

Online-Forum des Bauzentrums München

Innenraumschadstoffe und Gerüche fachgerecht bewerten und sanieren

Teil 1: Schadstoffe und Wiederverwendung im Holzbau

Dr. rer. nat. Andrea Burdack-Freitag

Vita

- promovierte „Flavour Chemist“ Technische Universität München TUM
- bis 2025 Wissenschaftlerin am Fraunhofer Institut für Bauphysik IBP
Abteilung Umwelt, Hygiene, Sensorik
- seit 2025 Sachverständige für Innenraumschadstoffe und
Geruchsprüfungen
- seit 2026 ö.b.u.v. Sachverständige für Geruchsbelastungen in
Gebäuden/Innenräumen

Mitgliedschaften

- VDI/DIN Gremium „Olfaktorische Bewertung von Bauprodukten und
Innenraumluft“
- Umweltbundesamt: Ausschuss zur gesundheitlichen Bewertung von
Bauprodukten - Arbeitsgemeinschaft Sensorik
- Beirätin STIFTUNG Baubiologie, Architektur, Umweltmedizin
STIFTUNG B.A.U.



Agenda

- Wiederverwendung von Holzbau-Elementen
- Holzschadstoffe
- Bewertungslogik
- Gefährdungsbeurteilung
- AltholzVO
- Minderungsstrategien





© Microsoft Archivbild

Wiederverwendung von Holzbauelementen

- ❖ Wiederverwendung scheitert selten am Holz selbst
- ❖ Problem ist oft die Prozessunsicherheit
- ❖ Nutzungs- und Schadstoffhistorie entscheiden über Risiko
- ❖ Schadstoffe, Arbeits- und Verbraucherschutz sowie Recht zusammen denken
- ❖ Wiederverwendung ist möglich, braucht aber belastbare Entscheidungen

Fallzuordnung: zwei Fassaden, zwei Historien



Fall A: Moderner Holzbau mit geringer Schadstoffhistorie

Historie

- Ökologische Planung
- Konstruktiver Holzschutz vor chemischen Holzschutz

Hypothese

- Mögliche Emissionen aus Holz selbst
- Geringere Wahrscheinlichkeit klassischer Holzschutzmittelbelastung
- Gute Wiederverwendungsprognose bei sauberer Trennung



Fall B: Historischer Bauernhof mit Sanierungslagen

Historie

- viele Umbau- und Sanierungsphasen
- Beschichtungen, Lasuren, Holzschutzanwendungen

Hypothese

- mögliche Schimmel-, Insekten- und Witterungsschutzmittel
- eventuelle Brand- oder Ruß-Ereignisse
- hohe Wahrscheinlichkeit gemischter Belastungen



Holzschadstoffe

Schadstoff-Dschungel

- Emissionen, flüchtige organische Verbindungen VOC
- Geruchsstoffe
- Biozide, Holzschutzmittel
- Schwermetalle, Asbest
- Schimmelpilze, Partikel/Stäube
- Flammschutzmittel, Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe PAK
- Beschichtungen, Harze, Dichtmassen, Klebstoffe
- usw.....

Gefahr

Formaldehyd 37%

(Index: 605-001-00-5)

H301+H311+H331 Giftig bei Verschlucken, Hautkontakt oder Einatmen.
H314 Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden.
H317 Kann allergische Hautreaktionen verursachen.
H335 Kann die Atemwege reizen.
H341 Kann vermutlich genetische Defekte verursachen.
H350 Kann Krebs erzeugen.

P271 Nur im Freien oder in gut belüfteten Räumen verwenden.
P280 Schutzhandschuhe/Schutzkleidung/Augenschutz/Gesichtsschutz tragen.
P301+P310 BEI VERSCHLUCKEN: Sofort GIFTINFORMATIONSZENTRUM/Arzt/... anrufen.
P303+P361+P353 BEI BERÜHRUNG MIT DER HAUT (oder dem Haar): Alle kontaminierten Kleidungsstücke sofort ausziehen. Haut mit Wasser abwaschen/duschen.
P304+P340 BEI EINATMEN: Die Person an die frische Luft bringen und für ungehinderte Atmung sorgen.
P305+P351+P338 BEI KONTAKT MIT DEN AUGEN: Einige Minuten lang behutsam mit Wasser spülen. Vorhandene Kontaktlinsen nach Möglichkeit entfernen. Weiter spülen.

© GHS

Holzschadstoffe

Schadstoff-Dschungel

- Emissionen, flüchtige organische Verbindungen VOC
- Geruchsstoffe
- Biozide, Holzschutzmittel
- Schwermetalle, Asbest
- Schimmelpilze, Partikel/Stäube
- Flammschutzmittel, Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe PAK
- Beschichtungen, Harze, Dichtmassen, Klebstoffe
- usw.....

