

Studien und Tagungsberichte
Band 34

Humantoxikologisches Potenzial von Holzstäuben



LANDESUMWELTAMT
BRANDENBURG



**Studien und Tagungsberichte, Schriftenreihe des Landesumweltamtes Brandenburg
ISSN 0948-0838, Band 34**

Herausgeber:
Landesumweltamt Brandenburg (LUA)
Berliner Straße 21-25
14467 Potsdam
Tel.: 0331-23 23 259
Fax: 0331-29 21 08
E-mail: infoline@lua.brandenburg.de

Band 34 – Humantoxikologisches Potenzial von Holzstäuben

Bearbeitung:
LUA, Abteilung Ökologie und Umweltanalytik
Referat Wirkungsfragen und Umwelttoxikologie Q2 – Dr. Bettina Abbas, PD Dr. Werner Kratz

Potsdam, im November 2001

Gesamtherstellung: Digital & Druck, Inh. Matthias Greschow, Welzow
Gedruckt auf Recyclingpapier aus 100 % Altpapier

Schutzgebühr 15,- DM (7,- €)



Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Landesregierung Brandenburg herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbern zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zwecke der Wahlwerbung.
Nachdruck - auch auszugsweise - nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers.

Studien und Tagungsberichte
Band 34

Humantoxikologisches Potenzial von Holzstäuben



LANDESUMWELTAMT
BRANDENBURG



Inhalt

1	Zusammenfassung	4
2	Charakterisierung von Holzstäuben aus der Holzindustrie	4
2.1	Stoffliche Zusammensetzung	4
2.2	Struktur und Korngrößenspektrum	5
2.3	Holzstaubkonzentrationen am Arbeitsplatz	6
3	Gesundheitliche Wirkungen von Holzstäuben	7
3.1	Allgemeines zu Wirkungen von Stäuben	7
3.2	Spezifische Wirkungen der Holzstäube	7
3.2.1	Krebserzeugende Wirkung	7
3.2.2	Allergisierende Wirkung	9
3.2.3	Wirkungen verunreinigter Holzstäube	9
4	Bewertung von Holzstaubkonzentrationen in der Atemluft	10
5	Literatur	11

1 Zusammenfassung

Holzstäube entstehen bei der spanenden Bearbeitung von Holz und Holzabfällen zur stofflichen oder thermischen Verwertung und zur Beseitigung. Durch unerkannte Verunreinigungen in Holzabfällen können auch im Holzstaub erhebliche Schadstoffkonzentrationen auftreten.

Der aerodynamische Durchmesser der Holzstaubpartikel liegt in Abhängigkeit vom Holzbearbeitungsprozess eher im Bereich $\geq 5 \mu\text{m}$, das heißt, die Stäube enthalten überwiegend einen geringen thorakalen Anteil.

Die spezifischen Wirkungen von Holzstaub umfassen Adenokarzinome der Nase, die insbesondere durch Harthölzer her-

vorgerufen und Sensibilisierungen, die vor allem durch exotische Hölzer induziert werden.

Zur Beantwortung der Frage, ob faserförmige Holzstaubpartikel krebserzeugend wirken, fehlt derzeit noch die Beurteilungsbasis. Durch typische Verunreinigungen können die krebserzeugende Wirkung der Holzstäube verstärkt, Reizwirkungen auf Augen und Atemwege sowie reproduktionstoxische Effekte hervorgerufen werden. In Anbetracht des erheblichen kanzerogenen Wirkungspotenzials und der unbefriedigenden Datenlage zur Wirkungsbewertung muss aus Vorsorgegründen eine anlage- und umweltspezifische Minimierung der Holzstaubemissionen erreicht werden.

2 Charakterisierung von Holzstäuben aus der Holzindustrie

Die umweltbezogene Bewertung von Holzstäuben ist bei der Genehmigung und Überwachung aller Anlagenarten, die relevante Mengen an Holzstäuben emittieren, erforderlich. Im Vordergrund stehen Anlagen zur Aufbereitung von Holz (Shredder) und zur Herstellung von Holzwerkstoffen (Span-

platten und mitteldichte Faserplatten). Technologische Quellen für Holzstäube sind die Zerkleinerung (Shredderprozess) und die Zerfaserung von Holz sowie das Sägen, Schleifen und Trocknen von Holzwerkstoffen oder Holzhackschnitzeln.

2.1 Stoffliche Zusammensetzung

Die natürlichen Bestandteile von Holz sind vielfältig und die hohen Temperaturen infolge maschineller Bearbeitung vergrößern diese Vielfalt noch durch zusätzliche chemische Reaktionen.

Die wesentlichen makromolekularen Holzbestandteile sind

- Zellulose (ein linearer, hochmolekularer Polysaccharid aus D-Glucosebausteinen, die durch $\beta(1\rightarrow4)$ glykosidische Bindungen verbunden sind),
- Polyosen (Hemizellulosen) und
- Lignin (ein hochmolekularer aromatischer Stoff) IARC (1996), RÖMPP (1990).

Zellulose ist mit 40–50 % die Hauptkomponente von sowohl Weich- als auch Hartholz. Harthölzer enthalten mehr Polyosen als Weichhölzer und unterscheiden sich auch in ihrer Zuckerzusammensetzung.

Lignin, mit einem Anteil von 20–35 %, setzt sich aus Phenylpropanbausteinen zusammen, die sich durch verschiedene Bindungsformen zu komplizierten dreidimensionalen Makromolekülen formieren. Weichholz enthält nicht nur mehr Lignin als Hartholz, sondern es weist auch eine unterschiedliche Struktur und Zusammensetzung auf IARC (1996).

Extrahierbare Komponenten von Holz sind Terpene, Paraffine, Fettsäuren, Phenole, Phthalsäureester, Sterole, Flavonoide und cyclische oder acyclische Tannine. Diese niedermolekularen Inhaltsstoffe machen etwa 0,1–1 % der Holzmasse von Bäumen in gemäßigten Zonen und 15 % und mehr in Tropenholz aus. Einige dieser Komponenten, die das Holz gegen Beschädigungen durch Pilze, Insekten oder Bakterien schützen, können toxische, reizende oder allergisierende Eigenschaften besitzen NYLANDER ET AL. (1993), IARC (1996).

Neben den natürlichen Holzinhaltsstoffen findet man in Althölzern und Holzabfällen eine ganze Palette an Verunreinigungen. Darunter fallen Reste und Umwandlungsprodukte von Holzschutzmitteln, Farben, Lacken und schützenden Beschichtungen – WINKLER (1998), VOSS (1998), WOLF ET AL. (1998), wie

Organika

B(a)P	Benzo(a)pyren (Leitsubstanz für Teeröle)
DCFN	Dichlofluorid
DDT	1,1,1-Trichlor-2,2-bis(4-chlorphenyl)-ethan
ESN	Endosulfan
HCHO	Formaldehyd
Lindan	γ -Hexachlorcyclohexan
PCP	Pentachlorphenol, -salze und -verbindungen
PM	Permethrin
TCZ	Tebuconazol (Vertreter der Triazole)
MF	2,4,6-Triamino-1,3,5-Triazin/Formaldehyd (Melaminharz)

Metalle

As	Arsen(V)-oxid und -salze
Pb	Bleiverbindungen
Cd	Cadmiumverbindungen
Cr	Chrom(VI)-oxid und -salze
Fe	Eisensalze
Cu	Kupfersalze
Hg	Quecksilbersalze (Sublimat)
TBTO	Zinn (organische Verbindung)
Ti	Titaniumoxid (als Pigment)
Zn	Zinkverbindungen

Halb- und Nichtmetalle

B	Borsäure, Alkaliborate
Cl ⁻	Chloride
F ⁻	Fluoride

In Shredderanlagen werden Alt- und Abfallhölzer zerkleinert. Von den Holzfraktionen, die nicht stofflich sondern lediglich thermisch verwertet werden dürfen oder beseitigt werden müssen, werden Stäube mit hohem Fremdstoffinventar gebildet. Für die Herstellung von Spanplatten wird neben naturbelassenem Holz (Stammholz, nicht verwertbare Holzreste und Sägespäne) auch Abfallholz verwendet, das die genannten holz-fremden Substanzen enthalten kann. Mitteldichte Faserplatten werden aus naturbelassenem Holz gefertigt. Durch das Verleimen der Fasern werden auch hier Fremdstoffe eingetragen.

