



GreCon Holzwerkstoffsymposium 2009
25. September 2009
Fulda

Ist Holz gesund?
Wohnmedizinische Aspekte von Holz- und Holzwerkstoffen im Innenraum

Prof. Dr. med. habil. Volker H. Mersch-Sundermann
Ärztlicher Direktor
Institut für Umweltmedizin und Krankenhaushygiene
Department of Environmental Health Sciences
Universitätsklinikum Freiburg



<http://www.uniklinik-freiburg.de/iuk/live/index.html>

Baustoffforschung am Institut für Umweltmedizin und Krankenhaushygiene

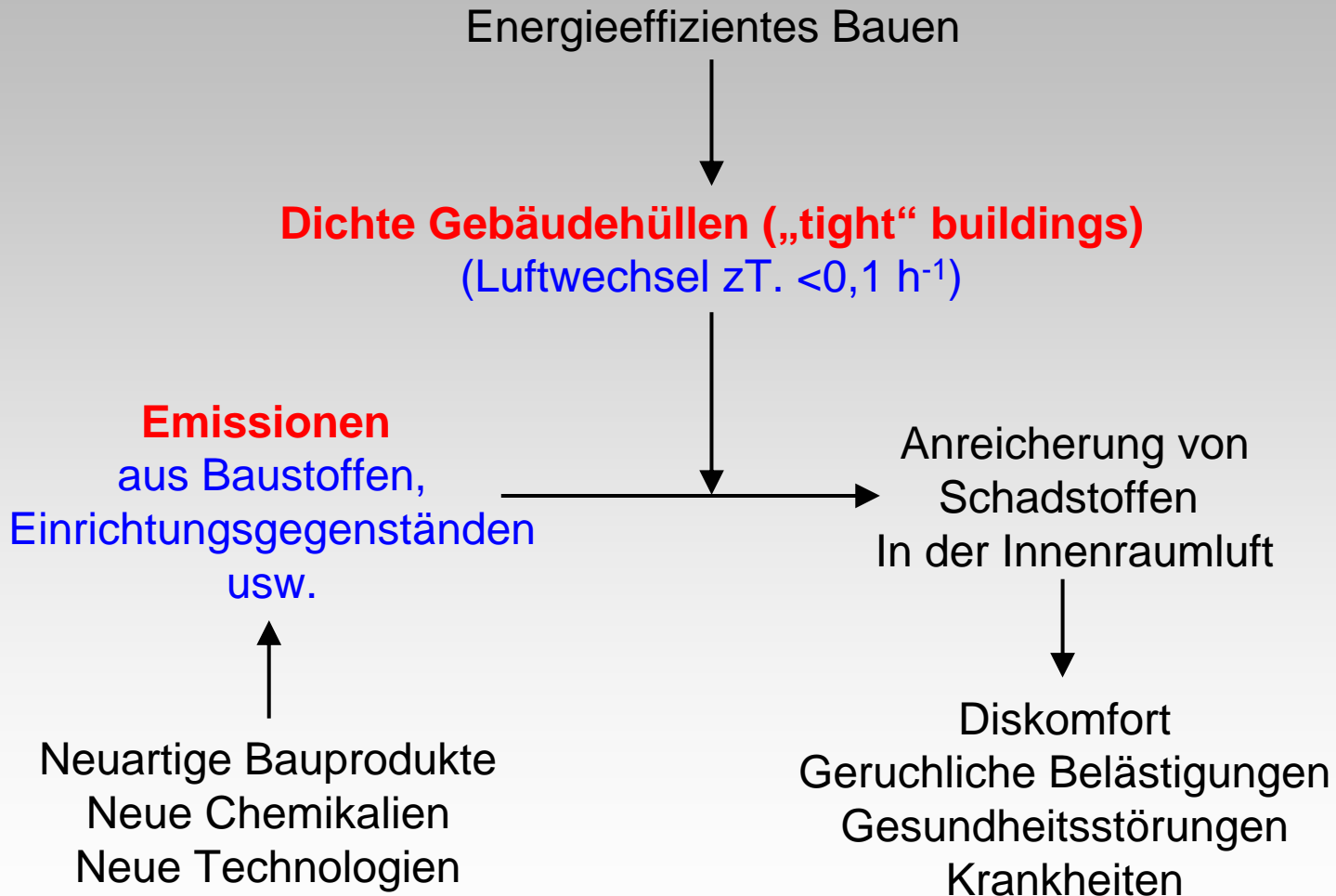
- AG Innenraumtoxikologie (Dr. rer. nat. *Richard Gminski*)
- Umweltmedizin und umweltmedizinische Ambulanz (Dr. med. *Winfried Ebner*)
- Wohnmedizin (Dr. rer. nat. *Julia Hurraß*)
- AG Wirkungsforschung / Molekulare Zellbiologie (Dr. biol. hom. *Evelyn Lamy*)



