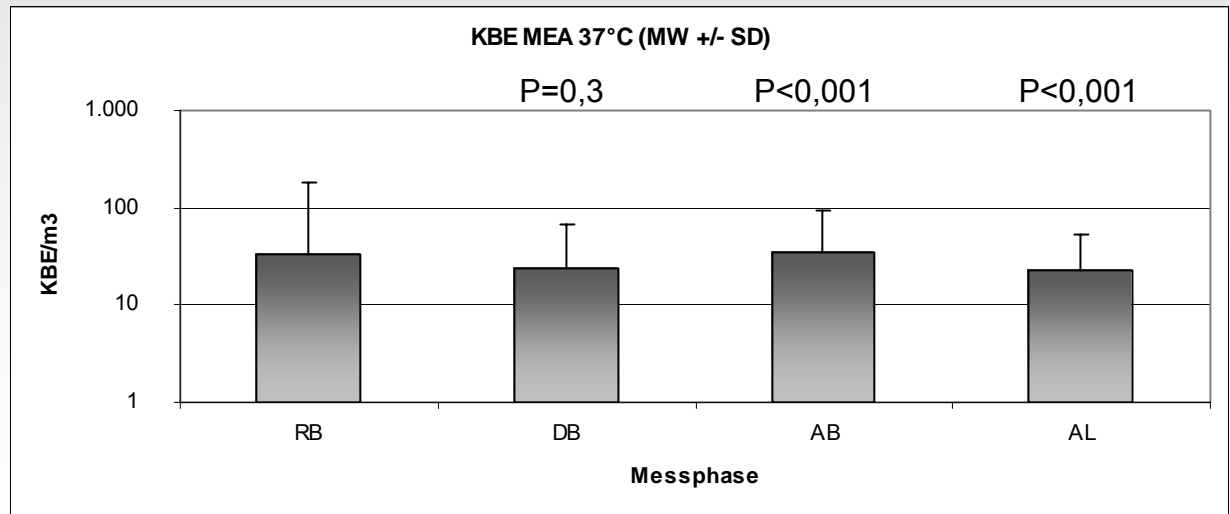
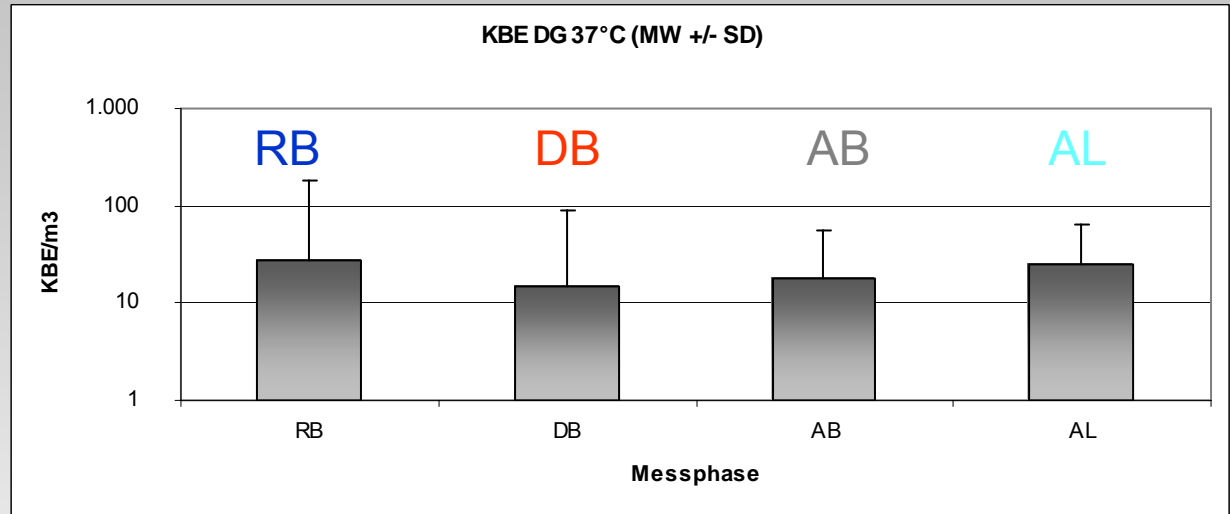
RB: Ruhebetrieb

