

LfU-3A1 1-42-9

## Untersuchung von Altholz aus Altholzaufbereitungsanlagen in Bayern

Herausgeber:  
Bayerisches Landesamt für Umweltschutz

LfU Tel: 0821 – 90 710

Abfall

[www.bayern.de/Lfu](http://www.bayern.de/Lfu)

links zu weiteren Publikationen

Das Amt gehört zum Geschäftsbereich des Bayerischen  
Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen.

Verfasser: **E. Reichle**

Bayerisches Landesamt für Umweltschutz

Chem. Analytik:

W. Reifenhäuser – 0821 – 90 71 – 5300

[werner.reifenhaeuser@lfu.bayern.de](mailto:werner.reifenhaeuser@lfu.bayern.de)

D. Heitmann, - 52 73

M. Schreiner, H.

Feuerungsanlagen: Gerald Ebertsch – Dw: 52 07

[gerald.ebertsch@lfu.bayern.de](mailto:gerald.ebertsch@lfu.bayern.de)

Juni 1998

Bezug kostenlos

Gedruckt auf Recyclingpapier

## **Inhaltsverzeichnis**

1.	Einführung	- 1
2.	Durchführung der Untersuchung	- 1
3.	Ergebnisse	- 3
3.1	Allgemeines	- 3
3.2	Anorganische Schadstoffe	- 4
3.3	Organische Schadstoffe	- 13
4.	Diskussion	- 18
4.1	Anorganische Schadstoffe	- 18
4.2	Organische Schadstoffe	- 21
4.3	Bewertung der Analyseergebnisse hinsichtlich der Verwertung .	- 25
5.	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	- 30
	Literaturangaben	- 31

## **Anhang**

## 1. Einführung

Im Altholz können Schadstoffe unterschiedlichster Art enthalten sein, die vor allem durch Holzschutzmittellacke, Verleimungen und Beschichtungen eingetragen wurden. Nach Art und Umfang dieser Schadstoffe richtet sich die weitere Verwendung, d.h. Aufbereitung, Verwertung, oder Beseitigung des Altholzes.

Um einen Überblick über die Schadstoffbelastung von Altholz in Bayern zu erhalten, hat das LfU 1998 eine Untersuchung durchgeführt. Dafür wurden bei einer Reihe von Altholzaufbereitungsanlagen Proben entnommen und auf ihren Gehalt an organischen und anorganischen Schadstoffen analysiert. Der vorliegende Bericht informiert über die Durchführung und das Ergebnis dieser Untersuchung.

## 2. Durchführung der Untersuchung

Für die Untersuchung wurden bei 10 Altholzaufbereitungsanlagen in Bayern insgesamt 24 Proben von zerkleinertem Altholz genommen. Dabei wurden die bei den Aufbereitungsbetrieben jeweils vorliegenden Fraktionen beprobt.

Die Proben mit der Bezeichnung „Altholz gemischt“ stammen aus Anlagen, bei denen nur eine Fraktion vorlag, d.h. behandeltes und unbehandeltes Altholz im Gemisch angenommen und keine Sortierung in Materialgruppen unterschiedlicher Belastung vorgenommen wurde. Die Proben mit der Bezeichnung „Altholz gemischt, unbehandelt“ und „Altholz gemischt, behandelt“ wurden bei Betrieben genommen, bei denen eine Sortierung in zwei Fraktionen stattfand oder das Altholz bereits vorsortiert angeliefert wurde. Als unbehandelt wird von den Altholzaufbereitern in der Regel solches Holz angesehen, das aufgrund seiner Herkunft oder seines Aussehens als nicht behandelt, das heißt nicht mit Holzschutzmitteln, Lacken, Verleimungen oder Beschichtungen versehen **angenommen** wird.

Zusätzlich zu diesen typischen Mischfraktionen wurde außerdem (jeweils einmalig) Material aus der Aufbereitung von lackierten Fenstern und Türen, Obstkisten und Gemüsesteigen und Altholz mit Anteilen an Industrieparkett beprobt.

Zum Vergleich wurden ergänzend Proben aus naturbelassenem, d.h. lediglich mechanischer Bearbeitung ausgesetztem Restholz untersucht, das aus Betrieben der Holzbe- und Verarbeitung Schreinerei, Zimmerei, Sägewerk bezogen wurde.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über den Umfang der Beprobung und die Art des Probematerials. Eine ausführliche Beschreibung der einzelnen Probematerialien ist im Anhang enthalten.