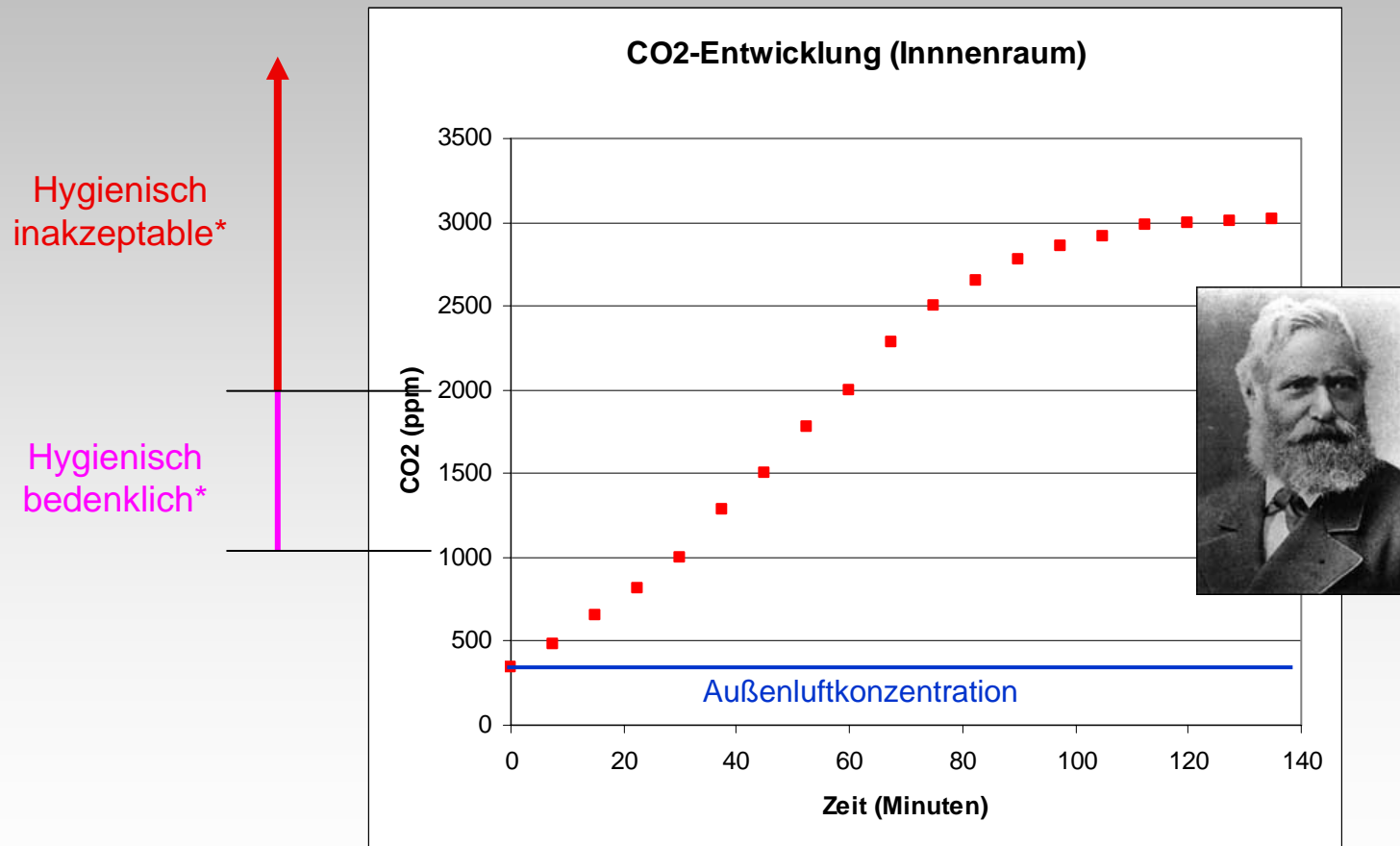
Ist Holz gesund?

Es kommt drauf an!

Quelle: <http://bamakozan.files.wordpress.com/2008/09/holz-zahnburste.jpg>



Kohlendioxid (CO₂)-Konzentrationen in einem 40 m³ großen Raum mit Luftwechsel 1/h und Belegung mit 4 Personen bei leichter körperlicher Bewegung (50 W)



* nach Angaben der ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Innenraumlufthygienekommission und der Landesgesundheitsbehörden



Frage:

Kumulieren flüchtige organische Stoffe (VOC)
aus Hölzern und Holzprodukten in der Innenraumluft,
so dass gesundheitliche Effekte erwartet werden
können?

Stufe	Konz.	Hygienische Bewertung	Empfehlungen
1	$\leq 0,3$ mg/m ³	Hygienisch unbedenklich. In der Regel keine Beschwerden.	Keine weiteren Maßnahmen
2	$> 0,3 - 1$ mg/m ³	Hygienisch noch unbedenklich, soweit keine Richtwertüberschreitungen für Einzelstoffe bzw. Stoffgruppen vorliegen.	Ausreichend Lüften besonders nach Renovierungsarbeiten. VOC-Quellen ermitteln (z.B. Begehung des Raumes). Verwendung von Putz- und Reinigungsmitteln überprüfen. Nachmessungen zur Kontrolle von Richtwertüberschreitungen unter Nutzungsbedingungen (s. Kap. 9).
3	$>1 - 3$ mg/m ³	Hygienisch auffällig. Nutzung bei Räumen, die regelmäßig genutzt werden, nur befristet akzeptabel (<12 Monate). Innerhalb von ca. 6 Monaten sollten TVOC-Konzentrationen deutlich unter den anfangs gemessenen TVOC-Wert abgesenkt werden.	Richtwertüberschreitungen umgehend durch Nachmessung unter Nutzungsbedingungen kontrollieren und bei der Bewertung die Hinweise in Kap. 4 berücksichtigen. Auffällige Referenzwertüberschreitungen auf gesundheitliche Relevanz prüfen. In jedem Fall: Quellensuche durchführen und Lüftungsverhalten überprüfen: intensiv lüften und ggf. Nutzungs- und Lüftungsbedingungen festlegen. Kontrollmessung bzw. Nachmessung nach ca. 1 Monat empfohlen (unter Nutzungsbedingungen). Liegt nach 12 Monaten trotz der beschriebenen Bemühungen die TVOC-Konzentration weiterhin über 1 mg/m ³ , so sind adäquate Sanierungsmaßnahmen in die weitere Planung aufzunehmen.