DB: Druckerbetrieb

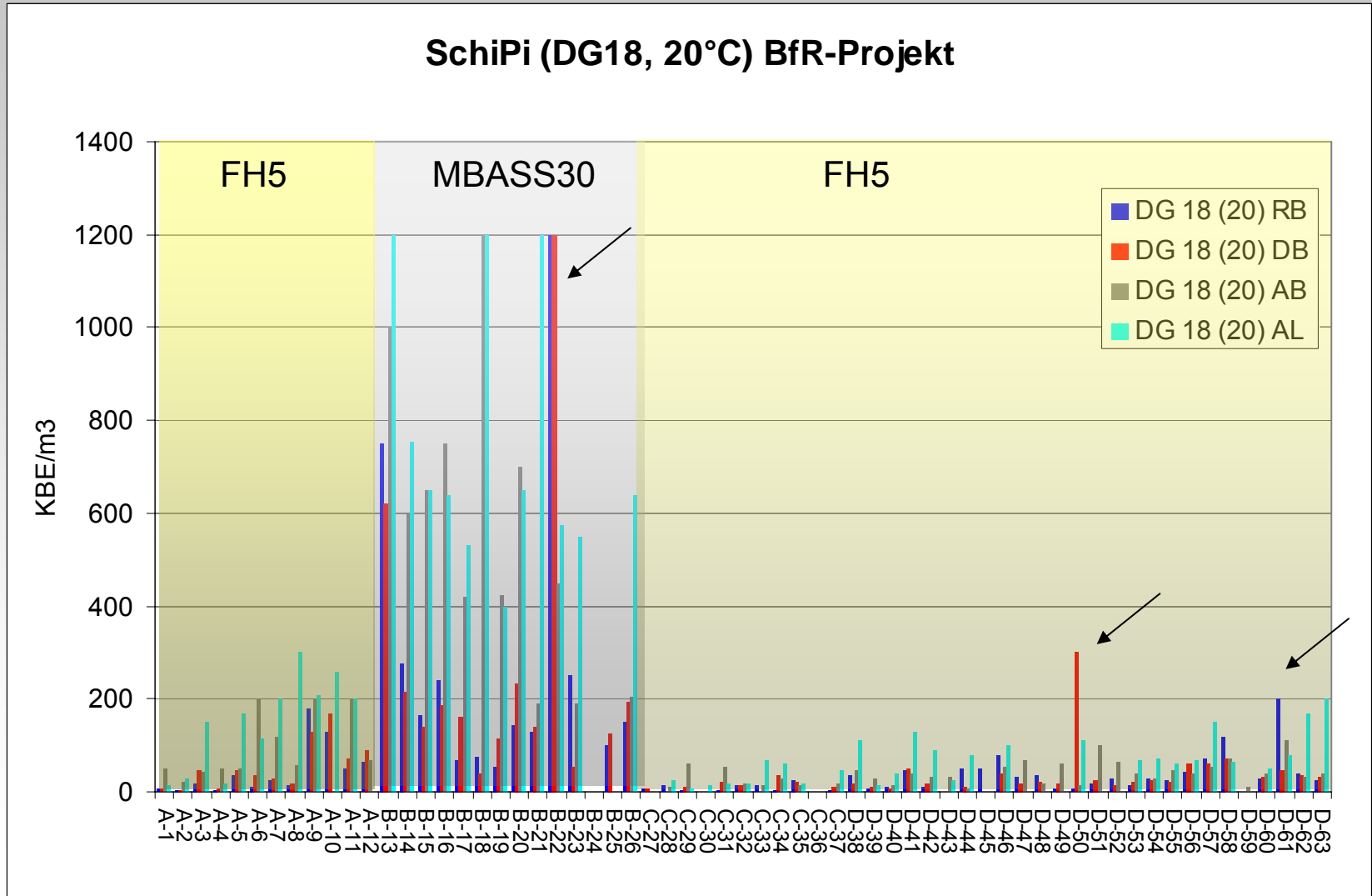
AB: Arbeitsbetrieb

AL: Außenluft

Keine signifikanten
Unterschiede zwischen
den Phasen und der
Außenluft



PROBLEM: Deutliche Differenzen der Sampler



Schlussfolgerungen

Belastungen der Büros mit Mikroorganismen/Schimmelpilzen

In den untersuchten Büroräumen konnten SchiPi-Konzentrationen (Inkubation bei Zi.Temp.; 20°C) zwischen wenigen koloniebildenden Einheiten pro Kubikmeter Luft (KBE/m³) und Maxima von >1000 KBE/m³ gemessen werden.

Zwischen AB und RB, nicht aber zwischen DB und RB konnte eine schwache, aber signifikante Zunahme der SchiPi-Konzentrationen (Zi.Temp.) beobachtet werden.

Die Außenluft-Konzentrationen (AL) lagen bei Ti.Temp.-Inkubation (20°C) sowohl im Mittel wie – *mit wenigen Ausnahmen auch im Einzelfall** - immer in der gleichen Größenordnung bzw. über den KBE-Werten der RB-, DB- und AB-Phase der Innenraumluft.

Die KBE-Werte für 37°C-Inkubation lagen i.d.R. um ½ bis eine Größenordnung niedriger als bei Zi.Temp.-Inkubation

Ungewöhnlich erschien der große Unterschied der KBE-Zählungen (Faktor 3-5) infolge des Einsatzes verschiedener Samplingmethoden und –geräte trotz werksmäßiger Kalibrierung Der Geräte. Hier besteht Klärungsbedarf, da hierdurch viele SchiPi-Zahlen im B-Kollektiv im auffälligen Bereich lagen.

* Überprüfung der auffälligen Räume wird angeraten



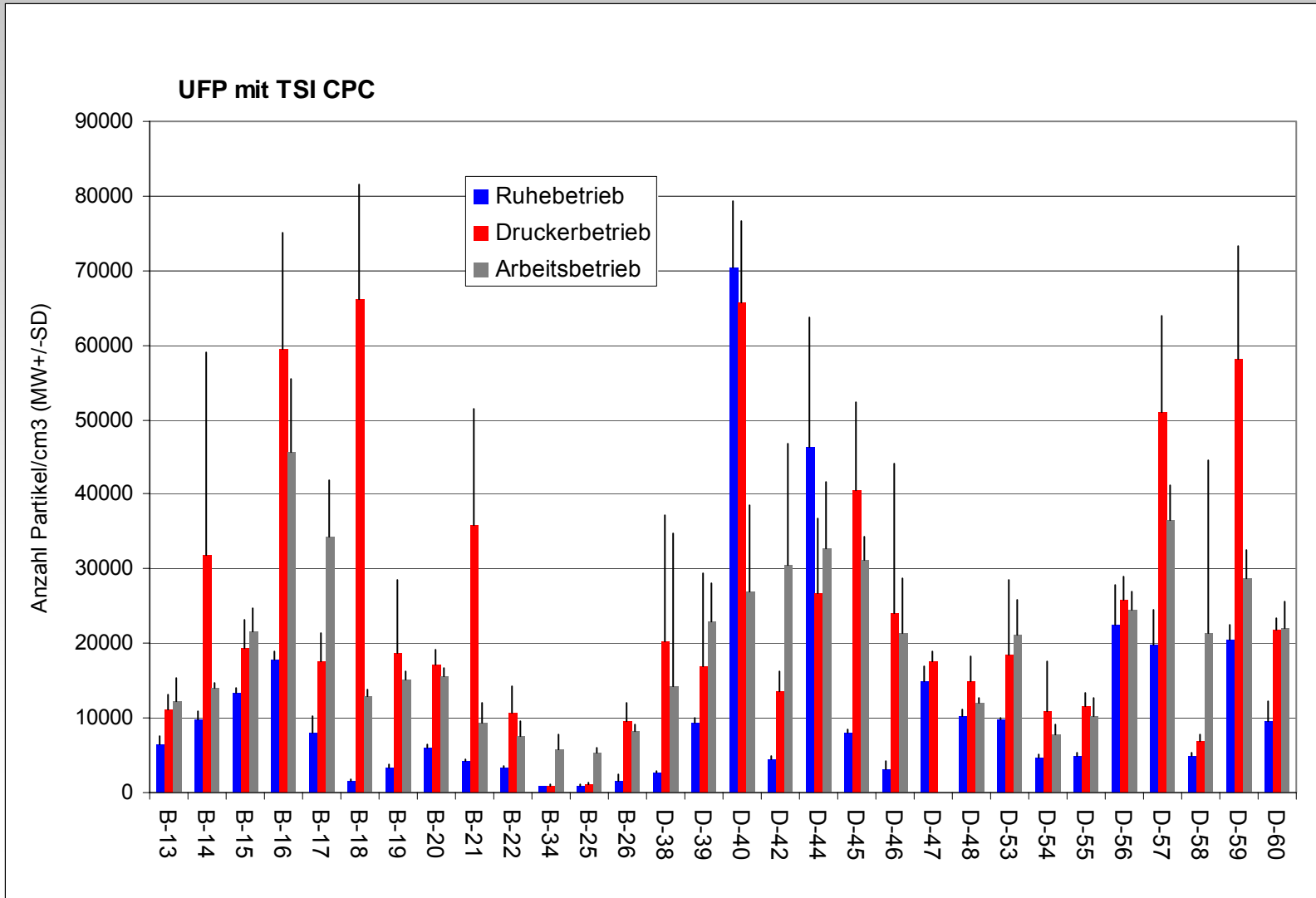
Nanopartikel / Ultrafeine Stäube (10-1000 nm)