Fraktion	Holzherkunft	Altholzmaterial	Probennamen:
<b>Restholz Naturholz</b>	naturbelassenes Holz aus Schreinereien, Sägewerk, Zimmereien, überwiegend heimische Hölzer: Fichte, Kiefer, auch Esche, entrindet		5
<b>Altholz gemischt, unbehandeltes</b>	unbeh. überwiegend Verpackungsholz Paletten, Kisten, Stieben, auch Bauholz, Bretter, Latten		5
<b>Altholz gemischt</b>	gemischt aus unterschiedlichen Herkunftsbereichen		9
<b>Altholz gemischt, behandelt</b>	behandelt, überwiegend Holz aus Bau- und - Abbruchunternehmen und Sperrmüllanlieferungen		7
<b>Altholz gemischt, Industrieparkett</b>	überwiegend Holz aus Bau- und Abbruchmaßnahmen behandelt, mit Sperrmüllanlieferungen mit Anteilen an Industrieparkett		9
<b>Monochargen Obstkisten</b>	überwiegend Obstkisten und Gemüsesteigen Gemüseboxen		1
<b>Monocharge</b>	Fenster-Rahmen- Stöcke von Fenstern und Außen-Fenstertüren, überwiegend weiß lackiert		1

**Tab. 1: Art und Umfang der Beprobung  
Bezeichnung der Fraktionen**

Die Heizproben wurden auf die Schwermetalle Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber, Zink, Zinn und Kobalt sowie auf die Elemente, Arsen, Fluor, Chlor, Bor, Schwefel und Titan sowie Aluminium, Eisen und Antimon untersucht. Die untersuchten organischen Schadstoffe waren polychlorierte Dibenzodioxine und -furane PCDD-/F, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe PAK, polychlorierte Biphenyle (PCB), Pentachlorphenol, PCP und Lindan. Des Weiteren wurde der Feuchtegehalt der Heizproben ermittelt.

Einzelheiten zur Probenahme, Probenvorbereitung sowie der Durchführung der Analysen sind dem Anhang zu entnehmen.

## 2.2 anorganische Schadstoffe

Die ermittelten Minimal, Maximal und Mittelwerte der untersuchten Schwermetalle und der untersuchten anorganischen Schadstoffe sind in den Tabellen 2 und 3, sowie den zugehörigen Abbildungen dargestellt. Die in den Abbildungen verwendeten Bezeichnungen für die Fraktionen sind in Tabelle 1 erläutert.

## 4. Diskussion

### 4.1 Anorganische Schadstoffe

Der Eintrag von anorganischen Schadstoffen in das Altholz erfolgt im wesentlichen durch Holzschutzmittel, Farbanstriche, Beschichtungen und Holzwerkstoffbestandteile wie Bindemittel und Leimhölzer. Tabelle 5 zeigt die Eintragspfade für die untersuchten anorganischen Schadstoffe auf und nennt Beispiele.

Element	Niedrig	Mittel	Hoch	Funktion
Brom				
Blei	x			Basisches Bleicarbonat (Bleiweiß)
Cadmium	x	x		Cadmiumsulfad, Stabilisator
Chrom	x	x		Schwermetallerze, in Verbindung mit Kupfer, Arsen. Fluor. 5cr
Kupfer		x		Schwermetallsalze in Verbindung mit Chrom, Arsen, Fluor, Bor
Nickel	x			Seizan
Quecksilber	x			Quecksilberchlorid - Phenylquecksilberoleat
Zink	x			Zinknaphthenet. Zinkoxid
Zinn	x			Tributylcinn
Kobalt		x		Beizen. Trocknungsmittel
Arsen	x			Schwermetallsalze / s.o.
Fluor	x			Schwermetallsalze / s.o.
Chlor	x	x	x	chlororganische HSM. PVC-Beschichtungen, Ammoniumchlorid
Bor	x	x		Borsalz, Schwermetallsalze / s.o.
Schweis			x	Ammoniumsulfat, Harten
Titan		x		Titandioxid

HSM: Holzschutzmittel

PIG.: Pigment

## 5.5. Beschichtung Eintragspfad von untergeordneter Bedeutung

Tab. 5: Eintragspfade für anorganische Schadstoffe in Altholz. Auch Störstoffe, die dem Altholz anhaften oder beigemischt sind z.B. Baumaterialien.

Tabelle fehlt

Reste von Möbelausstattungen (metallische Teile) können grundsätzlich zum Schadstoffgehalt im Altholz beitragen. Störstoffe lassen sich jedoch im Aufbereitungsverfahren meist relativ einfach durch manuelle Sortierung oder physikalische Verfahren (Magnetabscheidung, Siebung, Sichtung) abtrennen.

Die Gehalte der untersuchten naturbelassenen Resthölzer sind in Tabelle 6 nochmals zusammenfassend dargestellt. Die ermittelten Konzentrationen liegen, soweit Vergleichswerte aus der Literatur vorhanden sind, in dem für naturbelassene Hölzer typischen Bereich.