(Probenahme bei Bauholz- und Fensterproben nicht bekannt, bei Holzspanproben 2 mm von der Oberfläche behandelter Teile)

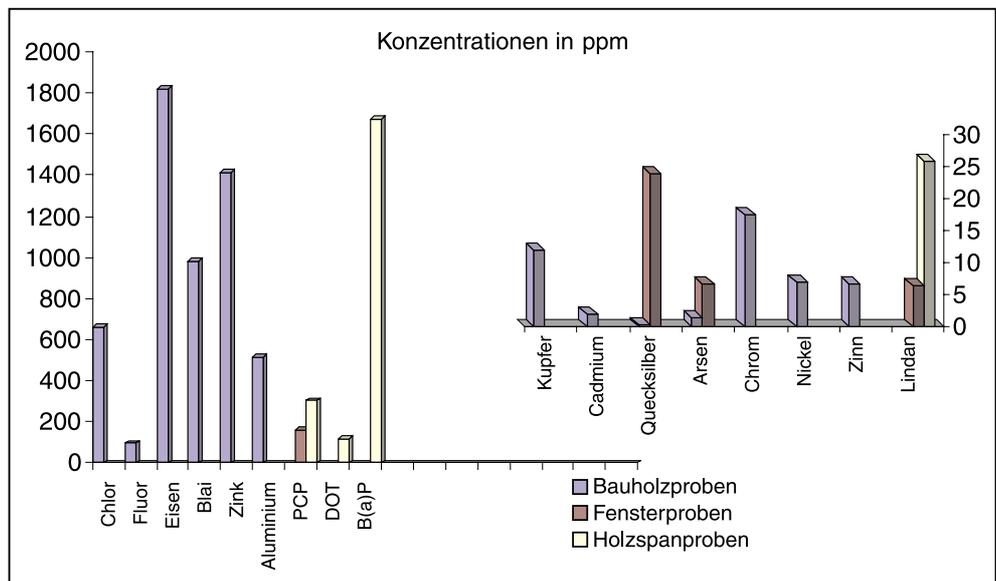


Abb. 1: Schadstoffgehalte in Holzproben (Voss 1998, LUA 1997)

Abbildung 1 zeigt Schadstoffkonzentrationen von verschiedenen Holzproben. Darin wurden typische anorganische und organische Verunreinigungen gefunden. Auffällig sind die hohen Gehalte an besonders bedenklichen Stoffen, wie Benzo(a)pyren, Blei, PCP und DDT.

WOLF ET AL. (1998) fanden in 41 von 59 vermeintlich unbehandelten Holzproben (z.B. Bauholz), die im Zusammenhang mit epidemiologischen Untersuchungen für die Beschreibung der Belastungssituation untersucht wurden, Chlorphenole in Konzentrationen bis zu 16,8 g/kg an der Oberfläche. Halbfertigprodukte, z.B. aus der Möbelindustrie waren seltener mit Chlorphenolen kontaminiert (4 von 32 Proben).

Weiterhin wurden in Spanproben Fluor, Bor, Kupfer, Chrom, Lindan, α/β -Endosulfan, Dichlofluanid und 1-Clornaphthalin gefunden.

2.2 Struktur und Korngrößenspektrum

Allgemein werden Stäube als fein zerteilter disperser Feststoff beliebiger Form, Struktur und Dichte aufgefasst, dessen Teilchen einer Größenverteilung zwischen etwa 0,1 und 100 bis 500 μm folgen. Der Begriff Schwebstaub ist bezüglich seiner Partikelverteilung nicht exakt definiert. Es werden Feinstaub

Voss (1998) recherchierte Rezepturen prüfzeichenpflichtiger Holzschutzmittel (DIBt) und ermittelte 432 Rezepturen mit organischen bzw. metallorganischen Wirkstoffen. Lediglich 164 Rezepturen basierten auf rein anorganischen Schutzsalzkomponenten und lediglich 19 Mittel enthielten sowohl organische als auch anorganische Wirkstoffe. Während die Anzahl der Holzschutzmittel mit anorganischen Wirkstoffen schon seit den 50er Jahren relativ konstant ist, ist bei den organischen Mitteln seit den 70er Jahren ein enormer Zuwachs zu verzeichnen. Unter den besonders im Heimwerkerbereich bedeutsamen RAL-Holzschutzmitteln fanden sich unter den 73 Präparaten nur vier mit anorganischen Schutzsalzen, ein Teerölpräparat und ein Präparat mit anorganischen und organischen Bestandteilen. Alle anderen Präparate enthielten Rezepturen auf rein organischer Wirkstoffbasis, wobei am häufigsten Triazole (Tebuconazol/Propiconazol) sowie Dichlofluanid und Permethrin verwendet wurden.

Geordnet nach Holztypen enthielten 21 der Fichtenproben organische Holzschutzmittel (PCP, Lindan, α/β -Endosulfan) und einige auch anorganische Holzschutzmittel (Fluor). Organische Holzschutzmittel, hauptsächlich Lindan, konnten sogar in 15 % der Eichenholzproben festgestellt werden. Organische Holzschutzmittel (PCP, Lindan, α/β -Endosulfan) wurden auch in 17 % der Buchen- und Buchensperrholzproben gefunden.

Besonders bemerkenswert ist die Tatsache, dass 45 % der Spanplattenproben organische Holzschutzmittel, hauptsächlich PCP und Lindan, aber auch α/β -Endosulfan enthielten.

Bei der Charakterisierung von Holzstäuben, die für die Aufklärung der Krebsentstehung mit Hilfe von Tierversuchen benutzt wurden, hat sich gezeigt, dass auch natürliches Holz (Eichenholz) Chromat in einer Konzentration von 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ enthielt WOLF (2001).

(< 2,5 μm) und Grobstaub (2,5–10 μm) unterschieden. Teilchen von 1 μm Größe verweilen vier bis fünf Minuten in der Luft BLEICH ET AL. (1998) und Teilchen größer 10 μm sedimentieren aus der Atmosphäre schnell aus und bilden den Staubniederschlag JURSCH (1997).

Die Untersuchung von Holzstaubpartikeln (Typ undefiniert) mit dem Rasterelektronenmikroskop ergab eine faserförmige oder schuppige Gestalt sowie ein großes Verhältnis von Oberfläche und Volumen NYLANDER ET AL. (1993). BLEICH ET AL. (1998) weisen auf die Bedeutung der Morphologie von Holzpartikeln für die Krebsentstehung hin. Beim Sägen oder Fräsen freigesetzte Hartholzteilchen haben Zacken und Kanten, während Schleifpartikel häufig flach wie Späne aussehen. Faserige oder zackige Teilchen bleiben oft längere Zeit auf der Schleimhaut, in Gewebsspalten und -falten haften, führen zu lokalen Irritationen und schädigen dadurch die mukoziliäre Clearance.

Bei den mitteldichten Faserplatten ist die Faserstruktur der Holzpartikel bedeutsam. In der Literatur finden sich unterschiedliche Hinweise zur Konfiguration von Zellulosefasern. Angaben aus der Holzindustrie liegen uns nicht vor. FRIEDRICH ET AL. (1990) untersuchten Naturfasern aus Zellulose als Ersatzfaserstoffe für Faserzementprodukte. Diese Fasern wiesen keinen einheitlichen Durchmesser auf, sondern lagen als stark verfilzte Aggregate vor. Der lungengängige Anteil variierte stark, war gemessen an der Gesamtfasernzahl aber klein (< 1 %). TIESLER ET AL. (1992) berichteten über die Freisetzung faserförmiger Stäube aus Zellulose-Dämmstoffen. Hier wurden aus handelsüblichem Dämmstoff auf Altpapierbasis immerhin erhebliche Mengen wirkungsrelevanter Fasern freigesetzt.