Messung von Nanopartikeln / ultrafeinen Partikeln (UFP) Erhebungen im Rahmen der Zusatzstudie

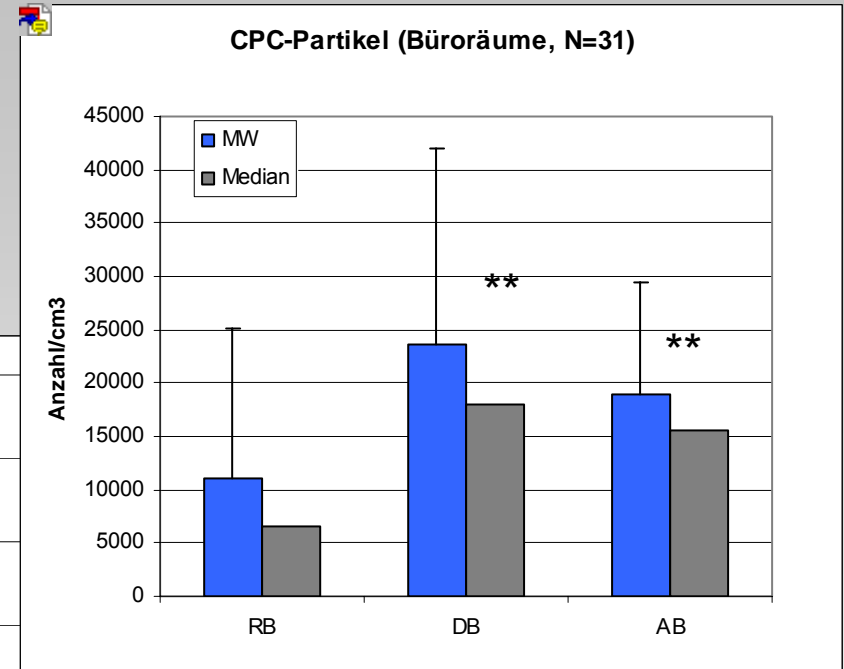
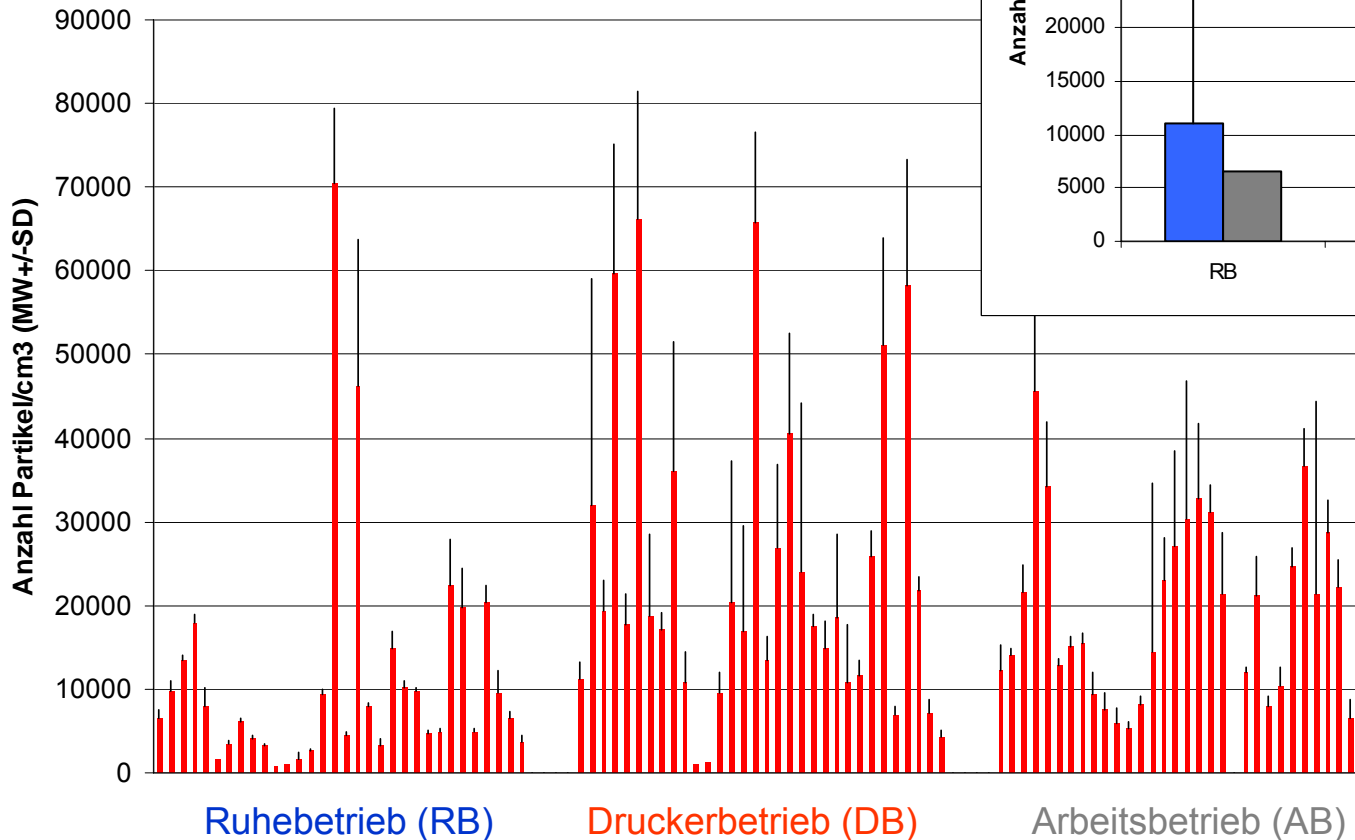