Auch naturbelassenes Holz weist demnach eine gewisse Grundbelastung auf. Dies rührt zum einen von der ubiquitären Verteilung bestimmter insbesondere auch der im Kapitel 4.2 behandelten persistenten chlororganischen Wirkstoffe her. Zudem sind die Elementarbestandteile der anorganischen Holzschutzmittel z.T. natürliche Spurenelemente von Holz. Zum Vergleich mit den erhaltenen Analyseergebnissen für Resthölzer werden in Tabelle 6 die Grenzwerte für Spurenstoffe in Holzbriketts aus naturbelassenem Holz nach der DIN 51731 „Holzbriketts“ aufgeführt [2]. Holzbriketts, die diese Werte einhalten, gelten (im Hinblick auf den Einsatz als Brennstoff) als „nicht mehr als nur unerheblich mit Fremdstoffen kontaminiert“. Alle im Rahmen dieser Untersuchung beprobten Chargen auch Maximalwerte an naturbelassenem Holz wiesen Werte unterhalb der in DIN 51731 aufgeführten Gehalte auf.

Weiterhin sind auch nicht näher lokalisierbare Einträge von Verunreinigungen durch den Arbeitsvorgang, bei dem das Restholz erzeugt wird z.B. Abrieb von Werkzeugen) und die Lagerung möglich.

LfU- Untersuchung  
Marklzky

Strecker,

OIH 51731

Element	Minimum	Typischer Mittelwert		Maximum Bereich	
Blei	0,05	1.45	2.5	10	-
Cadmium	0,05	0.11	0.18	0,5	-
Chrom	<0,4	0.48	0.7	0.05-20	8
Kupfer	1	1,1	3,1	1-10	5
Nickel	0,28	0.93	2.8	-	-
Quecksilber	<0.04	< 0,04	< 0,04	< 0.03	0,05
Zink	4.9	10.1	52	17	10.50
Zinn	<0.1	0.13	0,17	-	-
Kobalt	0,05	0,1	-	-	-
Arsen	<0.01	0,05	0,18	0,01-0,8	-
Flour	<0.5	1.55	4.5	1-220	-
Chlor	< 100	< 100	< 100	< - 0.03%	300 mg/kg
Bor	<u>1.3</u>	2.74	4.?	1-3	-
tchw~lrl ?	< 200	< 200	< 200	< - 0.05%	800 mg/kg
<u>Titan</u>	<u>1</u>	0.54	1.85	5,8	-

**Tab. 6:** Gehalte von naturbelassenem Holz in mg/kg, Ergebnisse der LfU-Untersuchung, Literaturwerte [3) und zulässige Gehalte an Spurenstoffen für Holzbriketts aus naturbelassenem Holz nach DIN 51731

Die in Kapitel 3 dargestellten Ergebnisse zeigen, dass die Gehalte der untersuchten Resthölzer in den meisten Fällen deutlich unterhalb der Schadstoffkonzentrationen der verschiedenen Altholzfraktionen liegen. Auffallend ist insbesondere, dass der überwiegende Teil der Messwerte der als unbehandelt bezeichneten Fraktion z.T. erheblich über den Werten der naturbelassenen Hölzer liegt.

Eine gewisse erhöhte Grundbelastung gebrauchter naturbelassener Holzprodukte gegenüber ungebrauchtem Restholz lässt sich durch den Eintrag von Verunreinigungen bei der mechanischen Bearbeitung und dem Gebrauch der Holzprodukte vermuten. Der wesentliche Teil der erhöhten Schadstoffbelastung der Fraktion „unbehandelt“ gegenüber den Resthölzern ist jedoch auf behandelte Hölzer zurückzuführen, die - wie bei der Probenahme z.T. auch festgestellt wurde - in der Fraktion „unbehandelt“ enthalten waren.

Dies zeigt sich besonders deutlich bei hohen Einzelwerten, wie sie z.B. für die Parameter Blei, Cadmium und Chlor ermittelt wurden. Jedoch können auch weniger auffällige Werte von ursprünglich hohen Schadstoffkonzentration in den Holzoberflächen herrühren, die durch die Zerkleinerung und Homogenisierung bei der Aufbereitung und Probenahme verdünnt wurden.

Die untersuchten Fenster erwiesen sich als stark mit Blei, Zink und Quecksilber belastetes Sortiment. Auch die Konzentrationen an Kobalt und Titan sind im Vergleich zu den Werten der gemischten behandelten Althölzer hoch. Dieses Ergebnis ist in erster Linie auf den hohen Gehalt an Weißpigmenten in den oft mehrlagigen Lackschichten und die frühere Behandlung mit quecksilberhaltigen Holzschutzmitteln zurückzuführen. Umfangreiche Untersuchungen des Sortiments Fenster von anderer Stelle (11) erbrachten ähnliche Ergebnisse.