Emissionen aus Holz bzw. Holzwerkstoffen

TERPENE

[α -Pinen, β -Pinen, Δ -3-Caren²⁾, Limonen²⁾]

C₁-C₂-Aldehyde

[Formaldehyd¹⁾²⁾³⁾, Acetaldehyd¹⁾]

GESÄTTIGTE C₃-C₁₀-ALDEHYDE

[Propanal, Butanal, Pentanal, Hexanal, Heptanal, Octanal, Nonanal, Decanal]

α/β -UNGESÄTTIGTE C₅-C₁₁-ALDEHYDE

[2-Pentenal, 2-Heptenal, 2-Hexenal, 2-Octenal, 2-Decenal, 2-Undecenal]

ZYKLISCHE ALDEHYDE

[Furfuraldehyd¹⁾, Benzaldehyd]

SÄUREN

[Essigsäure, Butansäure, Pentansäure, Hexansäure (Capronsäure)]

ALKANE⁴⁾

C₂-C₄-ALKYLBENZOLE⁴⁾



- 1) Vermutlich krebsauslösend (Formaldehyd: IARC 1, Acetaldehyd: EU Cat.3, Furfural: IARC 3)
- 2) Evidenz für Hautsensibilisierung (bei Limonen als Limonenoxid)
- 3) Asthma, nichtasthmatische Atemwegsobstruktion und andere Atemwegssymptome bei Exposition gegenüber OSB-Platten mit Polyurethankleber (PUG) basierend auf Phenolformaldehyd (PFG)- und Methylendiphenyldiisocyanat (MDI)
- 4) Hohe Konzentrationen, starke Irritationen; primär Emission aus Mitteln zur Oberflächenbehandlung (Naturöle und -harze)

Kritisch:

Neu erbaute Wohnungen bzw. Häuser

(insbesondere beim Passivhaus bzw. KfW-20 oder KfW-40-Standard)

Neu renovierte Wohnungen und Häuser

(insbesondere bei energetischer Sanierung mit Abdichtung der Hülle)

Verbauung emittierender Baustoffe oder Einrichtungsgegenstände

Unspezifische Gesundheitsstörungen
die im Zusammenhang mit VOC-Belastungen der Innenraumluft diskutiert werden

Sensorische Effekte (Geruchswahrnehmungen, Diskomfort, Unwohlsein)

Neurovegetative Effekte (Kopfschmerzen, Müdigkeit, Konzentrationsstörungen)

Irritative Effekte (Atemtrakt, Augen, Triggerung von Asthmaanfällen)

Syndrome / Symptomkomplexe:

- ⇒ Building related Illness (BRI)
- ⇒ Sick Building Syndrome (SBS),
- ⇒ Multiple Chemical Sensitivity (MCS, IEI)
- ⇒ Chronic Fatigue Syndrome (CFS)