TSI
Condensation Particle Counter (CPC)
Model 3007

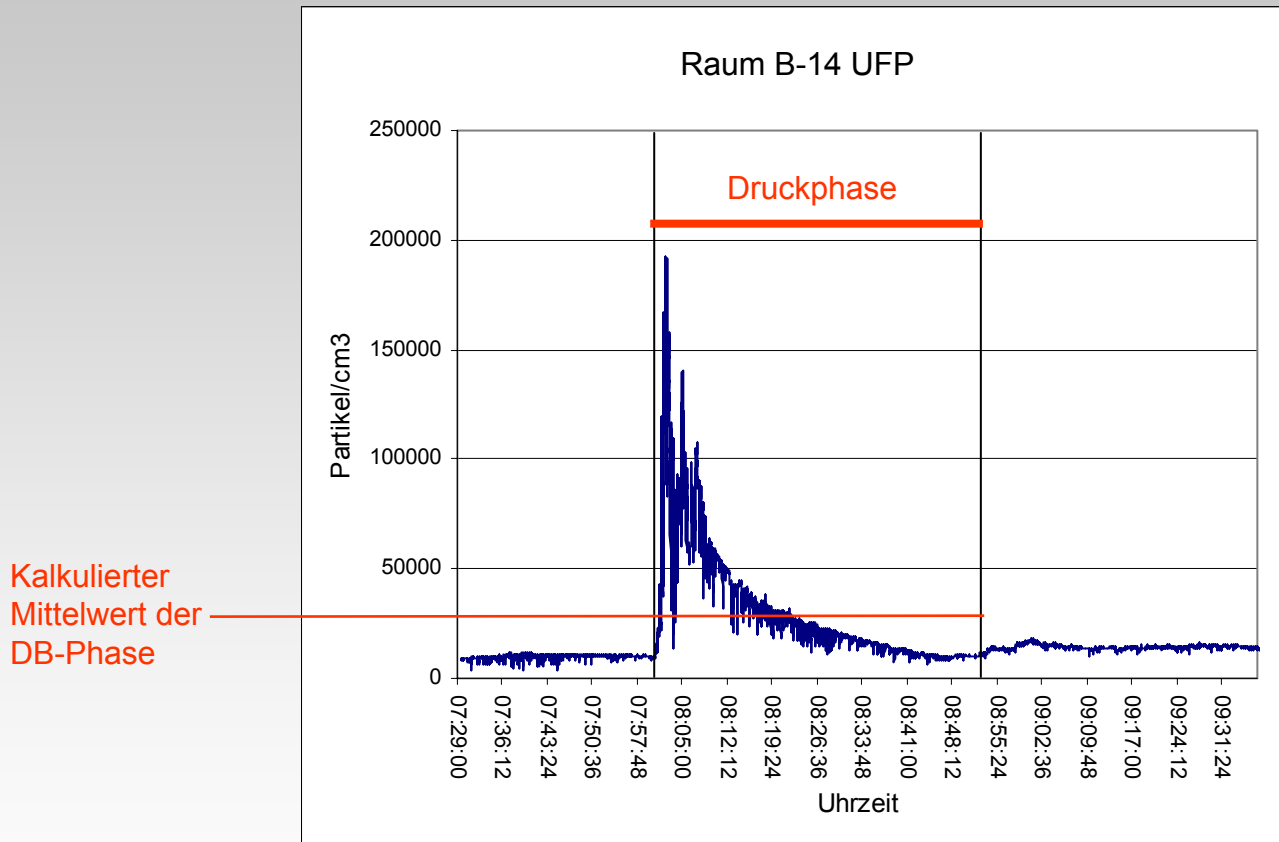
Untersuchung von Nanopartikeln (UFP 10->1000 nm) in Büroräumen (mit TSI CPC 3007)



Untersuchung von Nanopartikeln (UFP) in Büroräumen (10->1000 nm) mit TSI CPC 3007