Die Analysenergebnisse für die Monocharge „Obstkisten“ hingegen liefert nur für einen Teil der untersuchten anorganischen Parameter typische Werte. So ist bei Gemüsesteigen, die teilweise aus Holzwerkstoffen gefertigt sind, zwar mit erhöhten Gehalten an Chlor zu rechnen, die hohen Blei-, Chrom- und Fluorgehalte sind jedoch eher auf Anteile an anderen mit diesen Stoffen behandelten Hölzern, die offensichtlich in der beprobten Charge enthalten waren, zurückzuführen.

## **4.2 Organische Schadstoffe**

### Pentachlorphenol (PCP)

PCP war in Deutschland bis Anfang der 80er Jahre das am meisten in Holzschutzmitteln eingesetzte Fungizid. Seither wurde es sukzessive durch andere organische oder chlor-organische Wirkstoffe ersetzt. Mit der Pentachlorphenol - Verbotsverordnung vom 12. Dezember 1989 die zwischenzeitlich Teil der Chemikalien-Verbotsverordnung vom 19. Juli 1996 ist, wurde das Herstellen und Inverkehrbringen von PCP verboten. Nach den Regelungen in dieser Verordnung darf Holz, dessen von einer Behandlung erfasste Teile mehr als 5 mg/kg PCP enthalten, außer zur ordnungsgemäßen Abfallbeseitigung, nicht in Verkehr gebracht werden (Anhang zu II) ChemVerbotsV, Abschnitt 151.

Die höchste gemessene Konzentration an PCP beträgt den für naturbelassene Resthölzer untypischen Wert von 2,1 mg/kg. Die restlichen Werte für diese Fraktion liegen deutlich unter 1 ng/kg PCP.

Andere Untersuchungen von **naturbelassenen Hölzern** ergaben ebenfalls PCP-Konzentrationen von deutlich weniger als 1 mg/kg [11].

Die untersuchten **Althölzer** wiesen z.T. erhöhte PCP-Gehalte bis zu einer Maximalkonzentration von 27 mg/kg auf. Auffallend ist, dass die Fraktion unbehandelte Hölzer stärker belastet ist als das gemischte, d.h. unsortierte Altholz. Die Fraktion „unbehandelt“ enthielt größtenteils Verpackungshölzer, d.h. Paletten, Kisten und Steigen. Diese sind inzwischen nur noch mit geringer Wahrscheinlichkeit mit Holzschutzmitteln behandelt.

So zeigt auch die Probe aus der Monocharge „Obstkisten“ keine über der Grundbelastung der Resthölzer liegende Gehalte an PCP. Die erhöhten Gehalte in der Fraktion „unbehandelt“ sind wahrscheinlich auf PCP-behandeltes sonstiges Holz, z.B. Abbruchholz zurückzuführen.

Für die untersuchte Probe aus der Monocharge „Fenster“ wurde ein PCP-Gehalt von 7 mg/kg ermittelt. Die heute anfallenden Altfenster weisen in vielen Fällen eine Behandlung mit PCP auf.

Wird zum Vergleich der analysierten Gehalte o.g. PCP-Grenzwert von 5 mg/kg herangezogen, so ist zu beachten, dass dieser sich nur auf die behandelten Teile bezieht. Die behandelten Teile machen jedoch bei typischen Eindringtiefen PCP-haltiger Holzschutzmittel von wenigen Millimetern nur einen geringen Anteil des Holzquerschnitts aus. Bei einer Beprobung des Holzquerschnitts bzw. von Hackschnitzeln aus zerkleinertem Holz, wie in vorliegender Untersuchung, tritt somit ein starker Verdünnungseffekt auf. Bei einer Beprobung entsprechend der Grenzwertformulierung in der Chemikalien-Verbotsverordnung wäre der Umfang der Grenzwertüberschreitungen deutlich stärker ausgefallen.

### **Polychlorierte Dibenzodioxine-/furane (PCDD-/F)**

Als Haupteintragsquelle für PCDD /F in Altholz wird Pentachlorphenol vermutet. PCP kann herstellungsbedingt neben phenolischen Verunreinigungen auch PCDD-/F mit unterschiedlichen Chlorierungsgraden enthalten. Untersuchungen von PCP auf PCDD-/F ergaben, dass vor allem Detachlordibenzodioxin mit bis zu 2500 mg pro kg PCP gefolgt von Hexachlordibenzodioxin mit bis zu 520 mg pro kg PCP enthalten sind [51].