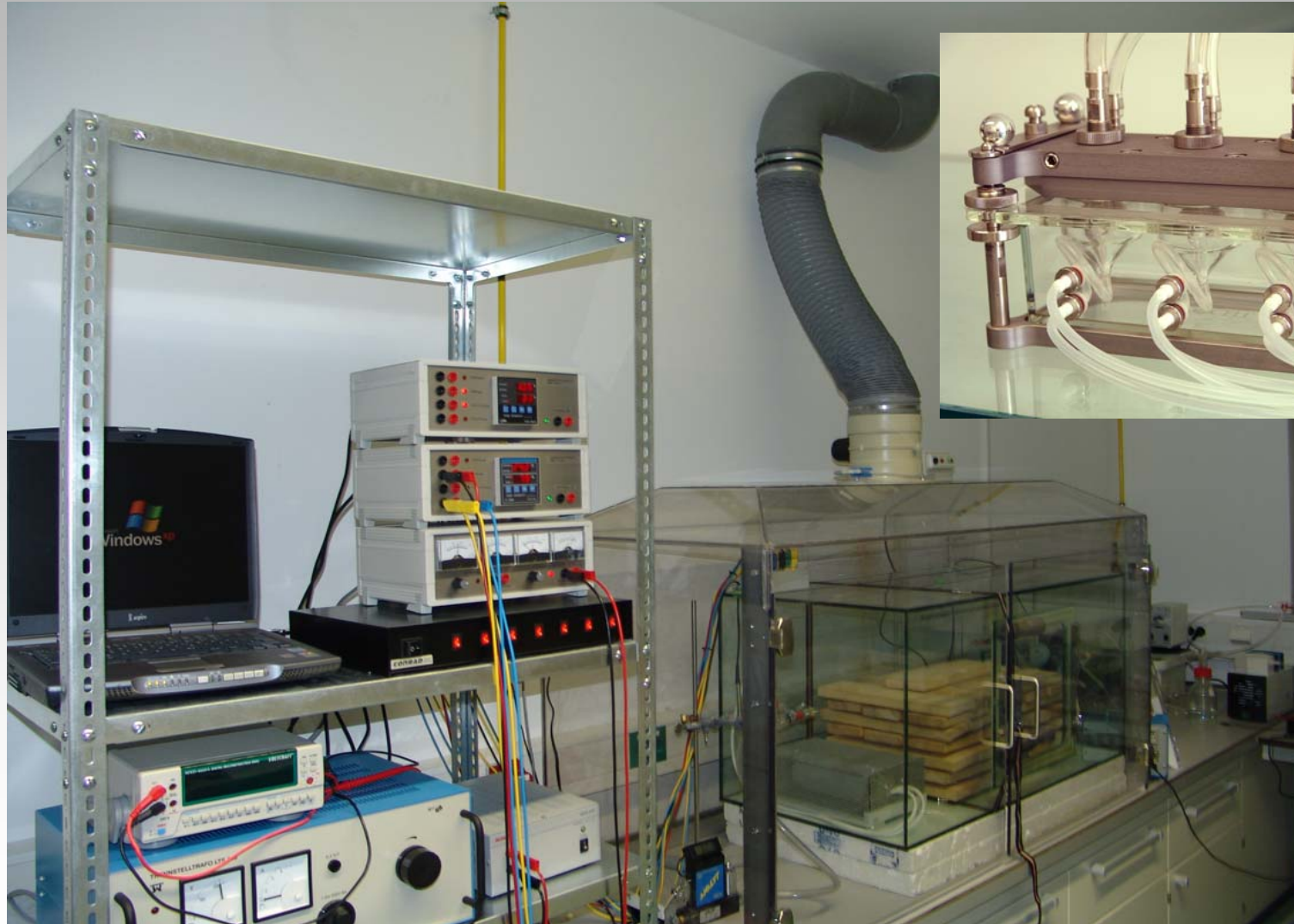


Problem aus medizinischer Sicht:

EXPOSITION
gegenüber holzspezifischen
VOC-EMISSIONEN
(sowie deren atmosphärischen Reaktionsprodukten)

Frage: Gesundheitliche/Toxikologische Effekte?

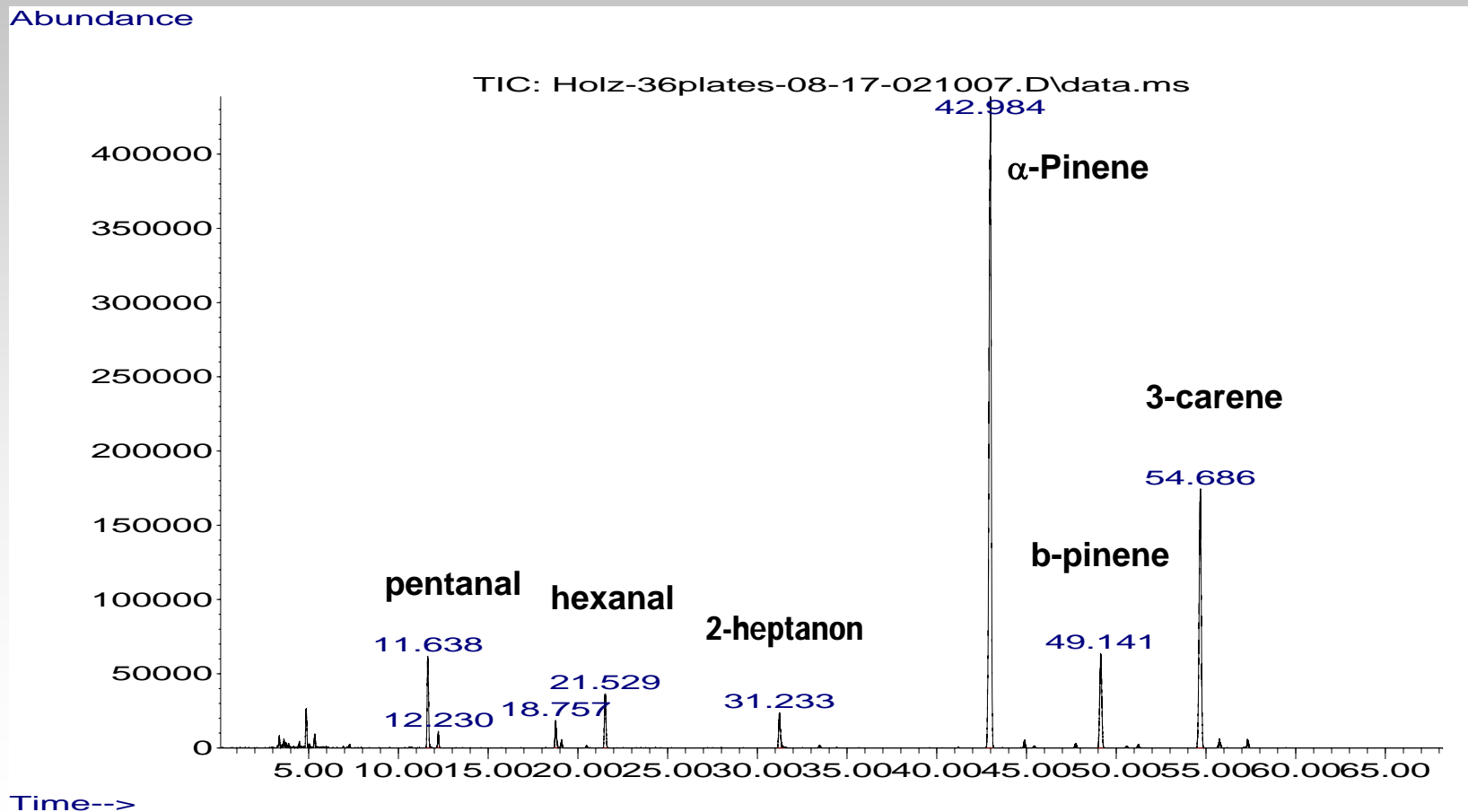
2005 – 2009
Forschungsprojekt am
Universitätsklinikum der Universität Freiburg
in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer-Institut (WKI) Braunschweig
„Gesundheitliche Wirkungen holzspezifischer Emissionen“