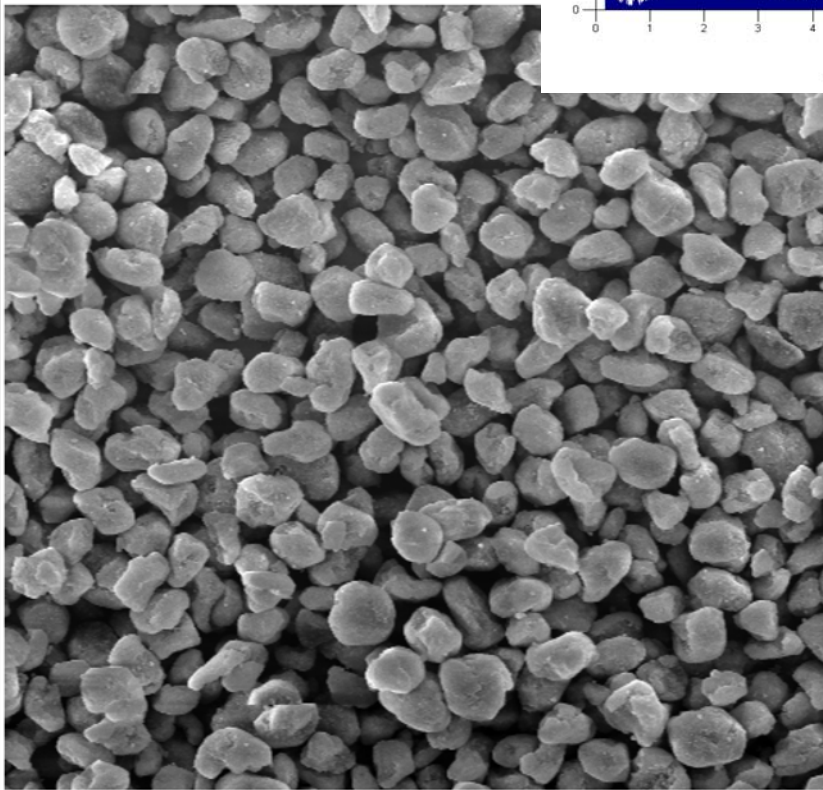
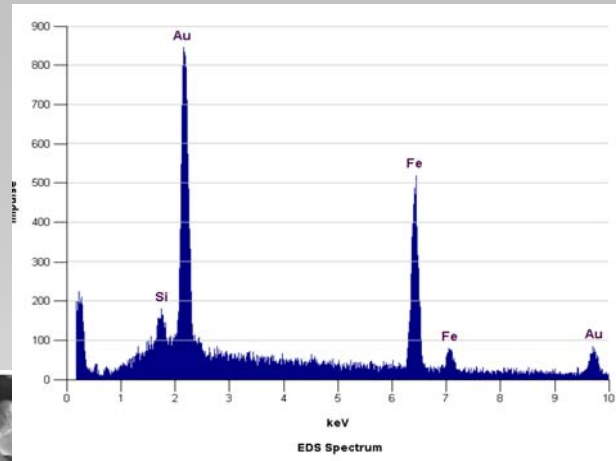
Messung von Nanopartikeln (UFP) in Realräumen (Büros)



Beispiel:

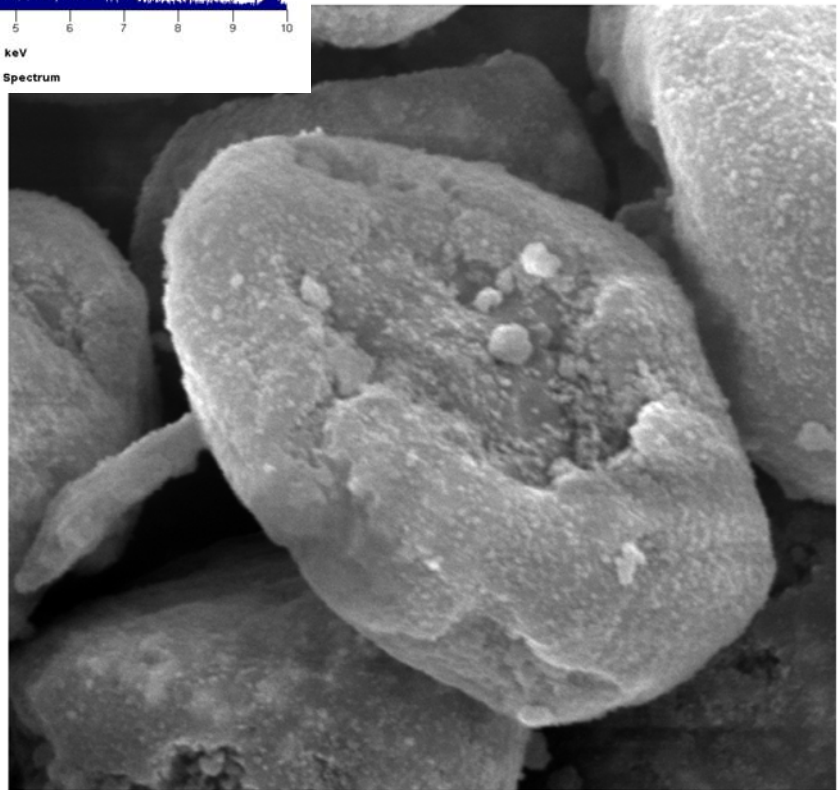
Die Spitzenkonzentrationen, d.h. die initialen Emissionen an Nanopartikeln (UFP) aus Laserdruckern können um mehrere Größenordnungen über den für die Druckphase gemittelten UFP-Werten liegen (hier: initiale Emission von $1,9 \times 10^6$ Nanopartikel/cm³ versus $3,2 \times 10^4$ Nanopartikel/cm³ gemittelt)