Das Verteilungsmuster der Kanzerogene und der absolute Gehalt an PCDD / F im PCP variieren jedoch je nach Hersteller und Produktionsjahr des jeweiligen Holzschutzmittels. So ergaben auch die vorliegenden Untersuchungen zwar übereinstimmend mit den Daten aus der Literatur [61], einen Schwerpunkt der Kanzerogenenverteilung bei den hochchlorierten PCDD-/F, eine signifikante Korrelation zwischen dem ermittelten PCP- und dem PCDD-/F-Gehalt der Proben konnte jedoch nicht festgestellt werden.

Aus den vorliegenden Untersuchungsergebnissen ergaben sich, unter der Annahme, dass die gesamten analysierten PCDD aus Verunreinigungen im PCP stammen, Gehalte von bis zu 4000 mg Octachlordibenzodioxin und 680 mg Heptachlordibenzodioxin pro kg PCP. Diese Werte liegen zwar in der Größenordnung der genannten Literaturdaten, weisen jedoch darauf hin, dass weitere Eintragspfade für PCDD / F in Altholz existieren.

Eine weitere mögliche Eintragsquelle für PCDD/-F ist angekohltes Holz, das aus Brandfällen oder aus zur Haltbarmachung angeflamtem Holz stammt.

Die untersuchten naturbelassenen Hölzer enthielten PCDD/-F-Gehalte von im Mittel 0,65 ng TE/kg. Die ermittelten Konzentrationen im Altholz liegen um bis zu drei Größenordnungen höher. Den Maximalgehalt mit 319 ng TE/kg enthielt eine Probe aus der Fraktion „**unbehandelt**“.

Aus der Literatur sind nur wenige Analysedaten über PCDD/-F in Hölzern verfügbar. Eine Untersuchung 1997 ergab für unbehandelte Hölzer eine mittlere Konzentration von 0.5 ng TE/kg und für Bau- und Abbruchholz zwischen 67 und 266 ng TE/kg und bestätigt somit die Größenordnung der erhaltenen Ergebnisse.

### **Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)**

PAK in Altholz stammen im wesentlichen aus mit Teerölen imprägniertem Material. Teeröle wurden zum einen in Form sog. leichter, streichbarer Teerölpräparate, die vor allem im Heim- und Handwerkerbereich eingesetzt werden, angeboten. Zum anderen wurde schweres, d.h. unverdünntes Steinkohlenteeröl im Kesseldruckverfahren zur Imprägnierung von Schwellen und Masten verwendet.

Die „leichten“ Teerölpräparate bestehen zu einem großen Teil aus niedrigsiedenden Teerölfractionen und weisen wesentlich geringere PAK-Gehalte und Einbringmengen als Steinkohlenteeröl auf. Steinkohlenteerbehandelte Sortimente sind aufgrund ihrer Herkunft, Form und des intensiven teerigen Geruchs relativ einfach zu identifizieren.

Insbesondere bei vereinzelt Bahnschwellen aus der Zweitnutzung im Garten- und Landschaftsbau, ist es jedoch durchaus möglich, dass diese sich (evtl. vorzerkleinert) in herkömmlichen Mischfraktionen wieder finden und so auch zu den im Rahmen dieser Untersuchung ermittelten PAK-Gehalten beigetragen haben.

Außerdem können PAK in Altholz durch angekohltes Holz, das bereits als Eintragsquelle für PCDD/F festgestellt wurde, eingetragen werden.

Seit 1991 ist der Einsatz von Teerölen in Holzschutzmitteln und teerölbehandelten Hölzern durch die Teerölverordnung, die inzwischen Bestandteil der Chemikalien-Verbotsverordnung ist (Anhang zu § 1 ChemVerbotsV, Abschnitt 17), eingeschränkt.

In den naturbelassenen Resthölzern wurden PAK-Konzentrationen bis zu 1.0 mg/kg analysiert. Der Maximalgehalt an Benzo-a-pyren, das häufig als Leitsubstanz für die PAK herangezogen wird, beträgt in naturbelassenem Restholz 0,039 mg/kg. Die Fraktion „unbehandelt“ weist im Mittel 11,1 mg/kg PAK (0,29 mg/kg Benzo-a-pyren und maximal 33,3 mg/kg PAK (0,93 mg/kg Benzo-a-pyren) auf. In der Fraktion „behandelt“ wurden PAK-Werte von bis zu 76.6 mg/kg und bis zu 2.3 mg/kg Benzo-a-pyren festgestellt. Die Konzentrationen für das „Altholz gemischt“ liegen zwischen den Werten der sortierten Fraktionen.

Vergleichswerte aus der Literatur sind für naturbelassenes Holz 0,24 mg/kg PAK [1] und für Altholz im Mittel ca. 0,5 mg/kg Benzo-a-pyren [18].