HISTORIE

1970 » Formaldehyd, Tabakrauch, Aromaten, Halogenkohlenwasserstoffe (CKW), Perchlorethylen (PER)

1980 » Asbest, Holzschutzmittel (PCP-Pentachlorphenol)

1990 » Künstliche Mineralfasern, Radon, Polychlorierte Biphenyle (PCB)

2000 » Flüchtige organische Verbindungen (VOC), z. B. Glycole, Aldehyde, Terpene, Kohlenwasserstoffe (KW), Schimmelpilze, Feinstäube, „Gerüche“

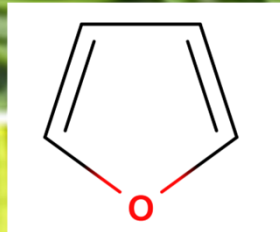
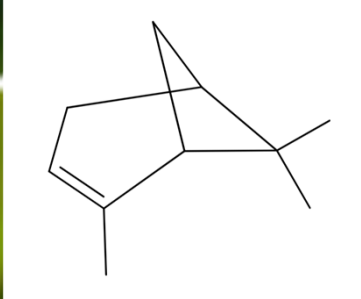
und immer noch: Formaldehyd sowie

NO_x, SO₂, „Smog“, überwiegend aus der Außenluft

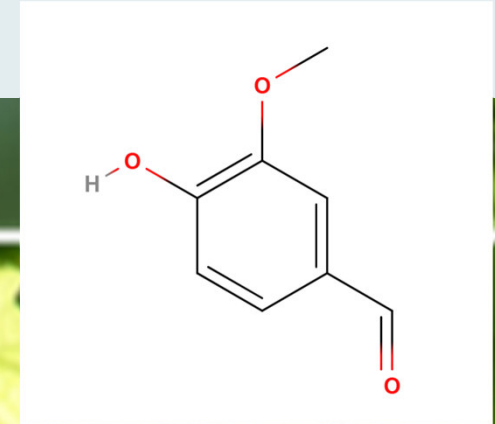
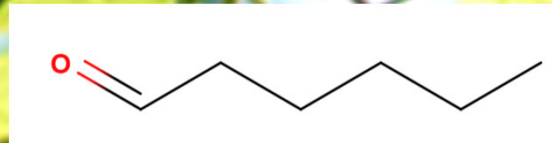
VOC
Volatile
organic
compounds

© FNR

Natürliche Holzemissionen



© Burdack-Freitag



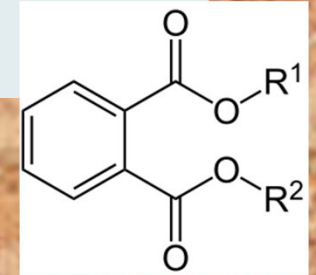
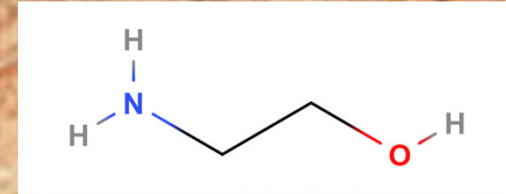
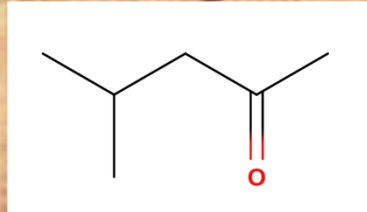
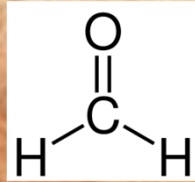
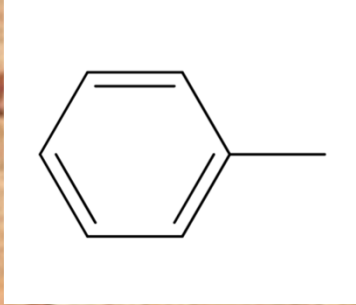
Natürliche VOCs (aus Massivholz, Harzen, Zellen)

- Terpene (α -Pinen, β -Pinen, Limonen) — Nadelhölzer (Fichte, Kiefer, Tanne)
- Alkohole, Aldehyde und Ketone (z. B. 1-Octen-3-ol, Hexanal, Aceton) — häufig bei Frischholz durch biochemischen Abbau.
- Furane/Formaldehyd — geringe natürliche Mengen möglich durch langsamen Abbau von Lignin/Zellulose oder mikrobiellen/thermischen Prozessen.
- Essenzielle Öle (z.B. Vanillin, Eugenol, Geraniol) — intensiv riechende Hölzer z. B. Kastanie, Zeder, Akazie)

Typische Konzentrationsbereiche natürlicher Emissionen

- Terpene, gesamt: 10 - 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (frisch gesägtes Nadelholz); < 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (für trockenes, gelagertes Holz).
- Formaldehyd: 10 - 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (natürlich aus Massivholz)
- Einzelne VOCs: 1 - 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bei Vanillin, 1-Octen-3-ol, Eugenol, Furan