Typical GC/MSD chromatogram of pine wood panel emissions

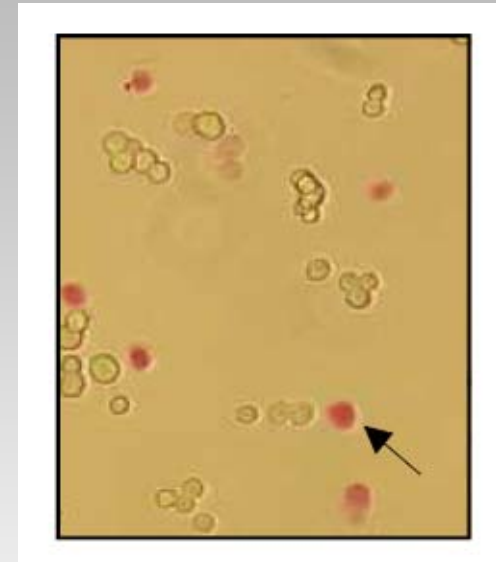
For identification and quantification of VOC, air samples were collected by Air Toxics™ tubes (Perkin Elmer, Norwalk, USA) and analysed by thermal desorber-GC/MSD system according to ISO-16000-6



Biologische Wirkungsendpunkte (gemessen in humanen Lungenzellen)

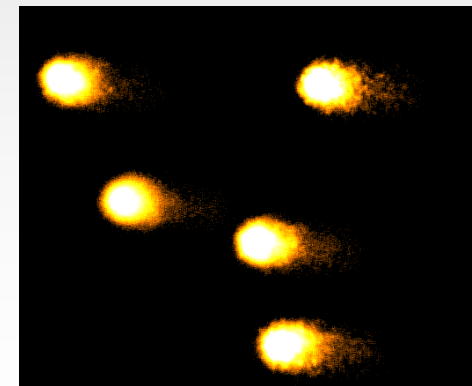
Zellgiftigkeit (Zytotoxizität)

Morphologische Parameter
Erythrosin-B-Assay



Erbgutschädigung (DNA-Schäden)

SCGE (Einzelzellgelelektrophorese)
Komet-Assay



Kontrollierte humane Expositionsstudie zur Evaluierung der biologischen Wirkung holzspezifischer Emissionen



Emission test chamber parameters

Volume: 48 m³
Temp.: 21±0,3°C
rel. Hum: 50%
air exchange rate: 1 h⁻¹

Control of:

CO₂
TVOC (Propan)
VOC
Small aldehydes
(DNPH method)

Kontrollierte humane Expositionsstudie zur Evaluierung der biologischen Wirkung holzspezifischer Emissionen