Die Staubbelastung bei der Spanplattenherstellung resultiert vor allem aus dem Zersägen (Zuschnitt der Platten) und dem Feinschliff der Oberflächen. Hierdurch sind grobe und feine Staubfraktionen zu erwarten. Der Shredderprozess liefert er-

heblich mehr grobe Stäube als feinere Fraktionen. Gleiches gilt für Lagerungs- und Transportvorgänge von Holzhack- schnitzeln.

In der Literatur finden sich nur spärliche Angaben zur Korngrößenverteilung von Holzstäuben NYLANDER ET AL. (1993). Der größte Teil des in der Arbeitsplatzumgebung gefundenen Holzstaubes hatte einen aerodynamischen Durchmesser von mehr als 5 µm. Einige Autoren berichten, dass der Staub, der beim Schleifen und bei der Hartholzbearbeitung anfällt, einen höheren Gehalt an feinen Teilchen hat, aber die Beweise sind nicht konsistent IARC (1996).

Bei einer Arbeit von ANDERSON (1977, zitiert in NYLANDER ET AL. (1993)) lag das Maximum der Partikelgrößenverteilung zwischen 6 und 10 µm. Die höchsten Staubmengen entstanden beim Schleifen, wobei auch die höchsten Anteile an atembarem Staub (22 Gewichtsprozent) erreicht wurden NYLANDER ET AL. (1993).

Nach BLEICH ET AL. (1998) finden sich bei den verschiedenen technologischen Holzbearbeitungsverfahren in der Industrie keine signifikanten Unterschiede in der Feinstaubkonzentration, wobei der Feinstaubanteil (< 5 µm) auf etwa 15 bis 40 % der Gesamtstaubmenge beziffert wird. In Australien wurden nur geringe Unterschiede zwischen Hart-, Weich- oder wiederverwendetem Holz in der Partikelgrößenverteilung gefunden. Der durchschnittliche aerodynamische Durchmesser betrug 18,7 µm für Hartholz- und 19,6 µm für Weichholzstaub NYLANDER ET AL. (1993).

2.3 Holzstaubkonzentrationen am Arbeitsplatz

Daten zu Holzstaubmengen in der Umgebungsluft, insbesondere in der Atemzone von Arbeitern und zur Ablagerung in der Nasenhöhle sind unvollständig NYLANDER ET AL. (1993). Messwerte sind generell erst seit den siebziger Jahren verfügbar. In der Zeit davor können die Arbeitsplatzbelastungen wegen des geringer entwickelten Standes der Technik durch- aus höher gewesen sein IARC (1996).

Untersuchungen der Bundesanstalt für Arbeitsschutz in 22 Betrieben der Holzbranche in den neuen Bundesländern haben gezeigt, dass die Wirksamkeit der Absaugung von Holz- staub am Arbeitsplatz häufig noch unbefriedigend ist LOHSE (1995). Dies bestätigen auch die Untersuchungen von RAPP ET AL. (1998), bei denen ein Drittel der Messwerte fünfmal höher als der Arbeitsplatzgrenzwert waren.

Die Holzstaubbelastungen sind bei den einzelnen Arbeitsverfah- ren unterschiedlich. Abbildung 2 zeigt Staubbelastungen, die bei personenbezogener Messung ermittelt wurden. Die höch- sten Konzentrationen traten bei Reinigungsarbeiten mit Druck- luft, beim Sägen und beim Schleifen auf. Im Rahmen einer epi- demiologischen Untersuchung zur Wirkung von Holzstäuben war auch die Exposition an den Arbeitsplätzen zu ermitteln. Dabei zeigte sich, dass bei der Eichen- und Buchenholz- bearbeitung signifikant häufiger hohe Holzstaubbelastungen auftreten als ohne diese Hartholzbearbeitung WOLF ET AL. (1994).

In einer Literaturschau wird von NYLANDER ET AL. (1993) über verschiedene Messungen berichtet und festgestellt, dass bei der Holzbearbeitung trotz hoher Staubbelastungen relativ geringe Konzentrationen atembaren Holzstaubes entstehen.

In der Atemzone von Holzarbeitern wurden über den Arbeits- tag in 35 % der Proben Staubmengen von 5 bis 10 mg/m³ und in 28 % der Proben Staubmengen über 10 µg/m³ gemes- sen. Die durchschnittliche Staubkonzentration während des maschinellen bzw. manuellen Schleifens betrug 14,3 mg/m³ und während des Bohrens oder Sägens 5,3 mg/m³ NYLANDER ET AL. (1993).

In australischen Möbelwerken lagen die Durchschnittswerte von Holzstaub in der Atemzone zwischen 3,2 und 5,2 mg/m³. Die Konzentrationswerte von Hart-, Weich- oder wiederver- wendetem Holz unterschieden sich nur geringfügig. Die durchschnittlichen personenbezogenen Expositionen in be- stimmten Holzberufen lagen zwischen 3,0 - 5,5 mg/m³ NYLANDER ET AL. (1993).

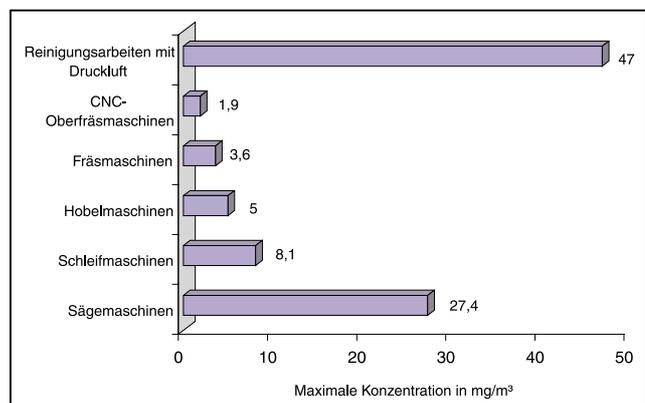


Abb. 2: Holzstaubbelastungen am Arbeitsplatz LOHSE (1995)

3 Gesundheitliche Wirkungen von Holzstäuben

3.1 Allgemeines zu Wirkungen von Stäuben

Die inhalierbare Staubfraktion beinhaltet alle durch Nase und Mund eingeatmeten Partikel und ist von den direkten Bedingungen in der Außenluft abhängig. Die Fraktion, die nur die oberen Luftwege erreicht, heißt extrathorakale Fraktion mit Partikelgrößen $> 10 \mu\text{m}$. Die thorakale Fraktion ($< 10 \mu\text{m}$) passiert den Kehlkopf und die lungengängige Fraktion erreicht mit Teilchengrößen kleiner $5 \mu\text{m}$ den Alveolarabschnitt im menschlichen Atemtrakt KOHLHAUFL (1998).

3.2 Spezifische Wirkungen der Holzstäube

Aufgrund der Korngrößenverteilung von Holzstaub (Teilchen größer $5 \mu\text{m}$) ist davon auszugehen, dass ein wesentlicher Teil des Staubes in der Nasenhöhle abgelagert wird, die feineren Anteile aber gleichzeitig auch die der Nase nachgelagerten Atemwege erreichen können. Als vorrangige Ablagerungsgebiete wurden ein kleines ovales Gebiet an dem unteren vorderen Teil der Nasenseidewand nahe dem Nasengrund und ein Areal an dem unteren vorderen Ende der mittleren Muschel beobachtet NYLANDER ET AL. (1993).

Nur sehr wenige Holzkomponenten sind hinsichtlich ihrer biologischen Effekte untersucht worden NYLANDER ET AL. (1993), IARC (1996). Experimentalstudien mit Holzextrakten bzw. Holz-inhaltsstoffen lassen auf die Anwesenheit cancerogener und mutagener Prinzipien in Holzstäuben schließen. Die Ligninbausteine Coniferaldehyd und Sinapaldehyd, welche beim Abbau des Lignins freigesetzt werden können, gehören zu den als cancerogen verdächtigten Holz-inhaltsstoffen. Ein Oxidationsprodukt des Sinapaldehyds, nämlich 2,6-Dimethoxy-1,4-benzochinon, ist ebenfalls als Holzkomponente nachgewiesen worden. Die Verbindung gilt als allergen für den Menschen und erwies sich als cancerogen im Tierversuch. Sie kann auch von Pilzen, die Hölzer befallen können, produziert werden oder bei der maschinellen Holzverarbeitung bei höheren Temperaturen entstehen HENSCHLER (1991), IARC (1996).