Holzemissionen aus Verarbeitung



© Burdack-Freitag

VOCs in Holzwerkstoffen

- Formaldehyd — vorrangig aus UF-, PF-, MF-Leimen in Spanplatten, MDF, Sperrholz, Furnieren.
- Aldehyde, Ketone, VOC-Gemische — Lösungsmittel und Harze aus Leimen, Lacken, Beschichtungen, Klebern (z. B. Toluol, Xylol, Ethylbenzol, n-Hexan, MEBK Methylisobutylketon).
- Isocyanate, Phenole, flüchtige Amine — bei bestimmten Kunstharzen, PU-Klebern, Phenolharzen.
- Weichmacher-Abbauprodukte (z. B. Phthalat-Produkte) — bei mit Kunststoffen kombinierten Holzprodukten/Belägen.

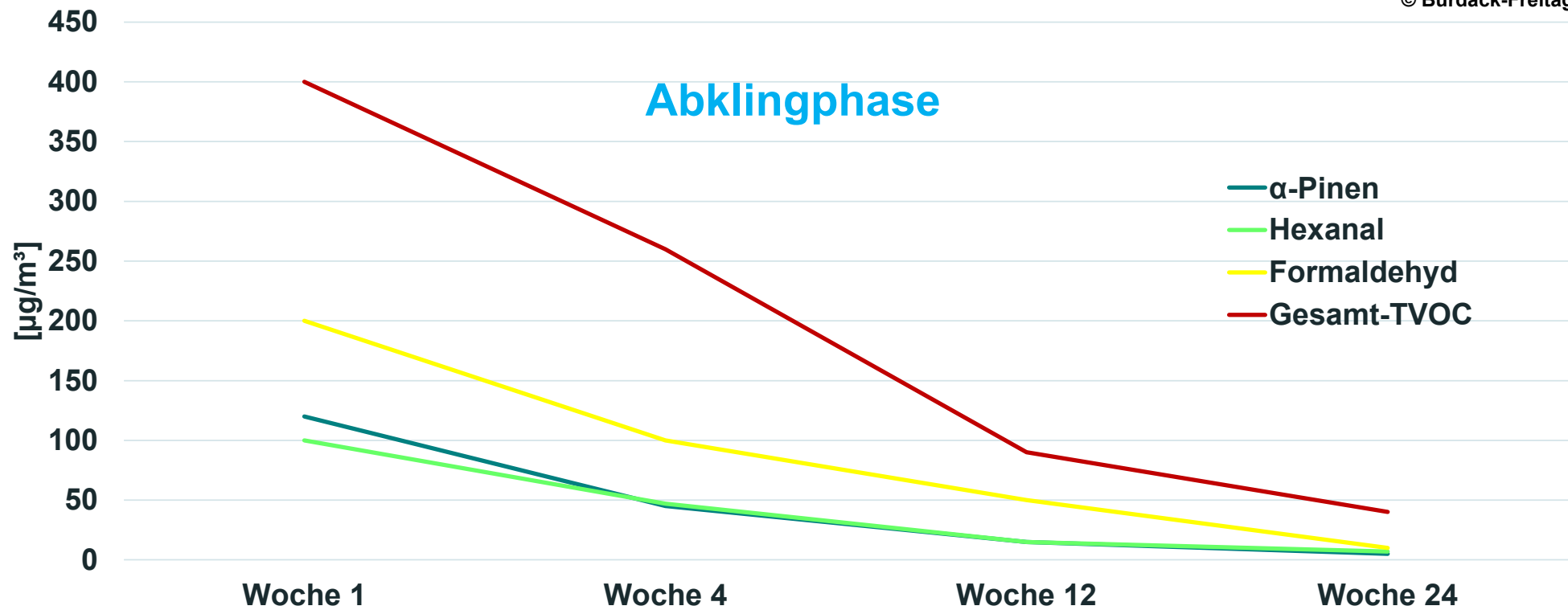
Typische Konzentrationen in verarbeitetem Holz

- **Formaldehyd:** 50 bis > 500 µg/m³ bei Pressspan möglich, emissionsarme Produkte < 30 µg/m³
- **Lösemittel** in frischen Lacken/Klebern und Laminaten: 100–2000 µg/m³, fallen innerhalb von Tagen–Wochen stark ab.
- Total VOC (TVOC, **Gesamtemissionen**) nach frischen Renovierungen/Neumöblierung 500 - 5000 µg/m³ möglich; bei älteren, aber stark ausgedampften Holzwerkstoffen 100–1000 µg/m.