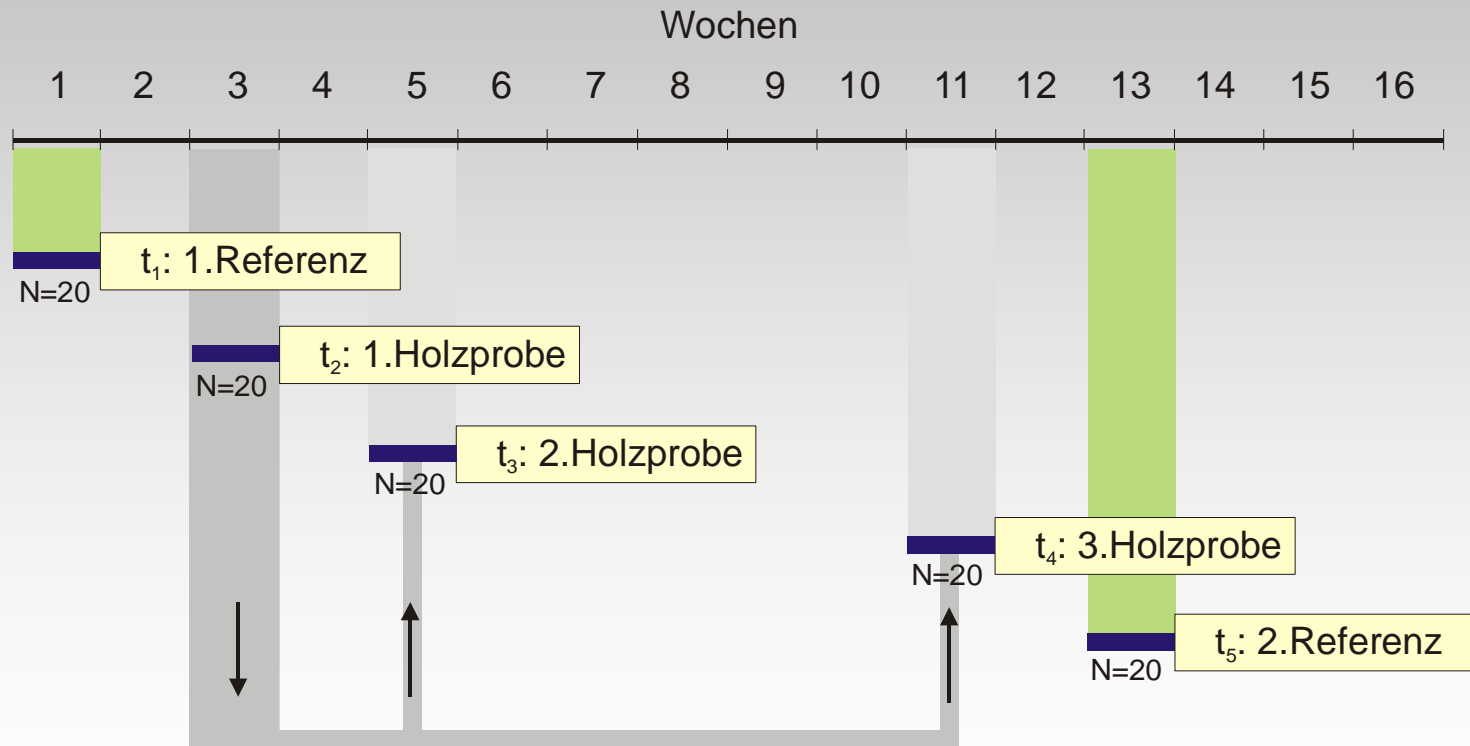
Volunteers parameters

Volunteers: 20
(4 in each experiment)
Exposure time: 2 h
Ergometer: 50 W

Measurement of:

1. Lung function
2. NO exhalation
3. VAS
(sensoric symptoms)
4. EMG amplitudes
(Eye movement)

Studienablaufprotokoll (für die Messung eines Materials)



Täglich Beschickung der Kammer mit neuem Material* bei t_1
Lagerung des Materials unter definierten Bedingungen
und konsekutiver Einsatz für die Expositionen t_3 und t_4

Kontrollierte humane Expositionsstudie zur Evaluierung der biologischen Wirkung holzspezifischer Emissionen

An biologischen Wirkungen werden im Rahmen des Projekts untersucht:

- Orientierende körperliche Untersuchung
- Anamnesebogen und andere Questionnaires (FPI, FLZ)
- Geruchsempfinden und Geruchssensitivität („Sniffin Sticks“)
- Klassifikation von Gerüchen (Semantisches Differential)
- Visual Analog Scales (VAS)
- Atemfunktionsuntersuchungen
- NO im Exhalat
- Lidschlagfrequenz und –amplitude
- Klinisch-chemische Parameter