Weiterhin können native Holzkomponenten wie Tannine und Tanninsäuren, ungesättigte Aldehyde und deren Reaktionsprodukte (Coniferalkohol und Sinapalalkohol), Pyrolyseprodukte infolge Hitzebildung bei der Bearbeitung sowie holzbedeckende Pilze und deren Metaboliten möglicherweise zur Krebsentstehung beitragen NYLANDER ET AL. (1993).

In einer Toxizitätsstudie zur akuten Wirkung wurden Stäube von Sheesham und Mango (Partikelgröße $< 30 \mu\text{m}$) in Einzeldosen männlichen Meerschweinchen intratracheal instilliert. Nach 60 Tagen wurde eine leichte Entzündungsreaktion am Lungengewebe beobachtet, die sich nach 90 Tagen zurückgebildet hatte NYLANDER ET AL. (1993).

Kurzzeittests an Schweizer Albinoratten ergaben eine durch Holzstaub verursachte Verringerung der Ziliaraktivität und Zilienverlust, Schleimdrüsenproliferation, schwere Stauungen, Infiltration einkerniger Entzündungszellen und Ödeme in der Schleimhaut der Nase und Nasennebenhöhlen, wenn die Tiere mit von Tischlern produziertem Staub (Korngröße $7\text{--}10 \mu\text{m}$) exponiert waren. Die Autoren schlossen daraus, dass Holzstäube eine chronische Reizwirkung auf die Nasen- und

Bisher ist das biologische Wirkprinzip von Partikeln mit und ohne Inhaltsstoffe nicht ausreichend bekannt. Als mögliche Wirkungsmechanismen sind eine chemische (genuine Inhaltsstoffe, Beladung mit Metallen oder Organika) und/oder mechanische Reizung von Geweben sowie Veränderungen der Körperabwehr, insbesondere der Clearance (Anzahl und Aktivität der Zilien) zu betrachten.

Nebenhöhlenschleimhäute entfalten und vermuten einen Beitrag zur Krebsentstehung infolge Zilienverlusts und exzessiver Schleimproduktion NYLANDER ET AL. (1993).

Eine andere Arbeitsgruppe verfolgte weiblichen Mäusen methanolische Auszüge einer unbehandelten Buchenstaubprobe auf die rasierte Hautoberfläche. Die Tiere entwickelten Haut- und Brustdrüsentumore. Daraus wurde auf ein Penetrationsvermögen des Extraktes durch die Haut und die Möglichkeit der Entwicklung verschiedener Tumore durch systemische Effekte geschlossen, wobei letztere durchaus durch verschiedene Holzkomponenten verursacht werden könnten NYLANDER ET AL. (1993).

3.2.1 Krebserzeugende Wirkung

Holzstaub kann zu Krebserkrankungen führen. Von besonderer Bedeutung ist die Entstehung von Adenokarzinomen (Karzinome des drüsenbildenden Gewebes) im Bereich der Nasenhaupt- und Nasennebenhöhlen. Plattenepithelkarzinome sind der in der Allgemeinbevölkerung vorherrschende Tumortyp von Nasenkrebs, während bei Beschäftigten der Holzindustrie vorwiegend Adenokarzinome beobachtet werden NYLANDER ET AL. (1993).

In zahlreichen Mitteilungen sind Adenokarzinome der Nase und der Nasennebenhöhlen bei Holzarbeitern als typische berufliche Krebserkrankung beschrieben worden. Dieses Tumorleiden wird bei Holzarbeitern etwa 100 mal häufiger (in BRÜSKE-HOHLFELD ET AL. (1992) wird ein Faktor von 1000 angegeben) angetroffen als bei nicht exponierten Personen und betrifft Männer 10 mal häufiger als Frauen HENSCHLER (1991). Innerhalb der Holzbranche sind Tischler besonders stark gefährdet. Im Gegensatz zu Industriebetrieben ist hier mit einer vielfältigen Gefahrstoffbelastung durch Holzstaub, Leim, Lösemittel, Holzschutzmittel und Beizen zu rechnen LOHSE (1995). Sieht man von Asbestfasern und einigen Pyrolyseprodukten ab, so übertrifft die Zahl der bisher beschriebenen Adenokarzinome der Nase und der Nasennebenhöhlen bei Holzarbeitern die Anzahl aller Berufserkrankungen, die jemals mit einem einzelnen krebserzeugenden Arbeitsstoff in Zusammenhang gebracht wurden HENSCHLER (1991).

Untersuchungen zur Mutagenität von Holzstäuben haben gezeigt, dass aus einer großen Zahl von Holzstäuben mutagene Wirkstoffe extrahiert werden können und dass diese Mutagene nicht der Aktivierung durch oxidative Biotransformation bedürfen HENSCHLER (1991).

WOLF ET AL. (1994) testeten das genotoxische Potenzial verschiedener Holzextrakte und ausgewählter Zusatzstoffe aus der Holzindustrie. Als Wirkungsendpunkte wurden DNA-Einzelstrangbrüche mittels alkalischer Filterelution an Rattenhepatozyten unter Berücksichtigung der Zytotoxizität gemessen. Darüber hinaus wurde die genotoxische Wirkung mittels Comet-Assay (Einzelzell – Mikrogelelektrophorese) an der Nasenschleimhaut als Zielgewebe untersucht. Genotoxische Effekte traten sowohl bei natürlichen Inhaltsstoffen als auch bei Zusatzstoffen auf. Bei den Proben der Spanplatte und bei den Eichenholzproben waren deutlich genotoxische Effekte zu sehen. Die Buchenholzextrakte besaßen eine schwächere und für die untersuchten Proben heterogene Wirkung, während für die geprüften Fichtenholzextrakte keine DNA-Schädigung beobachtet wurde WOLF ET AL. (1994).

In Standardtests der genetischen Toxikologie zeigte Lindan keine DNA-schädigende Aktivität, entfaltete eine solche aber in Nasenschleimhautzellen der Ratte *in vitro* und *in vivo* sowie in Zellen der menschlichen Nasenschleimhaut. Auch Chromat wirkt in Epithelzellen der Nasenschleimhaut genotoxisch WOLF ET AL. (1994). In Tierversuchen mit Stäuben unbehandelter und belasteter Hölzer kamen die Autoren zu dem Schluss, dass insbesondere die Nasentumore wahrscheinlich im Zusammenwirken mit Chromaten verursacht worden sind WOLF (2001).

Gegenwärtig existieren zwei gegensätzliche Hypothesen zur Krebsentstehung durch Holzstaub. Die eine Hypothese besagt, dass genuine Holzinhaltsstoffe und deren Derivate die wirksamen Kanzerogene darstellen, die andere geht davon aus, dass die beobachteten Tumore durch chemische Verbindungen zur Holzbearbeitung in der Möbelindustrie verursacht werden. Man kann davon ausgehen, dass eine Reihe von Kanzerogenen im Zuge der Bearbeitung in Hölzer gelangen und später als Holzstaubkomponenten gesundheitsschädlich wirken können. Andererseits enthalten höchstwahrscheinlich alle Holzarten auch genuine Kanzerogene HENSCHLER (1991). Auch ein reiner Partikeleffekt wird diskutiert, bei dem die Holzstaubteilchen die normale Schleimhautfunktion beeinträchtigen und somit die Empfindlichkeit gegenüber Kanzerogenen erhöhen NYLANDER ET AL. (1993).