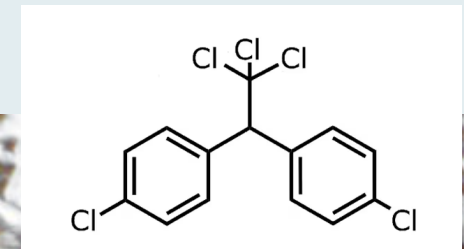
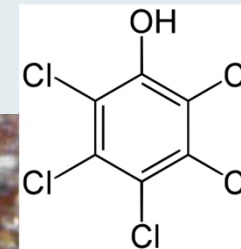
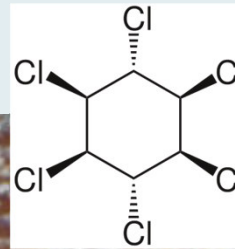
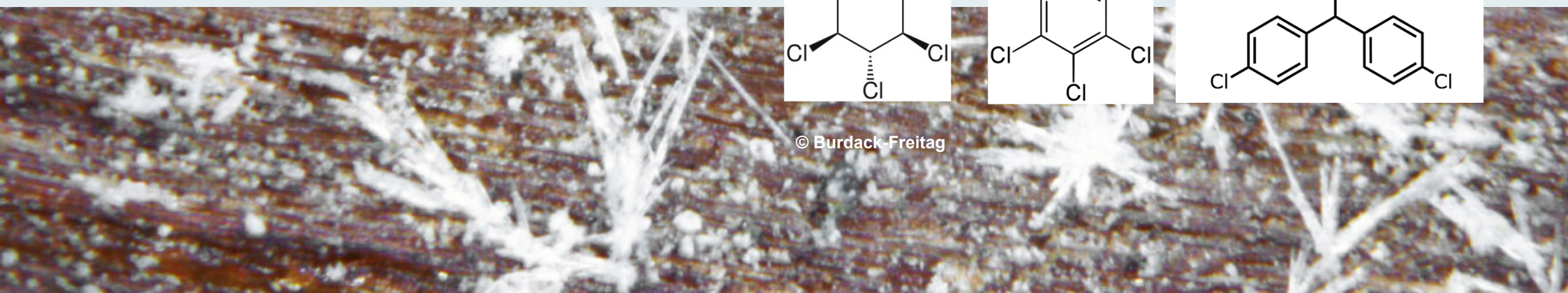
Zeitlicher Emissionsverlauf in neu errichteten Holzgebäuden



© Burdack-Freitag



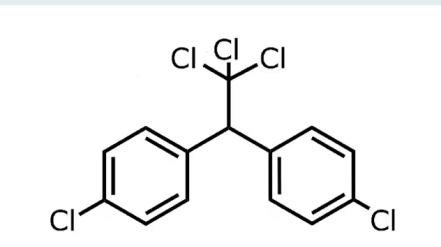
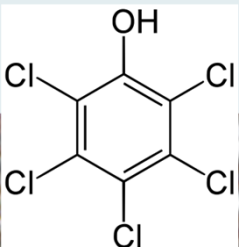
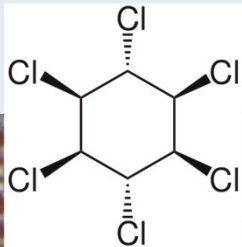
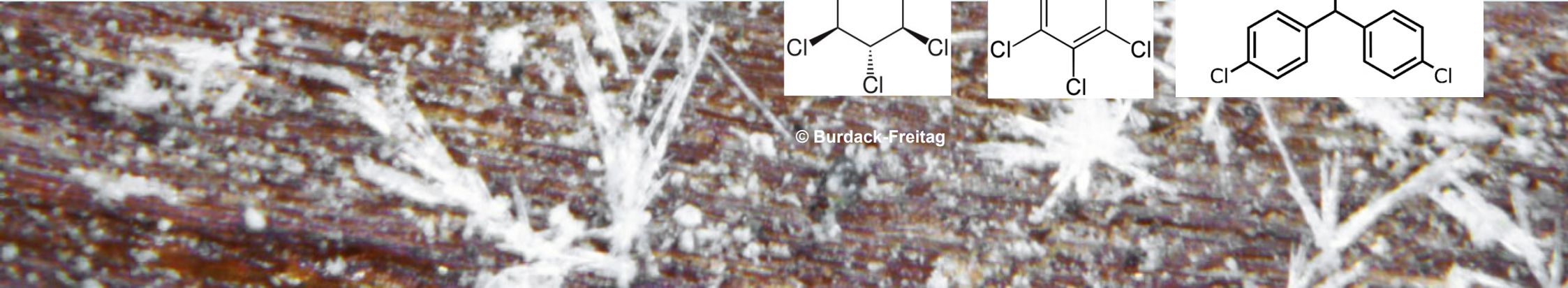
Schadstoffe im Holz