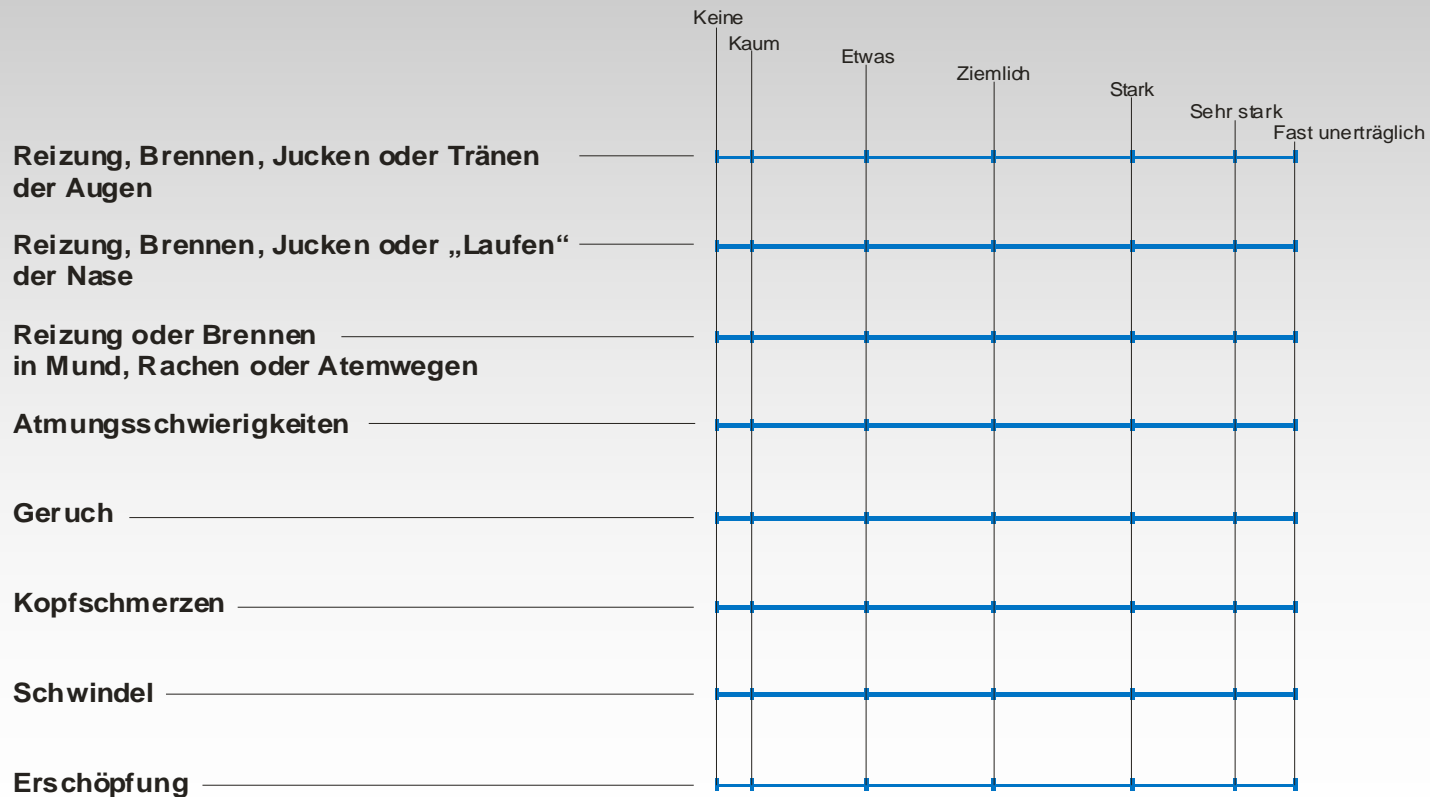
Kontrollierte humane Expositionsstudie zur Evaluierung der biologischen Wirkung holzspezifischer Emissionen

Zeitpunkt (Minuten):

Proband (Nr):

Datum:

Geben Sie die Stärke der jeweiligen Empfindung auf den Linien mit einem *dünnen, senkrechten Strich* an!





FAZIT:

Kein Anhalt für adverse gesundheitliche Effekte

ABER:

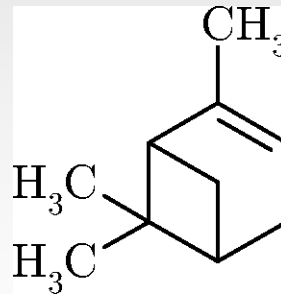
GERUCHSWAHRNEHMUNG

Frage:

Ist Geruchswahrnehmung ein gesundheitlicher Effekt?

Einzelstoffbetrachtungen

Terpene (am Beispiel von α -Pinen)



TERPENE

Sind in der **Pflanzenwelt** weit verbreitet
(Bestandteile in Blüten, Blättern, Früchten, Rinden und Wurzeln)

Werden natürlicherweise aus **(Nadel)hölzern** abgegeben
(Koniferenöle; Emission >1 Mrd t./a)

Sind im Tierreich als **Pheromone** und **Abwehrstoffe** anzutreffen
(in kleinen Mengen; auch als Pestizide einsetzbar)

Werden als **Ersatzstoffe** für FCKW und CKW eingesetzt

Werden als **Duft-, Riech- oder Gewürzstoffe** in der
Kosmetik- und Lebensmittelindustrie eingesetzt

Werden aufgrund ihrer guten Lösungseigenschaften als „alternative“ oder
„**natürliche Lösungsmittel**“ in Farben, Lacken usw. eingesetzt

Holzrelevante Terpene

Limonen¹⁾

Terpinen¹⁾

α -Pinen²⁾

β -Pinen²⁾

Δ^3 -Caren²⁾

Je nach Art des Nadelbaumholzes sowie klima- und standortabhängig finden sich bis zu..

97 Gew-% α -Pinen,

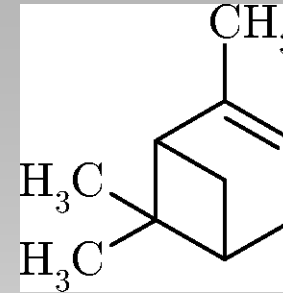
20 Gew-% β -Pinen,

70 Gew-% Δ^3 -Caren

4 Gew-%% Limonen

im Terpentinöl (Kiefernöl), das durch Destillation von Terpentin (Harzen) gewonnen wird
(nach *Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie*, 2001)

- 1) Zitronenartiger Geruch
- 2) terpentinartiger Geruch



α-Pinen

Molmasse	136,24 g/mol
Siedepunkt	155 °C
Dichte	0,858
Dampfdruck	266 Pascal
Sättigung	~ 20 g/m ³