BLEICH ET AL. (1998) wiesen in verschiedenen Holzarten (Buche, Eiche, Fichte und Kiefer) hohe Mengen an Methanol und Methylacetat nach und diskutieren die Rolle dieser Stoffe bei der Krebsentstehung. Danach soll der Holzstaub eine Träger- und Depotfunktion übernehmen und eine verzögerte aber stetige Freisetzung von Methanol und Methylacetat, das durch Hydrolyse Methanol bilden kann, an der Nasenschleimhaut bewirken. Das Methanol dringt leicht in die Zellen ein und kann in intrazelluläres Formaldehyd mit krebserzeugender Wirkung *in statu nascendi* umgewandelt werden. Bis heute ist das ursächliche Prinzip der Kanzerogenese durch Holzstaub nicht bekannt. Die Bedeutung der verschiedenen Holzkomponenten und -begleitstoffe sollte solange zurückhaltend beurteilt werden, bis überzeugende Experimentalbefunde vorliegen HENSCHLER (1991). Beispielsweise laufen im Deutschen Krebsforschungszentrum (Heidelberg) gegenwärtig Langzeit-Tierversuche zur weiteren Aufklärung der Ätiologie der Krebsentstehung durch Holzstäube unter Berücksichtigung des Einflusses von Zusatzstoffen WOLF ET AL. (1998).

Tabakrauch kann auch synergistisch mit beruflicher Holzstaubexposition agieren, obwohl Rauchen selbst als Ursache für das Adenokarzinom der Nase wenig wahrscheinlich ist. Immerhin

ist Rauchen weit verbreitet, aber dieser Tumortyp sehr selten NYLANDER ET AL. (1993).

Im Rahmen eines Verbundforschungsvorhabens zur Ätiologie maligner Nasentumoren bei Beschäftigten aus der Holzwirtschaft wurden funktionelle und morphologische Veränderungen der Nasen- und Nasennebenhöhenschleimhaut sowie die berufliche Exposition einander gegenübergestellt WOLF ET AL. (1994). In hohem Maße holzstaubexponierte Personen wiesen gegenüber einer Kontrollgruppe häufiger pathologische Röntgenbefunde der Nasennebenhöhlen auf. Da die Adenokarzinome nicht von den Nasennebenhöhlen ausgehen, ist diese Häufung pathologischer Röntgenbefunde für die Diskussion des krebserzeugenden Prinzips nicht von Bedeutung. Für pathologische Schleimhautveränderungen an der mittleren Muschel, (von der die Adenokarzinome der inneren Nase meist ausgehen) ist in erster Linie die Art der verwendeten Zusatzstoffe (Chromat, Lösemittel) verantwortlich. Die mucociliare Clearance verkürzte sich bei den mit nativem Holzstaub exponierten Personen gegenüber den Kontrollen und verlängerte sich bei Spanplattenstaubexponierten mit schwerpunktmäßig hoher Gesamtchrom- und vor allem Formaldehydbelastung. Die histologischen Untersuchungen ergaben bei holzstaub- und lösemittel-exponierten Personen vermehrt Zylinderepithelhyperplasien, was mit einem signifikant selteneren Auftreten von Plattenepithel bei den Holzstaubexponierten einherging.

Aus der zuletzt genannten Tatsache folgt, dass ein größerer Anteil flimmerhärchentragender Epithelien vorliegt, was die verkürzte Clearance erklären kann. Das Fehlen des Plattenepithels bei Holzstaubexponierten kann auch erklären, warum bei zahlreichen Untersuchungen fast nur Adenokarzinome beobachtet wurden, da diese Tumoren vom Zylinderepithel ausgehen. Durch das weitgehende Fehlen anderer Epithelarten bei Personen, die nur native Hölzer verarbeiten oder sogar zusätzlich noch mit Lösemitteln umgehen, ist nach den Ergebnissen von WOLF ET AL. (1994) beim Inhalieren krebserzeugender Stoffe das Entstehen anderer Tumortypen kaum zu erwarten. Im Gegensatz dazu wurden bei der Bearbeitung von Spanplatten oder Holz mit Zusatzstoffen (vor allem Holzschutzmittel) Plattenepithelmetaplasien und Hinweise auf Plattenepithelkarzinome beobachtet WOLF ET AL. (1994).

Dysplasien als Vorstufe maligner Veränderungen traten immer zusammen mit anderen histologischen Befunden auf, was es faktisch unmöglich machte, herauszufinden, welche morphologischen Veränderungen mit der Häufung von Dysplasien korrespondieren. Vergleicht man die Häufigkeit von Dysplasien für Personen mit und ohne Holzschutzmittelexposition, so scheinen Holzschutzmittel keinen Einfluss auf die Entwicklung von Dysplasien zu haben WOLF ET AL. (1998).

Einige Autoren berichten bei Beschäftigten der Holzwirtschaft auch von Krebserkrankungen in anderen Geweben, beispielsweise des lymphatischen und blutbildenden Systems, des Gastrointestinaltrakts, der Haut oder des Atemtraktes. Die verfügbaren epidemiologischen Daten sind nicht ausreichend, um eine Abschätzung des zusätzlichen Risikos für andere Krebsarten als den Nasenkrebs für Beschäftigte der Holzindustrie vorzunehmen NYLANDER ET AL. (1993).

Nach heutigem Kenntnisstand sind Buchen- und Eichenholzstäube als krebserzeugend eingestuft, die anderen Holzstäube gelten als krebverdächtig. Adenokarzinome werden als Berufskrankheit anerkannt. Ob Stäube sogenannter Weichhölzer von dem Ver-

dacht ausgenommen werden können, Träger eines kanzerogenen Prinzips zu sein, erscheint zur Zeit zweifelhaft. Deshalb kann gegenwärtig keine Holzart von dem Verdacht ausgenommen werden, dass der von ihr abgeleitete Staub unter Bedingungen der chronischen Inhalation Nasentumoren erzeugt HENSCHLER (1991). 1985 wurden speziell Eichen- und Buchenholzstäube in die Kategorie III A1 (nach Neustrukturierung der Einstufung jetzt Kategorie 1) aufgenommen, während die übrigen Holzarten in III B (jetzt in Kategorie 3B) verblieben DFG (1997, 2001).

Für diese Entscheidung bildete eine Studie der Holz-Berufsgenossenschaft (GRIMM U.A. 1984 zitiert in BRÜSKE-HOHLFELD ET AL. (1992)) eine wesentliche Grundlage.

In BRÜSKE-HOHLFELD ET AL. (1992) wird diese Studie kritisch diskutiert, insbesondere die Frage, ob die Expositionsbedingungen aus dem Jahr 1983 einen Anhalt geben können für die Exposition in der Vergangenheit. Die Latenzzeit des Adenokarzinoms liegt zwischen 7 und 70 Jahren NYLANDER ET AL. (1993) bzw. 9 und 50 Jahren HENSCHLER (1991) und wird im Mittel auf 40 Jahre geschätzt BRÜSKE-HOHLFELD ET AL. (1992). Der Erkrankungsbeginn für die Patienten der Studie lag zwischen 1964 und 1984. Das bedeutet, dass die für die Erkrankung relevante Zeit der Holzstaubexposition zwischen 1924 und 1944 lag. Damals dürften Weichhölzer und Spanplatten eine geringere Rolle gespielt haben als heute und die hohe Zahl an Arbeitsjahren, die der Hartholzexposition zuzurechnen ist, spiegelt möglicherweise vor allem wider, wie sich die typische Exposition geändert hat und weniger das höhere Risiko durch Hartholzstaub. Außerdem wird die Klassierung von Hart- und Weichholzstaub beanstandet: überwiegend Weichholzexposition wird angenommen bei Anteilen von Weichholz am Holzstaub von > 95 %, Hartholzexposition dagegen bei Anteilen > 50%. Die Autoren bezweifeln deshalb, ob man die Anerkennung einer Berufskrankheit beim derzeitigen Wissensstand von einer bestimmten Holzart abhängig machen kann.

Hinsichtlich gesundheitlicher Wirkungen faserförmiger Holzpartikel für die Herstellung mitteldichter Faserplatten sind die Länge und das Verhältnis von Länge und Durchmesser der Fasern ausschlaggebend. Für (anorganische) Faserstäube länger als 5 µm und einem L/D-Verhältnis > 3:1 wurde tierexperimentell eine positive Korrelation zwischen Faserzahl und Tumorraten ermittelt. Das mit der Einwirkung derartiger Fasern verbundene Krebsrisiko ist umso größer, je länger die Verweilzeit im Organismus, also je größer die Biobeständigkeit der Fasern ist. Für organische Fasern liegen bisher keine geeigneten Daten vor, die den Verdacht der krebserzeugenden

Wirkung belegen, vielmehr besteht hier ein erheblicher Forschungsbedarf DFG (1997).