© Burdack-Freitag

Schadstoff	Herkunft	Toxikologische Bewertung
Pentachlorphenol (PCP)	Historische Holzschutzmittel, Imprägnierungen	Haut-/Atemwegsreizend; akute ZNS- und Lebertoxizität; mögliches reproduktionstoxisches und krebserregendes Potenzial; Freisetzung bei Bearbeitung/Verbrennung erhöht Risiko
g-Hexachlorcyclohexan (g-HCH, Lindan)	Holzschutzmittel „WEST“, Insektizide in älteren Anwendungen	Neurotoxisch; akute Krampfanfälle/Schwindel/Übelkeit; chronisch reproduktionstoxisch und möglicherweise krebserregend; leicht flüchtiger – erhöht Expositionsrisiko bei Sanierung.
Dichlordiphenyltrichlorethan (DDT)	Historische Insektizidanwendungen, Holzschutzmittel „OST“, Kontamination in älteren Baustoffen/Umgebung	Lipophil, persistent und bioakkumulativ; neurotoxisch möglich, hormonelle Wirkungen und Reproduktionsstörungen; klassifiziert als wahrscheinlich krebserzeugend in Langzeitexpositionen; langlebige Umweltbelastung.

Schadstoffe im Holz

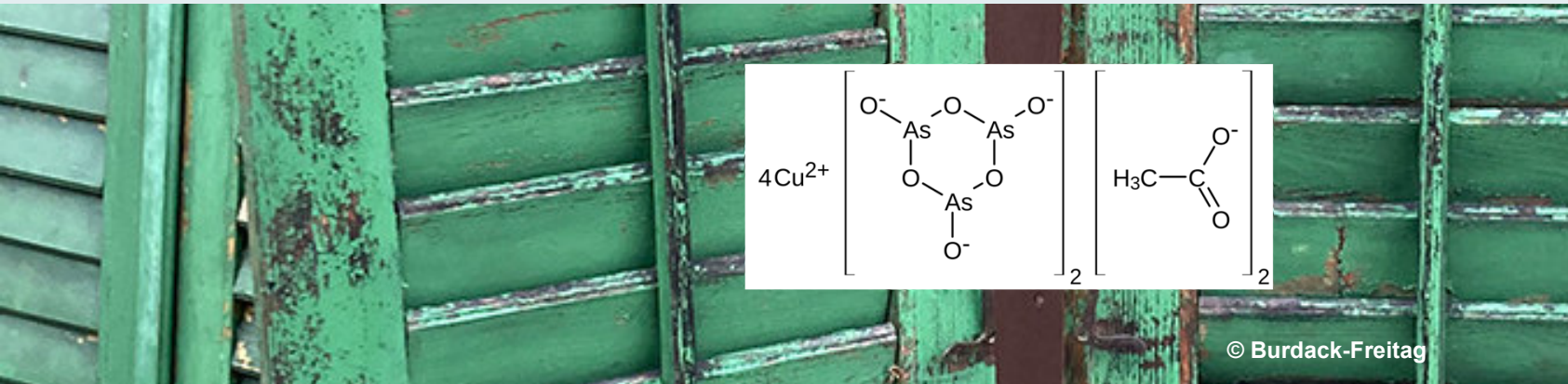


© Burdack-Freitag

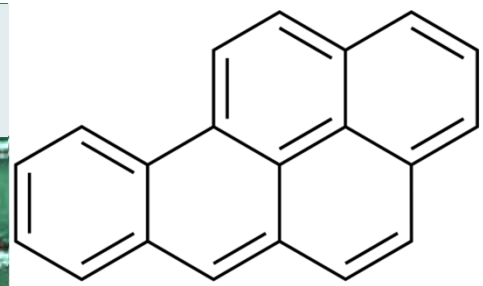
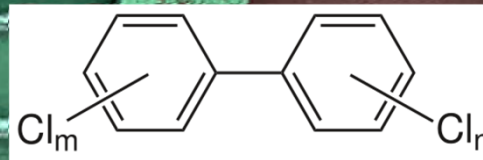
Schadstoff	Herkunft	Toxikologische Bewertung
Pentachlorphenol (PCP)	Historische Holzschutzmittel, Imprägnierungen	Reizend; akute ZNS- und Lebertoxizität; mögliches krebserregendes und krebserregendes Potenzial; bei Bearbeitung/Verbrennung erhöht Risiko
γ-Hexachlorcyclohexan (γ-HCH, Lindan)	Holzschutzmittel, Insektizide in verschiedenen Anwendungen	Reizend; akute Krampfanfälle/Schwindel/Übelkeit; chronisch toxisch und möglicherweise krebserregend; leicht abbaubar – erhöht Expositionsrisiko bei Sanierung.
Dichlordiphenyltrichlorethan (DDT)	Historische Insektizide, Holzschutzmittel „OST“, Kontamination in älteren Baustoffen/Umgebung	Lipophil, persistent und bioakkumulativ; neurotoxisch möglich, hormonelle Wirkungen und Reproduktionsstörungen; klassifiziert als wahrscheinlich krebserzeugend in Langzeitexpositionen; langlebige Umweltbelastung.