Zwei toxikologisch relevante Enantiomere:

(+)-α-Pinen

(-)-α-Pinen

Konzentration von α -Pinen in realen Innenräumen

Anzahl/Objekte	Raumluftkonzentrationen ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Referenz
	Mittel	Range	
n=11 (neue Häuser)		29,7 - 330	Hodgson et al. 2000
n=79	13 ¹⁾	250 ²⁾	Hippelein 2004
n=1417 (1.Jahr) nur neuere Häuser	296 ⁴⁾	\pm 572 ³⁾	Park und Ikeda 2006
n= 483 (2.Jahr) nur neuere Häuser	93 ⁴⁾	\pm 140 ³⁾	Park und Ikeda 2006
n=251 (3.Jahr) nur neuere Häuser	38 ⁴⁾	\pm 53 ³⁾	Park und Ikeda 2006
n=1417 (1.Jahr) nur ältere Häuser	36 ⁴⁾	\pm 51 ³⁾	Park und Ikeda 2006
n= 483 (2.Jahr) nur ältere Häuser	33 ⁴⁾	\pm 38 ³⁾	Park und Ikeda 2006
n=251 (3.Jahr) nur ältere Häuser	30 ⁴⁾	\pm 46 ³⁾	Park und Ikeda 2006
n=1 (neu gebautes Haus)	[232 ⁵⁾]		Hodgson et al. 2002
n=1499	11,8 ¹⁾	293 ²⁾	Rehwagen et al. 2003

- 1) Median
- 2) Maximum
- 3) +/- Standardabweichung
- 4) arithm.Mittelwert
- 5) Einzelwert

Gesundheitliche Effekte:

Basierend auf toxikologischen, tieresperimentellen, arbeitsmedizinischen und Humanen Interventionsstudien der letzten 20 Jahre vermutlich ab Konzentrationen von $\geq 400.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$



Frage:
Was sagen uns AgBB-Schema und NIK-Werte
Über die toxikologischen Effekte von VOC im Innenraum?

NICHTS!

Multifaktorielle Genese unspezifischer Gesundheitsstörungen
 die im Zusammenhang mit (VOC)Belastungen der Innenraumluft diskutiert werden

Temperatur, Feuchte, Luftbewegung, Luftwechsel, Licht, Stäube

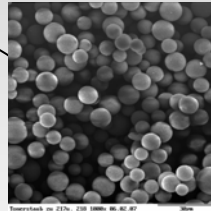
**Psychosoziale
 Faktoren**

**Suszeptibilität
 Reagibilität**

**Physikalische
 Faktoren**

Gerüche

Behaglichkeit



ETS
 Partikel
 Gase
 SVOC
 VVOC
 VOC

**Chemische
 Faktoren**

**Biologische
 Faktoren**

Pilze
 Bakterien
 Allergene
 MVOC



FRAGE: Ist Holz gesund? – Es kommt darauf an!

Bei sachgerechter Verbauung von Holz und Holzwerkstoffe sollten keine gesundheitlich bedenklichen VOC-Konzentrationen im Innenraum auftreten (bezogen auf das Bewertungsschema der IRK/UBA).

Es gibt bisher keine belastbaren Studien zu gesundheitlichen Effekten, ausgelöst durch die aus Hölzern und Holzwerkstoffen emittieren VOC, in realen Innenräumen (Wohnungen und Häusern).

Das AgBB-Schema ist prinzipiell geeignet, holz- und holzwerkstoffbedingte Emissionen aus Unikatproben in artifiziellen Kammersystemen zu detektieren, nicht jedoch zur Identifikation innenraum- und gesundheitsrelevanter Expositionen.

Viele Fragen, insbesondere zur gesundheitlichen Verträglichkeit luftdichter Gebäudehüllen bei der Verbauung von Holz und Holzwerkstoffen sind ungeklärt (Integrative Konzepte!)

Wohnmedizin – ein fundiertes Beratungs- und Dienstleistungsangebot



Unsere Schwerpunkte

- ◇ Bewertung der gesundheitlichen Bedeutung von Schadstoffen in Innenräumen
- ◇ Beratung von Privatpersonen, Bauherren und Unternehmern zu Fragen einer gesundheitsbezogenen Baustoffauswahl
- ◇ Emissionsmessungen und Schadstoffanalysen in Häusern, Wohnungen, öffentlichen Einrichtungen (Schulen, Kindergärten, Krankenhäuser), Büros oder Arbeitsstätten
- ◇ Untersuchung auf flüchtige organische Verbindungen (VOC), Schimmelpilze, Feinstäube, Allergene, u.v.m.
- ◇ Gesundheitliche Bewertung von Baustoffen
- ◇ Klima- und CO₂-Monitoring
- ◇ Infrarot-Thermographie zur Überprüfung der Gebäudeisolation
- ◇ Beratung, Expertise und Gutachtenerstellung



Mersch-Sundermann und sein Team 2009

Tel.: +49 761 270 8206 / 8207

Email: volker.mersch-sundermann@uniklinik-freiburg.de

Homepage: [http:// www.uniklinik-freiburg.de/iuk/live/index.html](http://www.uniklinik-freiburg.de/iuk/live/index.html)