3.2.2 Allergisierende Wirkung

Allergische Atemwegs- (Rhinitis, Konjunktivitis, Asthma) und Hauterkrankungen können insbesondere durch tropische Hölzer verursacht werden LOHSE (1995), WIRTZ ET AL. (1997).

Die meisten Daten zur allergisierenden Wirkung von Holzstaub betreffen Rotzeder, Birke, Erle und Kiefer, weiterhin Limba, Abachi sowie andere exotische Hölzer, wie Macore, Gaboon und Kambala. Bislang konnten nur einige niedermolekulare Allergene (meist Chinon- und Flavonderivate) als Auslöser des Kontaktekzems und der Urtikaria sowie die Pliktsäure als Typ I-Allergen im Staub der Rotzeder identifiziert werden. Bei Beschäftigten der Möbeldustrie (vornehmlich Schleifarbeiten) wurden kutane Sensibilisierungen gegenüber Weichhölzern, Harthölzern und Eichenstäben festgestellt. Typ I-Allergien lassen sich durch positive Hauttests und spezifischen IgE-Nachweis belegen.

Die klinische Relevanz einer Sensibilisierung der tiefen Atemwege ist für die Hölzer von Rotzeder, Abachi, Limba und Eiche aufgrund der umfangreichen Datenlage und der Anzahl an Untersuchungen als gesichert anzusehen. Eine Reihe weiterer Hölzer steht im Verdacht, ebenfalls atemwegssensibilisierend zu sein TRGS 908 (1998).

3.2.3 Wirkungen verunreinigter Holzstäube

In folgender Tabelle werden einstufigsrelevante Wirkungsmerkmale der Verunreinigungen in Holzstäuben aufgelistet. Daraus wird ersichtlich, dass sich die Wirkung der Holzstäube durch Verunreinigungen mit gleichen Wirkungsendpunkten durchaus verstärken kann und dass auch zusätzliche Wirkungspotentiale auftreten. Eine Wirkungsverstärkung für die Krebsentstehung ist grundsätzlich durch alle krebserzeugenden Substanzen denkbar, insbesondere, wenn sie, wie Formaldehyd, ebenfalls Tumore im Nasenbereich N1s (1997) oder aber auch, wie Benzo(a)pyren, Pentachlorphenol, Arsen, Cadmium und Chrom, Tumore im Bereich der Atemwege N1s (1997) hervorrufen können. Weiterhin sind Reizwirkungen auf die Augen und Atemwege durch Dichlofluorid, Endosulfan, Formaldehyd, Chromate, Kupfersalze, Lindan, Chlorphenole und Tributylzinnverbindungen nachgewiesen. Besonderer Berücksichtigung bedürfen die reproduktionstoxischen Effekte durch Benzo(a)pyren, Blei und Pentachlorphenol.

Wirkungsmerkmale von Verunreinigungen im Holzstaub

*** TRGS 900 (2001)
** TRGS 905 (2001)
* RL 67/548/EWG Anhang I, UB MEDIA (2001)

K krebserzeugend
M erbgutverändernd
Rf Beeinträchtigung der Fortpflanzungsfähigkeit (Fruchtbarkeit)
Re fruchtschädigend (entwicklungsschädigend)
1-3 Kategorien nach RL 67/548/EWG Anhang I
R23 giftig beim Einatmen
R26 sehr giftig beim Einatmen
R36 reizt die Augen
R37 reizt die Atemwege

Kat I Spitzenbegrenzungskategorie I der TRGS 900 für lokal reizende Stoffe

Stoff	CAS-Nr.	Kanzerogenität	Mutagenität	Reproduktions-toxizität	Inhalative Gift- oder Reizwirkung
Arsensäure	7778-39-4	K 1*			R 23*
Arsenige Säure	36465-76-6	K 1**			
Benzo(a)pyren	50-32-8	K 2*	M 2*	Re 2*, Rf 2*	
Blei	7439-92-1			Re 1**, Rf 3**	
Cadmium	7440-43-9	K 2**			
Dichlofluorid	1085-98-9				R 36*
DDT	50-29-3	K 3*			
Endosulfan	115-29-7				R 36*
Formaldehyd	50-00-0	K 3*			R 23*, Kat. I***
Kaliumdichromat	7778-50-9	K 2*	M 2*		R 26*, R 37*
Kupfersulfat	7758-98-7				R 36*
Lindan	58-89-9				R 23*, R 36*
PCP	87-86-5	K 3*, K 2**	M 3**	Re 2**	R 26*, R 36*
Quecksilber	7439-97-6				R 23*
Tributylzinn	56-35-9				Kat. I***

4 Bewertung von Holzstaubkonzentrationen in der Atemluft

Eine sichere Holzstaubkonzentration zum Schutz der menschlichen Gesundheit kann aus den vorliegenden Daten nicht abgeleitet werden. Die größten Datenlücken bestehen in der Beschreibung der Dosis-Wirkungskurve, in der Identifizierung spezifischer Holztypen oder kanzerogener Stoffe sowie in dem möglichen Wirkungsmechanismus NYLANDER ET AL. (1993). Im Sinne des vorbeugenden Gesundheitsschutzes ist es notwendig, die Holzstaubbelastungen am Arbeitsplatz und in der Umwelt zu vermindern.

Für holzstaubbelastete Arbeitsplätze gelten die Vorschriften der Gefahrstoffverordnung, die in der TRGS 553 (1995) präzisiert werden. Vorrangig werden technische Maßnahmen, insbesondere die Absaugung der Holzstäube direkt an der Entstehungsstelle gefordert LOHSE (1995). Durch den Einsatz staubgeprüfter Maschinen und Geräte wird der Arbeitsplatzgrenzwert dauerhaft sicher eingehalten LOHSE (1995), wenn diese bestimmungsgemäß verwendet werden (Realisierung der Mindestluftgeschwindigkeit am Maschinenanschlussstutzen, sichere Einhaltung des Reststaubgehaltes bei Luftrückführung und Reinigung mit geprüften Geräten).

Für Holzstaub ist als Arbeitsplatzgrenzwert eine Technische Richtkonzentration von 2 mg/m^3 TRGS 900 (2001) festgelegt. Dieser Grenzwert gilt für alle Holzstaubarten. Wird mehr als 10 % Buchen- und Eichenholz be- oder verarbeitet, gilt nicht nur der TRK-Wert, sondern es sind auch alle Maßnahmen erforderlich, die an die Überschreitung der Auslöseschwelle gebunden sind. Derartige Maßnahmen sind beispielsweise arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen, Beschäftigungsbeschränkungen und Arbeitszeitregelungen LOHSE (1995).

Genau wie am Arbeitsplatz, wird auch in der kommunalen Umwelt dem Entstehen schädlicher Wirkungen durch Holzstäube durch die anlagenseitige Begrenzung und Minimierung der Holzstaubemissionen vorgebeugt.

Neben grundsätzlichen Anforderungen der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (3.1.2 TAL (1986) und Anforderungen zum Umgang mit staubenden Gütern (3.1.5 TAL (1986)) sind auch Vorschriften für besondere Staubinhaltsstoffe zu berücksichtigen:

A) An erster Stelle seien die **kanzerogenen Inhaltsstoffe** genannt, die zur Anwendung der Nr. 2.3 TAL (1986) führen:

- Klasse I o Benzo(a)pyren
- o Pentachlorophenol*
- Klasse II o Arsenate
- o Chrom-VI-Verbindungen
- Klasse III o Eichen- und Buchenstaub**

* PCP ist nicht konkret unter 2.3 aufgeführt. Der Empfehlungswert des Ausschusses für Gefahrstoffe von $1 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ BIA (1997) liegt jedoch in der Größenordnung der TRK-Werte der Stoffe in Klasse I.