CRM- und POP-Stoffe

Schadstoffe im Holz



$$4\text{Cu}^{2+} \left[\begin{array}{c} \text{O}^- - \text{As} - \text{O} - \text{As} - \text{O}^- \\ | \qquad \quad | \\ \text{O} - \text{As} - \text{O} \\ | \\ \text{O}^- \end{array} \right]_2 \left[\begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} - \text{C} - \text{O}^- \\ || \\ \text{O} \end{array} \right]_2$$

© Burdack-Freitag

Schadstoff	Herkunft	Toxikologische Bewertung
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	Ruß, Brandrückstände, unvollständige Verbrennung, Teerpappen	Einige Verbindungen karzinogen (z. B. Benzo[a]pyren); Atemwegs- und Hautreizungen akut; langfristig erhöhtes Risiko für Lungen-, Haut- und Blasenkrebs; stark krebserzeugendes Potenzial.
Polychlorierte Biphenyle PCB	Historische Dichtstoffe, Isoliermaterialien, Korrosions-Beschichtungen	Persistente, bioakkumulierende Schadstoffe; immun-, reproduktions- und lebertoxisch; potentiell krebserzeugend; langfristige Umwelt- und Gesundheitsrisiken.
Schwermetalle (Pb, Cr(VI), Cd, Hg, As)	Altanstriche, Lacke, Beschichtungen, Pigmente	Metalltypisch: neuro-/hämatotoxisch (Blei), karzinogen/respiratorisch (Cr(VI)), nieren-/knochentoxisch (Cadmium), neurotoxisch (Quecksilber); chronische Kumulation; hohes Gesundheitsrisiko bei Staubbefreiung.

Fallzuordnung: Schadstoffe



Fall A

Überwiegend unbehandeltes Holz, Fassadenelemente aus wetterbeständiger Lärche, Innenraum Decken aus gut gelagerter emissionsarmer Kiefer, Ständerbauweise mit formaldehydarmer Holzwolldämmung



Fall B

Denkmalgeschützter, historischer Bauernhof, in den 1970ern mit „Xylamon“ kesselimprägniert

Bewertungslogik: vom Bauteil zur Maßnahme

Prozesskette

Bestandsaufnahme

- Herkunft/Bauzeit
- Denkmalpflegerische Untersuchungen
- Nutzungs-, Bestandshistorie, Sanierungen, Beschichtungen

Vor-Ort-Begehung

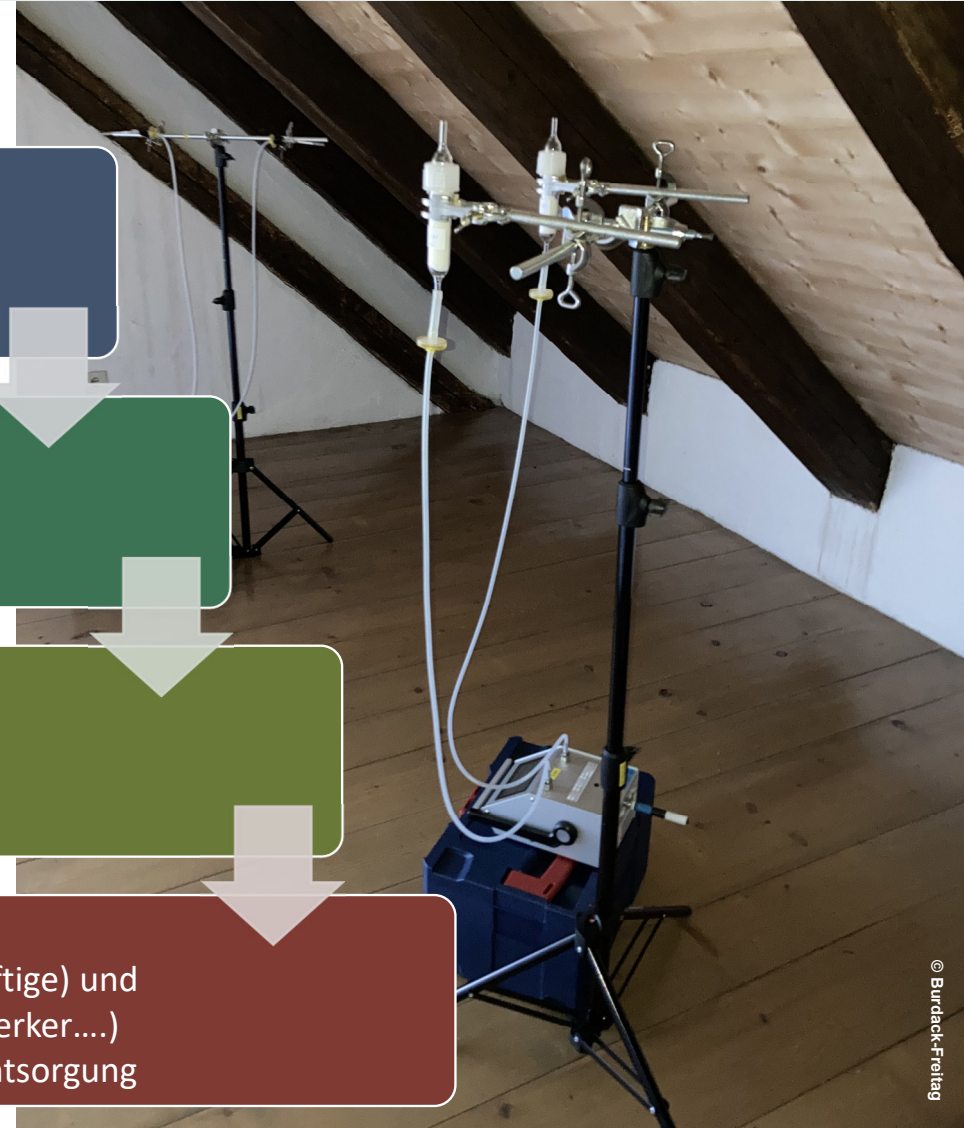
- Erkundung durch vor-Ort-Termin zur Ermittlung des Schadensbildes
- Schadstoffbelastung, Geruch und Sichtbefunde erfassen