Bsp.: Sammlung Berlin
Filter R219



Tonerstaub zu 219 1000x 05.12.06

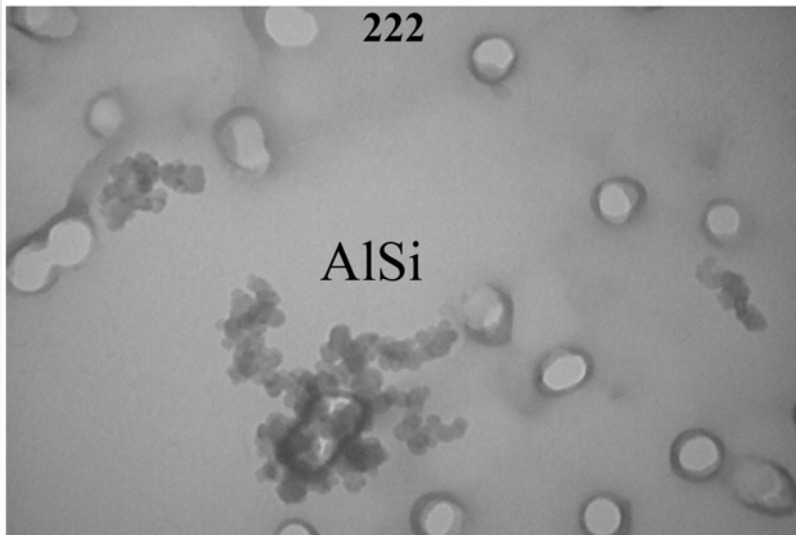
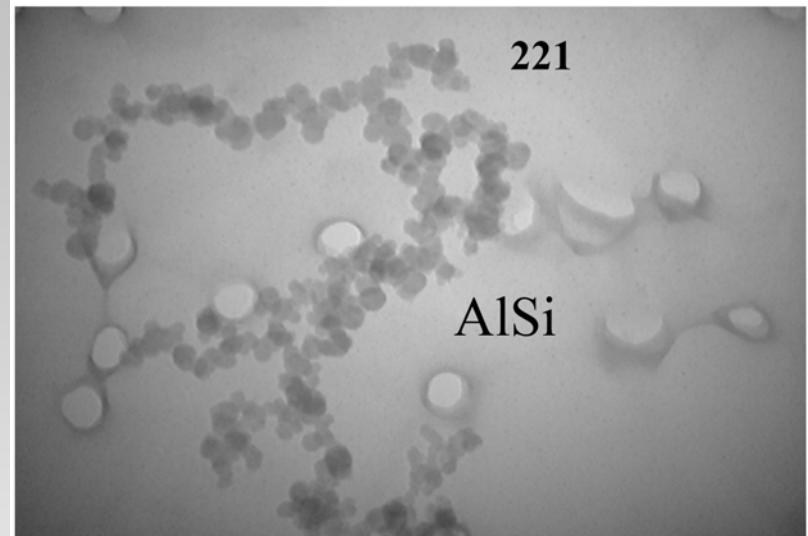
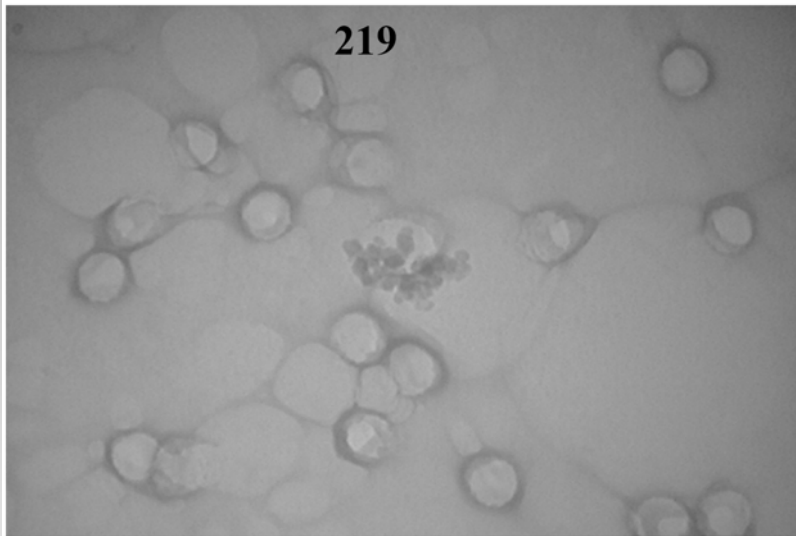
30µm



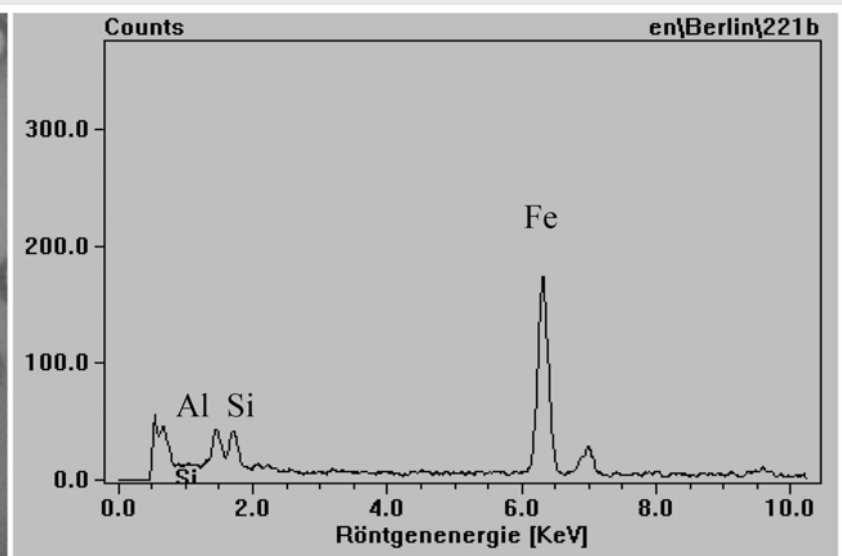
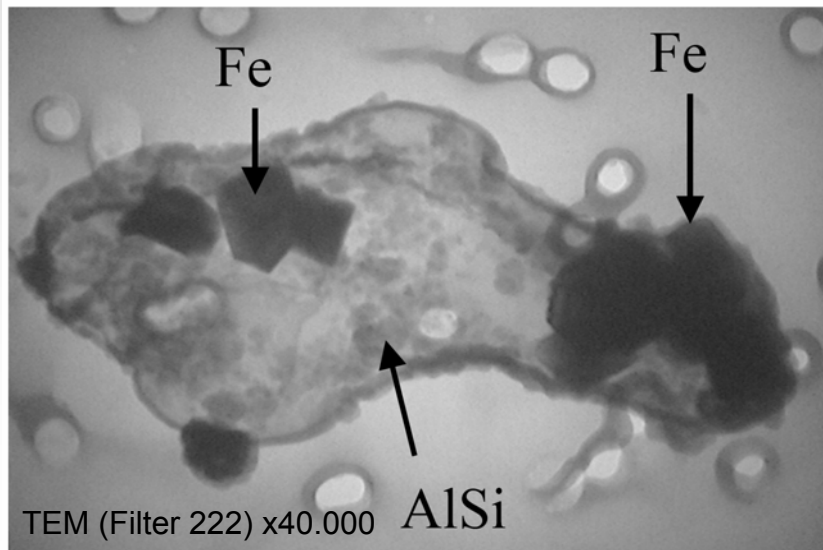
Tonerstaub zu 219 10000x 05.12.06

3µm

TEM/REM-Analysen: K.Rödelsperger, IPAS, JLU Gießen



TEM x40.000
Nanopartikelaggregate
eines Filters aus der Luftsammlung



Schlussfolgerungen

Emission von Nanopartikeln (10-1000 nm) durch Betrieb von Laserdruckern und Kopiergeräten

Bei Auswertung der Bürokollektive B und D konnte in der Büroraumlufte im Mittel eine signifikante Erhöhung (Verdopplung) der Anzahl von Nanopartikeln mit Durchmessern zwischen 10-1000 nm von RB nach DB festgestellt werden.