** Eichen- und Buchenstaub sind nicht konkret unter 2.3 aufgeführt. Der TRK-Wert für Holzstaub (alle Arten) von 2 mg/m^3 BIA (1997) liegt jedoch in der Größenordnung der TRK-Werte der Stoffe in Klasse III.

B) Weiterhin führen **anorganische Inhaltsstoffe** zur Begrenzung der Emissionen nach 3.1.4 TAL (1986):

- Klasse I o Cadmium
- o Quecksilber
- Klasse III o Blei
- o Fluoride
- o Kupfer

und

C) **organische Inhaltsstoffe** nach 3.1.7 TAL (1986):

- Klasse I o Holzstaub
- o Formaldehyd

An dieser Stelle ergibt sich die Frage, ob bei realen Schadstoffbelastungen im Holzstaub das Konzentrationsverhältnis der verschiedenen Klassen der TAL (1986) gewahrt bleibt und man bei Einhaltung des Emissionsgrenzwertes für Holzstaub (20 mg/m^3 , 3.1.7. Kl.I) davon ausgehen kann, dass auch die Emissionskonzentrationen der Verunreinigungen eingehalten werden. Am Beispiel der krebserzeugenden Verunreinigungen im Holzstaub, die unter die Klasse 2.3 TAL (1986) fallen (bisher nur Benzo(a)pyren), kann man folgenden Überschlag machen:

Konzentrationsgrenzwert	Konzentrationsgrenzwert
2.3 TA Luft	3.1.7 TA Luft (Holzstaub)
$0,1 \text{ mg/m}^3$	20 mg/m^3
$= 0,005 : 1 =$	$5.000 : 1.000.000 = 5.000 \text{ ppm}$

In dem Referenten-Entwurf zur Novellierung der TA Luft ist ein Konzentrationsgrenzwert für krebserzeugende Emissionen der Klasse I von $0,05 \text{ mg/m}^3$ vorgesehen, wodurch sich das Konzentrationsverhältnis auf 2.500 ppm halbieren würde. Eine dauerhafte Überschreitung der Gesamt-Konzentration an krebserzeugenden Verunreinigungen der Klasse 2.3 TAL (1986) von 2.500 ppm im Holz (Spitzenwerte von Benzo(a)pyren in realen Holzproben erreichen durchaus Werte von über 1.000 ppm, Vgl. 2.1) würde demnach trotz Einhaltung des Emissionsgrenzwertes für Holzstaub zukünftig den Vorsorgeansatz der TA Luft verletzen. Dieser Aspekt wird noch dadurch verstärkt, dass in dem Referenten-Entwurf zur Novellierung der TA Luft neben Benzo(a)pyren auch Arsen und Cadmium in der Klasse I der krebserzeugenden Verunreinigungen zu finden sind.

Auf der Immissionsseite existieren keinerlei Beurteilungswerte für Holzstaub. Aufgrund der besonderen Wirkungseigenschaften kann der allgemeine Staubgrenzwert der TAL (1986) von $150 \text{ }\mu\text{g/m}^3$ nicht für die Bewertung von Holzstaub herangezogen werden.

Die Abschätzung des relativen Risikos für Nasenkrebs unter Berufstätigen der Holzbranche basiert hauptsächlich auf Fall-Kontrollstudien und variiert in großem Maße (bis zu einem Faktor von 200) zwischen den verschiedenen Untersuchungen. Adenokarzinome der Nase und der Nasennebenhöhlen sind eine seltene Erkrankung und die jährliche Inzidenz wird auf 1 pro 1.000.000 in der Allgemeinbevölkerung geschätzt. Das Risiko eines Adenokarzinoms bei Holzberufen wird auf jährlich bis zu 1 zu 1.000 geschätzt und liegt damit bis zu drei Größenordnungen höher NYLANDER ET AL. (1993). In Anbetracht dieses erheblichen kanzerogenen Wirkungspotenzials und der unbefriedigenden Datenlage zur Wirkungsbewertung muss als Schlussfolgerung die anlagenseitige Minimierung der Holzstaubemissionen gefordert werden.

5 Literatur

- BIA (1997): Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit, Gefahrstoffliste 1997 – Gefahrstoffe am Arbeitsplatz, Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Erich-Schmidt, Berlin
- BLEICH, S.; HAPLA, F.; SPRUNG, R. (1998): Zur möglichen Kausalität methanol- und methylacetathaltiger Holzstäube an der Entstehung von malignen Nasentumoren, Holz als Roh- und Werkstoff 56, 367–372, Springer
- BRÜSKE-HOHLFELD, I.; SCHERB, H.; WEIGELT, E.; LANGER, G. (1992): Das Adenokarzinom der Nase als Berufskrankheit (BK 4203) – Ist die Beschränkung auf Eichen- und Buchenholzstaub als verursachendes Prinzip gerechtfertigt? Zbl. Arbeitsmed, 42, 258–264
- DFG (1997, 2001): Deutsche Forschungsgemeinschaft, MAK- und BAT-Werte-Liste, VCH Weinheim
- FRIEDRICH, K.H.; ROSENBRUCH, M.; SCHLIPKÖTER, H.W. (1990): Zur Charakterisierung einiger Ersatzfaserstoffe und deren Wirkung im Tierversuch, Zbl. Arbeitsmed. 40, 298–306
- HENSCHLER, D. (1991): Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe. Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründung von MAK-Werten, VCH Weinheim
- IARC (1996): International Agency for Research on Cancer: Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to human: Volume 62 – Wood dust and formaldehyde, 1996, WHO Distribution and Sales Service, Switzerland
- JURSCH, H. (1997): Staubimmission und Spurenstoffgehalt des Staubes im Land Brandenburg, Landesumweltamt Brandenburg. In: Fachbeiträge des Landesumweltamtes, Heft 39 (1998). Hrsg.: Landesumweltamt Brandenburg
- KOHLHAUFL, M. (1998): Aerosolpartikel und Lunge: Grundlagen von Deposition und Clearance, Umweltmed. Forsch. Prax. 3 (2) 90–93, ecomed
- LOHSE, G. (1995): TRGS 553 – Gefährdungen durch Holzstaub, Mitteilungen der Bundesanstalt für Arbeitsschutz 4/95, S. 193
- LUA (1997): Landesumweltamt Brandenburg: Untersuchungsergebnisse Holzanalytik vom 28.05.1997. unveröff. Arbeitsbericht
- NIS (1997): Noxeninformationssystem, Version 3.0, Hrsg.: Landesinstitut für den öffentlichen Gesundheitsdienst Nordrhein-Westfalen, Bielefeld
- Nylander, L. A.; DEMENT, J. M. (1993): Carcinogenic Effects of Wood Dust: Review and Discussion, American Journal of Industrial Medicine, 24: 619–647, Wiley-Liss., Inc.
- RAPP, A. O.; BRANDT, K.; PEEK, R.-D.; SCHITT, U. (1998): Belastung von Nadelholzstäuben mit Holzschutzmittelwirkstoffen, Arbeitsmed. Sozialmed. Umweltmed. 33, 6, 262–263
- RÖMPP (1990): Chemielexikon, 9. Auflage, Hrsg.: Falbe, J.; Regitz, M.: Thieme, Stuttgart
- TAL (1986): Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundesimmissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 27.02.1986 (GMBl. S. 95)
- TIESLER, H.; SCHNITTGER, J. (1992): Untersuchungen zur Belastung durch faserförmige Stäube bei der Verarbeitung von Cellulose-Dämmstoffen, Zbl. Arbeitsmed. 42, 278–285
- TRGS 553 (1995): Technische Regeln zur Gefahrstoffverordnung: TRGS 553 Holzstaub, Ausgabe September 1992 (BArbBl. Nr. 9/1992) zuletzt geändert durch Bek. des BMA vom 15. November 1994 (BArbBl. Nr.2/1995)
- TRGS 900 (2001): Technische Regeln für Gefahrstoffe, Grenzwerte in der Luft am Arbeitsplatz, Ausgabe Oktober 2000, geändert und ergänzt, BArbBl. Heft 4/2001
- TRGS 905 (2001): Technische Regeln für Gefahrstoffe, Verzeichnis krebserzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährdender Stoffe, Ausgabe März 2001, berichtigt, BArbBl. Heft 4/2001
- TRGS 908 (1998): Begründung der Bewertung von Stoffen der TRGS 907, Ausgabe Januar 1998, 4. Holz und Holzstäube, Bundesarbeitsblatt 1/1998, S. 44
- UB MEDIA (2001): Gefahrstoffrecht, Hrsg.: Dr. Bruno Stephan, UB Media AG, CD-ROM Version 03/2001
- VOSS, A. (1998): Aufkommen und Zusammensetzung schutzmittelbehandelter Althölzer und ihre Entsorgung, Mitteilungen der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft Hamburg Nr. 188
- WINKLER, H.-D. (1998): Umweltmedienübergreifendes Gesamtkonzept zur Entsorgung von Gebauchtholz – Richtwerte zur umweltverträglichen Verwertung und Beseitigung, Hrsg.: Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Jahresbericht 1997, S. 31–41
- WIRTZ, C.; CHEN, Z.; RAULF-HEIMSOOTH, M.; v. KAMPEN, V.; PAPANFUß, F.; BAUR, X. (1997): Atemwegssensibilisierung durch Holzstaub, Zbl. Arbeitsmed 47, 336–342
- WOLF (2001): Neue Erkenntnisse zum Holzstaub, Holzinfo Nr. 104, S. 9
- WOLF, J.; SCHMEZER, P.; FENGEL, D. SCHROEDER, H.-G. (1998): The role of combination effects on the etiology of malignant nasal tumors in the wood-working industry, Acta Otolaryngol. (Stockh.); Suppl.535: 1–14
- WOLF, J.; SCHMEZER, P.; KUCHENMEISTER, F.; KLEIN, R. G.; SCHROEDER, H. G.; POOL-ZOBEL, B. L.; ZIEGLER, H.; DETERING, B.; FENGEL, D.; STEHLIN, J.; KLEINSASSER O. (1994): Zur Ätiologie von malignen Nasentumoren bei Beschäftigten aus der Holzwirtschaft, Arbeitsmed., Sozialmed., Umweltmed, Sonderheft 21, S. 3–17