Die höchsten Konzentrationen an PAK wurden in der Probe aus gemischtem Altholz, die Anteile an **Industrieparkett** enthielt (Ergebnis dieser Einzelprobe ist nur im Anhang aufgeführt), gemessen. Der PAK-Gehalt betrug 631,4 mg/kg, der Benze-a-pyren-Gehalt war 44 mg/kg. Dieses Ergebnis verdeutlicht, in welcher Größenordnung die Schadstoffgehalte von beim Gebrauch erheblich verunreinigtem Material liegen können. Das Material fiel bei der Probenahme durch seinen teilweise teerigen Geruch auf und war bereits vom Aufbereiter als stark kontaminiertes Holz ausgewiesen.

### Lindan

Für Lindan existiert bislang kein rechtliches Verwendungsverbot, seine Bedeutung als Insektizid ist in den letzten Jahren jedoch stark zurückgegangen. Die Wirkstoffkonzentration von Lindan im Holzschutzmittel beträgt 0,5 - 1,5 %. PCP wurde im Vergleich dazu zu Anteilen von 4 - 6 % dem Holzschutzmittel zugesetzt.

Entsprechend. ergeben die in Kapitel 3 dargestellten Ergebnisse, dass die Belastung von Altholz mit Lindan deutlich niedriger ca. um Faktor 101 als die PCP-Belastung ist. Nur wenige Werte der untersuchten Althölzer, auch die der behandelten Fraktion, liegen deutlich über den Konzentrationen der naturbelassenen Hölzer von ca. 0,2 mg/kg. Die Lindan-Gehalte in Altholz sind insgesamt als relativ unauffällig zu beurteilen; diese Aussage wird auch durch andere Untersuchungen bestätigt (11).

### Polychlorierte Biphenyle (PCB)

PCB wurden aufgrund ihrer guten technischen Eigenschaften vielfältig eingesetzt. Die Anwendungsbereiche, die für Altholz relevant sein können, sind Weichmacher für Lacke und Klebstoffe. Additive in Kitten und Dichtungsmassen, Trägersubstanzen für Insektizide sowie Imprägnier- und Flammschutzmittel;

Der niedrigste PCB-Gehalt in den naturbelassenen Resthölzern liegt bei 0,0024 mg/kg. Der höchste Wert für PCB wurde für Altholz aus der Fraktion „behandelt“ mit 1,11 mg/kg ermittelt. Somit ergaben sich trotz des insgesamt niedrigen Konzentrationsniveaus von PCB in Holz deutliche Unterschiede in den Größenordnungen der Einzelwerte.

Die stufenweise Zunahme der PCB-Gehalte über die verschiedenen - nach äußeren Kriterien zugeordneten - Altholzfraktionen „unbehandelt“ - „gemischt“ - „behandelt“) weist darauf hin, dass der Eintrag von PCB im wesentlichen durch visuell erkennbare Behandlungen oder Fremdstoffe wie Lacke, Klebstoffe und Dichtungsmassen verursacht wird.

### **4.3 Bewertung der Analyseergebnisse hinsichtlich der Verwertung**

Holzabfälle können stofflich oder energetisch verwertet werden. Die stoffliche Verwertung erfolgt im wesentlichen durch den Einsatz der Holzabfälle zur Herstellung von Holzwerkstoffen. In geringerem Umfang werden Holzabfälle auch zur Kompostierung verwendet oder direkt auf Garten- oder Landwirtschaftsflächen aufgebracht. Die energetische Verwertung von Holzabfällen ist möglich in Kleinf Feuerungsanlagen 11. BImSchV-Anlagen (91). Feuerungsanlagen mit immissionsschutzrechtlicher Genehmigung nach Nr. 1.2 des Anhangs der 4. BImSchV 1101 und Feuerungsanlagen, die nach Nr.1.3 des Anhangs der 4. BImSchV genehmigt sind.

Holzschutzmittelbehandeltes Holz darf nur in Feuerungsanlagen eingesetzt werden, die den Anforderungen der 17. BImSchV (11) einhält.

Neben den genannten Feuerungsanlagen können sich auch Anlagen, die überwiegend dem Zweck der Energieumwandlung dienen, z.B. Zementwerke, für die energetische Verwertung von Holzabfällen eignen.

Auf die Frage nach der Verwertung der beprobten Chargen wurde von den Anlagenbetreibern bzw. dem Anlagenpersonal folgende Wege genannt:

- Inländische Spanplattenindustrie (nur Fraktion „unbehandelt“),
- Italienische Spanplattenindustrie (Fraktion „gemischt“ und Fraktion „behandelt“),
- Feuerungsanlagen im In- und Ausland, Art der Feuerungsanlage wurde nicht näher benannt (alle Fraktionen),
- Zementwerke im In- und Ausland (Fraktion „gemischt“ und Fraktion „behandelt“),
- Kompostierung und landwirtschaftliche Verwertung (alle Fraktionen).