Zwischen DB und AB-Phase nahm die Konzentration an Nanopartikeln wieder signifikant ab, so dass durch den Betrieb von Laserdruckern i.d.R. eine Erhöhung ultrafeiner Partikel (UFP) in Büroräumen erwartet werden muss.

In der Spitze können beim Anlaufen von Laserdruckern („initialer Burst“) im Innenraum Konzentrationsspitzen von Nanopartikeln bis >250.000 Partikel/cm³ gemessen werden, d.h. in Konzentrationen, die um den Faktor 10^1 bis 10^2 über den RB-Konzentrationen liegen.

Unter Berücksichtigung orientierender Analysen mittels Raster- und Transmissions-Elektronen-Mikroskopie werden auch „substanzielle“ Partikel (und Konglomerate) mit Eisen- und Siliziumkomponenten aus Druckern in die Innenraumlufte freigesetzt (Konzentrationsbestimmungen stehen aus).

Die jetzigen Ergebnisse deuten somit darauf hin, dass neben VOC-Agglomeraten, die mittels CPC als Nanopartikel erkannt werden, auch „feste“ Nanopartikeln als „initialer Burst“ während des Druckbetriebs freigesetzt werden (bubble).

Welcher gesundheitliche Stellenwert der Emission dieser UFP in die Innenraumlufte durch den Betrieb von Laserdruckern und Kopieren zukommt, ist ungeklärt.



Gesundheitliche Bewertung und Bewertbarkeit



Abgesehen von den offenen Fragen bei der Quantifizierung und Identifizierung der Zusammensetzung der von Laserdruckern (initial) emittierten Nanopartikel (UFP) können akute gesundheitliche Effekte durch die in der Pilotstudie gemessenen Einzelvariablen derzeit nicht abgeleitet werden.

Da sich aus der internationalen Literatur Anhaltspunkte für subchronische bzw. chronische gesundheitliche Effekte von Emissionen aus Laserdruckern bzw. Fotokopierern ableiten lassen, ist im Rahmen der zukünftigen Forschung dem biologischen Potenzial der komplexen Emissionsmuster verstärkte Aufmerksamkeit zu schenken
(biomedizinische Grundlagenforschung)



Schwerpunkt: Toneremissionen

Druckgeräteemissionen – Gesundheitliche Bewertung

Gesundheitliche Bewertung der Exposition gegenüber Tonerstäuben und gegenüber Emissionen aus Laserdruckern und Kopiergeräten – aktueller Erkenntnisstand

Richard Gminski, Volker-Mersch-Sundermann

Institut für Innenraum- und Umwelttoxikologie, Fachbereich Medizin der Justus-Liebig-Universität Gießen, Aulweg 123, 35392 Gießen

Umweltmed Forsch Prax **11** (5) 269 – 300 (2006)

© ecomed Medizin, Verlagsgruppe Hüthig Jehle Rehm GmbH, Landsberg

Tabelle 12: Zusammenfassende Bewertung der Studien zur gesundheitlichen bzw. toxikologischen Wirksamkeit von Expositionen gegenüber Tonern bzw. gegenüber laserdruckerspezifischer Emissionen

Studientyp	Anzahl der Studien	Synoptische Ergebnisdarstellung
<i>In-vitro</i> -Studien Bakterien / Zellkulturen	9	∅ mutagenes oder genotoxisches Potenzial von heute gebräuchlichen Tonern; in hohen Dosisbereichen Hinweise auf tonertyp- und zellspezifische, zytotoxische Effekte
<i>In-vivo</i> -Studien Tierversuche mit Ratten, Kaninchen und Meerschweinchen	12	Geringe akute orale und dermale Toxizität von Tonerstäuben (>2g/kg KG) bei chronischer inhalativer Exposition gegenüber Tonerstäuben ab etwa >10 mg/m ³ „lung overloading“ mit ↑ Tonerdeposition ↑ chronischer Inflammation ↑ Zunahme des Lungengewichts aufgrund Proliferation, ↑ verminderter Clearance ↑ Fibrose ∅ Kanzerogenität (auch bei chronisch-inhalativer Exposition hoher Dosen von Tonerstäuben) Kanzerogenität ↑: Lungentumore ↑↑ bei direkter Instillation sehr hoher Dosen von Tonerstaub in die Lunge (aber: fragliche Relevanz für die Risikoabschätzung eine realitätsbezogenen Exposition) ∅ Reproduktionstoxizität (auch bei chronisch-inhalativer Exposition hoher Dosen an Tonerstäuben)
Kasusiken und Fallsammlungen	8	wenig evidente Hinweise auf Beziehungen zwischen Tonerexposition und Erkrankungen Personen mit hyperreagiblem Bronchialsystem reagieren u.U. sensibler auf Tonerexpositionen
Patientenstudien	3	Hinweise auf vermehrte Allergiebereitschaft bei empfindlichen Personen (die Studien sind aber aus methodischer Sicht zu evaluieren)
Expositionsstudien	1	Hinweise auf akut irritative Effekte (subjektiv und konjunktivale Epithelschäden) infolge Exposition gegenüber Druckeremissionen in einer Prüfkammer
Bio- und Bioeffektmonitoringstudien	4	reproduzierte Hinweise auf ein DNA-schädigendes, zytogenetisch toxisches Potenzial bei Exposition gegenüber drucker- bzw. kopiererspezifischen Emissionen.
Epidemiologische Studien	2	widersprüchlich und wenig belastbar; fragliche Beziehung von Toner/Kopiererexposition und Sarkoidose arbeitsmedizinisch kein Hinweis auf Beziehungen zwischen Tonerexposition und pulmonalen Gesundheitsbeeinträchtigungen
Einzelstoffe (Expositionsdaten)		bei Emissionsspitzen im forcierten Druckbetrieb sind irritative Wirkungen auf die oberen Atemwege durch höhere Expositionen gegenüber Einzelstoffen und Stoffgemischen (VOC, Formaldehyd, Ozon, Staub) nicht auszuschließen