Probenahme und Analytik

- Raumluft, Material-, Staubproben
- Laboranalytik durch qualifiziertes Laboratorium

Entscheidung

- Gefährdungsbeurteilung für Nutzer (aktuelle und zukünftige) und ausführende Personen (Sanierer, Restauratoren, Handwerker....)
- Wiederverwendung, Minimierung, Dekontamination, Entsorgung



Bestandsaufnahme

Standort

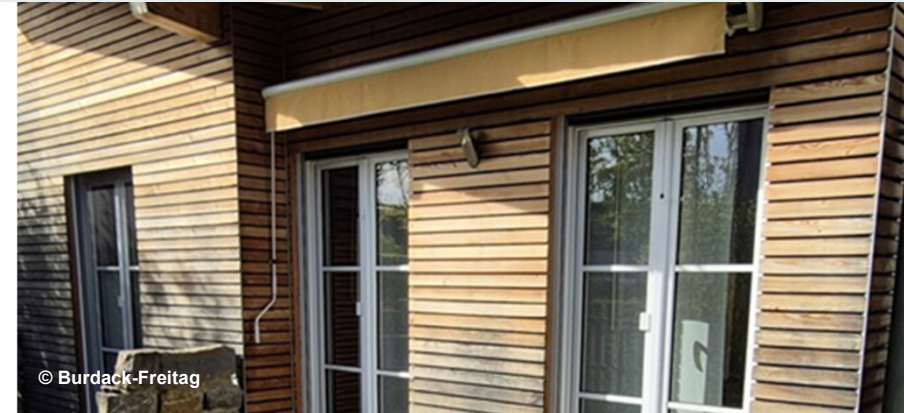
- Altlastenkartierungen, Radonkarten, Luftbilder, Umweltstudien, Zeitzeugen, Umgebung

Bauwerk

- Bestandsdokumente (Bauplan, Instandhaltung, Rechnungen, Untersuchungsberichte, Sanierungspläne)
- Bauprodukte, Technische Merkblätter, Prüfberichte
- Heizungs-/Abwasser-/Lüftungspläne, Versicherungsdokumente (Brand-, Wasserschaden)
- Behördenkorrespondenz
- Nutzerbefragung (Hausmeister, Bewohner, Mitarbeiter)

Nutzung

- aktuell – früher
- Industrie, Büro, Maschinenhalle (v.a. Betriebsstoffeinsatz), Produktion, Labor, Landwirtschaft, Wohngebäude, frühere zivile oder militärische Nutzung/Belastung....



Fall A

Vollständige Bauunterlagen vorhanden



Fall B

Forschungsobjekt: Denkmalkataster, „alte“ Bestellbelege, umfassende Schadstoffanalyse

Systematische, nachvollziehbare vor-Ort-Bewertung

Vorab festzulegen

- Ziele und Motive der Begehung
- Bewertung vorabgegebener Aussagen
- Recherche der Standort-/ Bau-/ Nutzungssituation
- Begleitpersonen
- Messmethoden (vor Ort, Laboranalytik)

Während der Begehung

- Dokumentation
 - ✓ Baualtersklasse und Nutzung erfassen
 - ✓ Sichtprüfung von Oberfläche, Fugen, Schadstellen
 - ✓ Geruchsprofil dokumentieren
 - ✓ Hinweise auf Beschichtungen, Insektenfraß, Schädigung, Ruß
 - ✓ Auffälligkeiten
 - ✓ Quellen
- Probenahmen



Probenahmen und Laboranalysen

© Fraunhofer IBP

STAUB

Desorption
Chromatographie
Spektrometrie
Sensorik
Gravimetrie

MATERIAL

Extraktion
Spektroskopie
Detektion
Mikroskopie
Bioassay....