Der mengenmäßig wichtigste Verwertungsweg von Holzabfällen in Bayern (zum Zeitpunkt der Beprobung) war der Export nach Italien zur Verwertung in der Spanplattenindustrie, gefolgt von der energetischen Verwertung in Feuerungsanlagen unterschiedlicher Art.

Zur Beurteilung der Analysenergebnisse werden hinsichtlich der Kompostierung und land-wirtschaftlichen Verwertung die Richtwerte des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF) der „Hinweise zum Aufbringen von Grüngut, Grüngutkompost und Bioabfallkompost auf landwirtschaftlich genutzte Flächen“ (12) herangezogen. Diese sind bezüglich der Schwermetallwerte identisch mit der Richtlinie RAL-UZ 45 und bis zum Inkrafttreten der Bioabfallverwertung in Bayern maßgeblich.

Für die Einordnung der Ergebnisse bezüglich der energetischen Verwertung dient das bayerische Arbeitspapier „Energetische Verwertung von Holzabfällen“ (Stand: September 1997 (13)), das unter Mitwirkung des LfU erstellt wurde. Das Arbeitspapier soll unter Einbeziehung weiterer Praxiserfahrung im Jahre 1998 aktualisiert werden. Für die stoffliche Verwertung von Holzabfällen in der Holzwerkstoffindustrie existieren (abgesehen von den bereits erläuterten Vorgaben der Chemikalien-Verbots-verordnung) keine einheitlichen behördlichen Maßstäbe.

Die Richtwerte des StMELF sind in Tabelle 7 dargestellt.

Anmerkung:

Die Richtwerte des SIMELE für Bioabfallkomposte sind bezogen auf 30 % organischer Substanz in der Trockensubstanz. Holzproben weisen hingegen Glühverluste von 85 % auf. Um den Eintrag von Schadstoffen, in Komposte durch Holzabfälle als Ausgangsmaterial quantitativ abschätzen zu können, mussten die ermittelten Analysewerte für die Holzproben auf einen Glühverlust von 30 % korrespondieren, d.h. mit einem Faktor von ca. 2 bis 200 multipliziert werden. Der Normierungsfaktor lässt ein rechnerisches Maß für den Grad der Anreicherung durch den Abbau organischer Substanz zu. Die Aussagekraft von mit hohen Normierungsfaktoren korrigierten Analysewerten ist jedoch aus verschiedenen Gründen z.B. Multiplikation der statistischen Daten uneinheitlich begrenzt. Eine Normierung der Analysedaten wurde nicht vorgenommen. Für eine qualitative Abschätzung ist der direkte Vergleich ausreichend.

Element Verbindungen	Konzentration
Blei	100 mg/kg
Cadmium	1 mg/kg
Chrom	100 mg/kg
Kupfer	75 mg/kg
Nickel	50 mg/kg
Quecksilber	1 mg/kg
Zink	300 mg/kg
PCCD / F	17 ng f-TE/kg
Aex	100 mg/kg

bezogen auf 30 % in der Trockenmasse  
0,02 mg/kg pro Einzelkongener  
0,12 mg/kg als Summe

Tab. 7: Richtwerte des StMELF für Bioabfallkompost zur Verwertung auf landwirtschaftlich genutzte Flächen

Der Vergleich der Richtwerte in Tabelle 7 mit den Ergebnissen in Kapitel 3 zeigt dass bereits die beprobten Chargen der am geringsten belasteten Altholzfraktion für eine Kompostierung und landwirtschaftliche Verwertung der erzeugten Komposte nicht geeignet sind. Die Schwellenwerte für Komposte für PCDD / F und PCB werden von allen Proben der Fraktion „unbehandelt“, auch ohne Berücksichtigung des Glühverlustes überschritten. Auch bei den Richtwerten für die Schwermetalle sind, bei entsprechender Normierung, Überschreitungen zu erwarten. Des Weiteren enthalten Holzabfälle eine Vielzahl von Elementen und Verbindungen, die bezüglich einer Kompostierung und landwirtschaftlichen Verwertung zwar kritisch zu beurteilen sind, für die jedoch keine Schwellenwerte formuliert sind, wie beispielsweise Chlor, Arsen sowie weitere chlororganische Verbindungen.

Zur Einstufung der ermittelten Schadstoffgehalte in Hinblick auf die energetische Verwertung wird das o.g. Arbeitspapier herangezogen.

In dem Arbeitspapier werden Belastungsgruppen definiert und entsprechende Schwellenwerte vorgegeben. Es werden Feuerungsanlagen genannt, die für den Einsatz von Hölzern einer bestimmten Belastungsgruppe geeignet sind und soweit erforderlich zusätzliche Anforderungen festgelegt.