Schriftenreihe „Studien und Tagungsberichte“ (ISSN 0948-0838)

- Band 1 **Geotechnik im Deponiebau**
Ausgewählte Beiträge aus den Geotechnischen Seminaren des Landesumweltamtes Brandenburg 1992/94 (1994)
- Band 2 **Abwasserbeseitigung im Land Brandenburg**
Abwasserbeseitigung im Land Brandenburg – dezentrale Lösungen – Tagungsbericht über das Abwassersymposium am 21.10.1992 (1993)
- Band 3 **Das Trockenjahr 1992 im Land Brandenburg**
Eine Modellbetrachtung aus wasserwirtschaftlicher Sicht – Studie (1994)
- Band 4 **Abfallwirtschaft und Bergbau**
Beiträge der Fachtagung „Abfallwirtschaft/Kreislaufwirtschaft – Herausforderung für die Region Cottbus und die Braunkohlenindustrie“ am 05./06.04.1995 (1995)
- Band 5 **Luftqualität 1975 bis 1990**
Ein Rückblick für das Gebiet des heutigen Landes Brandenburg – Studie (1995)
- Band 6 **Wasserbeschaffenheit in Tagebaurestseen**
Bergbaubedingte Wasserbeschaffenheit in Tagebaurestseen – Analyse, Bewertung und Prognose – Untersuchungen im Lausitzer Braunkohlenrevier - Studie (1995)
- Band 7 **Rüstungsaltpasten**
Beiträge des Fachseminars „Rüstungsaltpasten“ am 22.06.1995 in Potsdam (1995)
- Band 8 **Die Havel**
Naturwissenschaftliche Grundlagen und ausgewählte Untersuchungsergebnisse – Studie (1995)
- Band 9 **Rieselfelder Brandenburg-Berlin (1995)**
– Fachtagung „Rieselfelder Brandenburg-Berlin“ im Februar 1995
– Bericht des Wissenschaftlich-technischen Beirates Rieselfelder (WTB) von 12/1995
- Band 10 **Ausweisung von Gewässerrandstreifen**
Studie zur Erarbeitung von Grundlagen für die Ausweisung von Gewässerrandstreifen – Studie (1996)
- Band 11 **Brandenburger Ökologietage I: Natur- und Ressourcenschutz durch nachhaltige Landnutzung: Fachtagung des Landesumweltamtes am 06.11.1996 – Tagungsbericht (1996)**
- Band 12 **Radioaktive Altlasten auf WGT-Flächen**
Erfassung und Sanierung radioaktiver Belastungen auf ehemaligen WGT-Liegenschaften im Land Brandenburg – Studie (1996)
- Band 13/14 **Rieselfelder südlich Berlins**
Altlast, Grundwasser, Oberflächengewässer/Gemeinsamer Abschlußbericht 1996
- Band 15 **Die sensiblen Fließgewässer und das Fließgewässerschutzsystem im Land Brandenburg – Studie (1998)**
- Band 16 **Das Sommerhochwasser an der Oder 1997 – Fachbeiträge anlässlich der Brandenburger Ökologietage II – Studie (1998)**
- Band 17 **Naturschutz in der Bergbaufolgelandschaft – Leitbildentwicklung – Studie (1998)**
- Band 18 **Landschaftsökologische Untersuchungen an einem wiedervernässten Niedermoor in der Nuthe-Nieplitz-Niederung – Studie (1998)**
- Band 19 **Umweltradioaktivität – Bericht 1998 für das Land Brandenburg (1999)**
- Band 20/21 **Untersuchungen der Oder zur Belastung der Schwebstoff- bzw. Sedimentphase und angrenzender Bereiche – Forschungsbericht 1998 (Anlagenband gesondert) 1999**
- Band 22 **Schadstoffbelastung von Böden im Nationalpark „Unteres Odertal“ vor und nach dem Oderhochwasser 1997 – Studie 1999**
- Band 23 **Geogen bedingte Grundbelastung der Fließgewässer Spree und Schwarze Elster und ihrer Einzugsgebiete – Studie 1999**
- Band 24 **Brandenburgisches Symposium zur bodenschutzbezogenen Forschung – Tagungsbericht vom 22. Juni 2000 (2000)**
- Band 25 **Humanarzneimittel in der Umwelt – Erhebung von Humanarzneimittelmengen im Land Brandenburg 1999 (Studie 2000)**
- Band 26 **Endokrin wirksame Stoffe in der Umwelt – Literaturstudie zur Bedeutung dieser Stoffe im Land Brandenburg (Studie 2000)**
- Band 27 **Flächendeckende Modellierung von Wasserhaushaltsgrößen für das Land Brandenburg Studie (2000)**
- Band 28 **Ökologietage Brandenburg III – Landschaftswasserhaushalt in Brandenburg Tagungsbericht vom 09. November 2000 (2001)**
- Band 29 **Tierarzneimittel in der Umwelt – Erhebung von Tierarzneimittelmengen im Land Brandenburg für den Zeitraum von Juli 1998 bis Juni 1999 (2001)**
- Band 30 **Pflanzenschutzmittel in der Umwelt – Erhebung zu Wirkstoffmengen von Pflanzenschutzmitteln im Land Brandenburg (2001)**
- Band 31 **Grundlagen für die wasserwirtschaftliche Rahmen- und Bewirtschaftungsplanung im Oderbruch (2001)**
- Band 32 **Weiterentwicklung von Schutzgebietssystemen auf naturräumlicher Grundlage (Studie 2001)**
- Band 33 **Morphologische Referenzzustände von Bächen im Land Brandenburg (Studie 2001)**
- Band 34 **Humantoxikologisches Potenzial von Holzstäuben (Studie 2001)**

Herausgeber:

Landesumweltamt Brandenburg (LUA) • Berliner Straße 21–25 • 14467 Potsdam
FON: 0331/23 23 259 • FAX: 0331/29 21 08
e-mail: infoline@lua.brandenburg.de

Schutzgebühr je Band 15,- DM / 7 €; Doppelband 20,- DM / 10 €