LUFT

Gefährdungsbeurteilung

Personengruppen

- Nutzer/Nutzerin
- Rückbau-/Sanierungspersonal
- Instandhaltungspersonal
- Vulnerable Gruppen

Expositionsdauer und –häufigkeit

- akut vs. chronisch
- Einmalig, wiederholt, kontinuierlich

Expositionspfade

- inhalativ
- oral
- dermal
- resorptiv
- inkorporativ

Verordnung über Anforderungen an die Verwertung und Beseitigung von Altholz (Altholzverordnung - AltholzV)



§2.4 Altholzkategorien

- A I naturbelassen oder nur mechanisch bearbeitet
- A II verleimt, gestrichen, beschichtet, lackiert, ohne Holzschutzmittel und ohne halogenorganische Beschichtungen
- A III halogenorganische Beschichtungen, ohne Holzschutzmittel
- A IV mit Holzschutzmitteln behandeltes Holz

Sondergruppen: PCB-haltig

Fallzuordnung: AbfallVO



Fall A
Kategorie A I oder A II
Gute Wiederverwendungs- und Verwertungs-Chancen, da
gut dokumentierte ökologische Bauweise



Fall B
Kategorie A III oder A IV
Geringere Wiederverwendungs- und Verwertungs-
Chancen, je nach Beschichtung und
Holzschutzgeschichte, eher denkmalpflegerischer Wert

Strategien zur Minderung von Schadstoffen



© Burdack-Freitag

In-situ-Behandlung

- Schadstoffarmer Abtrag
- Saubere Abnahme an Kontaktflächen
- z.B. selektives Ausfräßen, Ätzen, Lösemittelbehandlung

Verkapselung

- Beschichtung/Überbau als Schutz vor Freisetzung
- Kontaminierte Oberflächen dauerhaft „einsperren“
- z.B. Acryl-/Epoxidharze, Kieselgur, Cyclodextine

Chemische Umwandlung

- Reaktion zu weniger freisetzungsfähiger Form
- Bindemittel/Imprägnier-Systeme
- z.B. Kompressen, Silane/Siloxane, Harze, Säuren/Basen

Strategien zur Minderung von Schadstoffen



Lüftungsregelung

- RLT, Filter, z.B. Aktivkohle, Plasma, UV

© Burdack-Freitag

Teilaustausch

- Gezielte Sanierung/Abnahme
- Nur betroffene Oberflächen entfernen und ersetzen
- z.B. Fräsen, Klebstoff-Austausch, Injektionsverfahren

Abschottung oder Beschichten

- Dichtes Verpacken der Oberflächen durch Folien
- Sperrschichten und Adsorber
- z.B. PU-Folien, Schafwolle, Membranen, Sperrgrund, Renoviersysteme

Dekontamination

- Oberflächenreinigung
- chemische Behandlung
- Mechanische Entfernung
- z.B. Lösemittel zur Abnahme von Schichten, Ätzverfahren, CO₂-Extraktion, thermische Verfahren

Fallzuordnung: Entscheidung und Maßnahmen



Fall A
geringe bis keine Schadstoffbelastung
alle Holzbauteile können wiederverwendet werden



Fall B
komplexe Historie, intensiveres und dauerhaftes
Monitoring
Hohe Belastung an Lindan/PCP und PAKs
Denkmalpflegerisches Objekt mit Gefährdungsbeurteilung
und umfangreichem Maßnahmenpaket zum Schutz von
Mitarbeitenden und Besuchern



Kernaussagen für die Praxis

- ❖ Holz ist teilweise wiederverwendbar, aber nicht immer unkritisch (Prüfung erforderlich)
- ❖ Schadstoffbelastung und -historie entscheidet über die nachfolgenden Lösungswege
- ❖ Entscheidung: unmittelbare Verwendung, Minimierung, Verwertung, Dekontamination, Entsorgung
- ❖ Sicherheit über nachvollziehbare Prozesse machen die Wiederverwendung planbar

Dr. rer. nat. Andrea Burdack-Freitag
Sachverständige für
Innenraumschadstoffe und Gerüche
ö.b.u.v. Sachverständige (IHK
Regensburg) für Geruchsbelastungen in
Innenräumen

andrea.burdack-freitag@posteo.de
+49 170-4342527



© Burdack-Freitag