Forschungsbedarf besteht

Tabelle 13: Forschungsbedarf zur Klärung offener Fragen bei der Bewertung der gesundheitlichen bzw. toxikologischen Wirksamkeit von Expositionen gegenüber Tonern bzw. gegenüber druckerspezifischer Emissionen (s.a. Text)

Studientyp	Forschungsbedarf
Emissions- und Immissionsanalysen	<p>Prüfkammeruntersuchungen im Rahmen der Produktbewertung sowie zur Aufklärung unbekannter Emissionen, Synergismen und oxidativer Prozesse.</p> <p>Analysen zur Veränderung der Innenraumluftqualität (Stäube, VOC, Ozon, Formaldehyd) beim Betrieb von Druckern und Kopieren in Realräumen.</p>
<i>In-vitro</i> -Studien Bakterien / Zellkulturen	<p>Bakterienmodelle: Ø Forschungsbedarf, da wenig aussagekräftig!</p> <p style="border: 1px solid red;">Humane Zellmodelle: Studien zur genetischen und immunologischen Wirksamkeit in humanen Targetzellkulturen (Lungenzellen) unter Einsatz von biologischen Kammerexpositionssystemen mittels Transwellkulturen (z.B. BIKAS®) → ermöglichen ein kostengünstiges und aussagekräftiges Screening vieler Tonerprodukte und Geräteemissionen!</p>
<i>In-vivo</i> -Studien (Tierversuche)	<p>Tierversuche mit direkter Exposition gegenüber Tonerstäuben: Ø unmittelbarer Forschungsbedarf, da bereits aussagekräftige Studien vorhanden! (allerdings nur für ausgewählte Modelltoner)</p> <p>Untersuchungen zur Abklärung der Pathomechanismen (Promotion) bei der Tumorigenese nach Instillation von Tonern in die Lunge.</p> <p style="border: 1px solid red;">Studien zur zytogenetischen und immunologischen Wirksamkeit der Exposition von Versuchstieren gegenüber drucker- und kopiererspezifischen Komplexemissionen.</p>
Kasusitiken	Ø Forschungsbedarf, da i.d.R. wenig aussagekräftig (Meldungen nach §16e ChemG beim BfR auswerten)
Patientenstudien	Aufarbeitung der Fallsammlungen zu Personen mit erhöhter Suszeptibilität gegenüber Tonerexposition (z.B. aus Datenbanken der Interessengemeinschaft der Toner geschädigten, ITG e.V.).
Expositionsstudien	Kontrollierte humane Kammerexpositionsstudien gegenüber druckspezifischen Komplexemissionen unter Einsatz von sensorischen (VAS-Skalen) und psychometrischen Erhebungsinstrumenten sowie biochemischen, immunologischen, zytogenetischen Bioeffektmarkern (z.B. ROS, enzymatische Polymorphismen, Interleukine (IL-6, TNF-α), NO im Exhalat, Mikrokerne und DNA-Brüche (Kometen) in Bukkal-, Nasal- und Lungenzellen).
Biomonitoringstudien	Biomonitoring in Verbindung mit kontrollierten humanen Expositionsstudien (s.o.).
Epidemiologische Studien	Querschnitts- und Fallkontrollstudien mit aussagekräftigen Probandenkollektiven zur Klärung eines möglichen Zusammenhangs zwischen büromaschinenspezifischen Emissionen und respiratorischen, neurovegetativen und allergischen Gesundheitsstörungen.

Erkenntnisse der Pilotstudie für eine zukünftige Hauptstudie (Innenraumbezogener Studienteil)

- Einsatz empfindlicherer Ozon-, ggf. auch CO₂-Messgeräte mit kontinuierlicher Messung der Parameter
- Berücksichtigung von Ozon/VOC-Reaktionsprodukten als reaktive Intermediate in der Raumluft
- Langzeitsammlung Stäube in der Luft zur Gravimetrie und Analytik von Metallen
- Standardisierung (nur) der Raumreinigung zur Erfassung von Endotoxine (ELISA)
- TVOC-Onlinemessung zur Erfassung eines möglichen initialer VOC-Burst
- Einsatz sensitiver Formaldehydmonitore
- Traps für Nanopartikel (UFP) zur REM/TEM-Analyse



Danksagung

Das IIUT and der JLU Gießen sagt Dank...

dem Bundesinstitut für Risikobewertung für die Finanzierung der Pilotstudie sowie der Zusatzstudie zur Pilotstudie

den Leitern und Ansprechpartnern der Bürogebäude für die Möglichkeit, in den Gebäuden Büroraumuntersuchungen durchzuführen, sowie den dort Angestellten für ihre Bereitschaft als Probanden bei der BfR-Studie mitzuwirken

dem Institut für Arbeits- und Sozialmedizin am Uniklinikum Gießen und Marburg GmbH der Justus-Liebig-Universität Gießen, Herrn *Prof. Dr. Schneider* und Herrn *Prof. Dr. Dr. Rödelesperger* für die Unterstützung bei den TEM/REM- und Elementanalysen

den Betriebsärzten Herrn *Dr. Bültermann* in Freiburg, Herrn *Dr. Kreis* in Trier und Herrn *Dr. Dr. von Rechenberg* in Gießen für die Unterstützung bei der Betreuung und Entnahme biologischer Materialien der Probanden

Kontaktadresse (Studienleitung)

Prof. Dr. med. Volker H. Mersch-Sundermann
Institut- für Innenraum- und Umwelttoxikologie

Fachbereich Medizin

Justus-Liebig-Universität Gießen

Tel.: 0641-99-41400/41401

Email: volker.mersch-sundermann@uniklinikum-giessen.de