In Tabelle 8 sind die Analysenwerte (Mittelwerte) für die Fraktion „unbehandelt“ den Schwellenwert für die Belastungsgruppe B1 „Naturbelassenes Holz“ und B2 „Belastetes Altholz“ gegenübergestellt und die Anzahl der Schwellenwert-Überschreitungen angegeben.

Schadstoff	Naturbel. Hölzer	belastetes Holz	Mittelwert	Höchstwert	Anzahl Überschreitungen	
Bor		<18	<30	7	0	4
Arsen	<	0,8	<2	0	3	2
Fluor	<	10	<30	10	12	2
Kupfer	<	5	<20	15,4	4	-
Quecksilber	<	0,08	<0,4	< 0,08	-	
PCB	<	1	<2	2.84	3	3
Teeröle	< 0.05	< 0.1	-	-	3	2
Benzo-a-pyren						
Chlor	<100	-	<300	374,8	8	4

Tabelle 8: Schwellenwerte (in mg/kg) des Arbeitspapiers „Energetische Verwertung von Altholz“. Analysewerte (in mg/kg) und Anzahl der Überschreitung für die Fraktion „unbehandelt“ Probenanzahl: 51

Der Vergleich ergibt, dass alle Holzproben der Fraktion „unbehandelt“ bei einem oder mehreren Parametern die in dem Arbeitspapier festgelegten Schwellenwerte für naturbelassenes Altholz überschreiten. Der Schwellenwert für Chlor von 100 mg/kg wird von allen Proben deutlich überschritten. Die Schwellenwerte der Belastungsgruppe B1 für Blei, Arsen und Quecksilber werden von allen untersuchten Proben der Fraktion „unbehandelt“ unterschritten.

Schadstoff	Mittelwert		Anzahl Überschreitungen		Anzahl Überschreitungen
	Unbehandelte Fraktion	gemischte Fraktion			
Bor	-	-	-	-	-
Arsen	< 2	4,02	4	1,93	2
Fluor	< 30	14,58	-	17,60	1
Kupfer	< 20	23,72	4	16,51	1
Quecksilber	< 0,4	< 0,04	-	0,11	1
PCB	< 2	2,13	4	8,71	8
Teeröle Benzo-a- pyren	< 0,1	0,98	9	1,18	7
Chlor	< 300	817,00	9	614,14	8

Tab. 9: Schwellenwerte (in mg/kg) des Arbeitspapierses „Energetische Verwertung von Altholz“, Analysewerte (in mg/kg) und Anzahl der Überschreitung für die Fraktionen „gemischt“ (Probenanzahl: 9) und „behandelt“ (Probenanzahl: 7)

Der Vergleich der beiden anderen Altholzfraktionen „gemischt“ und „behandelt“ mit den Schwellenwerten der Belastungsgruppe B2 ergibt ein ähnliches Bild, Der Schwellenwert für Teeröle (Benzo-a-pyren wird immer überschritten, die für Chlor und PCB häufig. Die Schwellenwerte für Bor und Fluor werden nur in Einzelfällen, der Schwellenwert für Quecksilber wird in keinem Fall erreicht.

Werden für die Beurteilung der untersuchten Altholzfraktionen hinsichtlich der energetischen Verwertung die Schwellenwerte und Anforderungen des genannten Arbeitspapierses zugrunde gelegt, so ergibt sich:

Der Einsatz der Fraktion „unbehandelt“ in 1. BlmSchV-Anlagen und Anlagen nach Nr.1.2 des Anhangs der 4. BlmSchV kommt aufgrund zu hoher Chlorgehalte bei allen beprobten Chargen und zu hoher Benzo-a-pyren, PCP-, Kupfer- und Fluorgehalte bei einem Teil der beprobten Chargen nicht in Betracht.

Für alle beprobten Chargen der Fraktionen „gemischt“ und „behandelt“ kommt nur ein Einsatz in Feuerungsanlagen nach Nr.1.3 des Anhangs der 4. BlmSchV, welche die vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen - 4, BlmSchV vom 24. Juli 1985 in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. März 1997, BGBl. 1, S.5D4, zuletzt geändert durch Verordnung vom 20. April 1998, BGBl. 1, S.723. einhalten.



- (11) Siebzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionschutzgesetzes (Verordnung über Verbrennungsanlagen für Abfälle und ähnliche brennbare Stoffe - 17. BImSchV ( vom 23. November 1990, BGB. 1, S. 2545.2832)
- (12) Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten: Hinweise zum Aufbringen von Grüngut, Grüngutkompost und Bioabfallkompost auf landwirtschaftlich genutzte Flächen, 1994.
- (13) Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen: Energetische Verwertung von Altholz - Arbeitspapier - Stand September 1997.

## Anhang

1. Charakterisierung der Probematerialien
2. Probenahme
3. Analyseverfahren
4. Einzelergebnisse