

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT
- Umweltchemikalien, Schadstoffwirkungen -

Forschungsbericht 295 65 010/03
UBA-FB 99-081



**Verfahren zur
Holzschutzmittelbestimmung
Statistik der Probenahme und
Analytik der Holzschutzmittel in
Altholz**

von

Dipl. Chem. Dr. Peter Stolz
Dipl. Biol. Jürgen Krooß
Dipl. Biol. Ulrike Thurmann
Dipl. Chem. Ing. Heike Müller

Bremer Umweltinstitut

Institutsleiter
Dr. Peter Stolz

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Diese TEXTE-Veröffentlichung kann bezogen werden bei
Vorauszahlung von DM 20,- (10,26 Euro)
durch Post- bzw. Banküberweisung,
Verrechnungsscheck oder Zahlkarte auf das

Konto Nummer 4327 65 - 104 bei der
Postbank Berlin (BLZ 10010010)
Fa. Werbung und Vertrieb,
Ahornstraße 1-2,
10787 Berlin

Parallel zur Überweisung richten Sie bitte
eine schriftliche Bestellung mit Nennung
der **Texte-Nummer** sowie des **Namens**
und der **Anschrift des Bestellers** an die
Firma Werbung und Vertrieb.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr
für die Richtigkeit, die Genauigkeit und
Vollständigkeit der Angaben sowie für
die Beachtung privater Rechte Dritter.
Die in der Studie geäußerten Ansichten
und Meinungen müssen nicht mit denen des
Herausgebers übereinstimmen.

Herausgeber: Umweltbundesamt
Postfach 33 00 22
14191 Berlin
Tel.: 030/8903-0
Telex: 183 756
Telefax: 030/8903 2285
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet IV 1. 4
Dr. Hartmut Giese

Berlin, Juli 1999

Berichts - Kennblatt

1. Berichtsnummer UBA-FB 99 – 081	2.	3.
4. Titel des Berichts Verfahren zur Holzschutzmittelbestimmung. Statistik der Probenahme und Analytik der Holzschutzmittel in Altholz		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Stolz, Peter; Krooß, Jürgen.; Thurmann, Ulrike.; Müller, Heike		8. Abschlußdatum Februar 1998
		9. Veröffentlichungsdatum
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) Bremer Umweltinstitut Wielandstraße 25 28203 Bremen		10. UFOPLAN – Nr. 29565010 / 03
		11. Seitenzahl 204
		12. Literaturangaben 199
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt, Postfach 33 00 22, 14193 Berlin		13. Tabellen und Diagramme 54
		14. Abbildungen 33
15. Zusätzliche Angaben		
16. Kurzfassung <p>Entwickelt wurde ein standardisiertes, validiertes und statistisch abgesichertes Verfahren zur Probenahme an Einzelprüflingen und Schreddersortimenten inhomogener Altholzmischsortimente zur analytischen Untersuchung auf ausgewählte Holzschutzmittelwirkstoffe am Beispiel eines inhomogenen Bauabfallmischsortiments. Mit diesem Verfahren kann eine gegebene Behandlung sicher nachgewiesen werden. Die Analytik für 80 untersuchte Wirkstoffkomponenten wurde validiert und statistisch abgesichert. Mit dem entwickelten Probenahmeverfahren ist die Ermittlung einer durchschnittlichen Holzschutzmittelbelastung über eine standardisierte Probenahme an Einzelprüflingen und Schreddersortimenten möglich. Für einen qualitativen Vergleich entsprechender Verfahren wurden die Wirkstoffgehalte aus der Summe der Oberflächen-Einzelwerte mit denen der geschredderten Untersortimente verglichen.</p> <p>Zur Erfassung und Beurteilung von Belastungspotentialen inhomogener Altholzmischsortimenten sind unabhängig von deren Zusammensetzung Belastungsniveaus erarbeitet worden.</p> <p>Differenziert wird zwischen dem Konzentrationsniveau I mit Schutzmittelgehalten entsprechend unbehandelter bzw. naturbelassener Hölzer, dem Niveau II mit Gehalten, die oberhalb überlicher Gehalte naturbelassener Hölzer liegen und dem Niveau III mit entsprechend behandelten Hölzern unter Berücksichtigung von Auswaschungs- und Ausgasungsprozessen.</p>		
17. Schlagwörter <p>Holzabfälle, Holzschutzmittel, Verfahren zur Probenahme, Statistik, Wirkstoffverteilung, Altholzanalysenverfahren, Analytische Qualitätssicherung, Holzschutzmittelgehalte unbehandelter Hölzer, Belastungsniveaus, Altholzentorgung</p>		
18. Preis	19.	20.

1. Report No. UBA-FB 99 – 081	2.	3.
4. Report Title Determination procedure for wood preservatives. Statistics of sampling and analysis in waste wood.		
5. Author(s), Family Name(s), First Name(s) Stolz, Peter; Krooss, Juergen; Thurmann, Ulrike; Müller, Heike		8. Report Date February 1998
		9. Publication Date
6. Performing Organisation (Name, Adress) Bremer Umweltinstitut Wielandstr. 25 D-28203 Bremen		10. UFOPLAN – Ref. No. 29565010 / 03
		11. No. of Pages 204
		12. No. of References 199
7. Sponsoring Agency (Name, Adress) Umweltbundesamt, PO-Box 33 00 22, D-14193 Berlin		13. No. of Tables, Diagramms 54
		14. No. of Figures 33
15. Supplementary Notes		
16. Abstract A standardized and validated procedure was established for the sampling of single wood pieces and for the analytical investigation of selected preservative agents in single wood pieces and shredded wood chips. The investigations were carried out with an authentic reclaimed inhomogenic wood assortment from house demolition obtained from a recycling plant. A safe quantitative determination of 80 components is possible with the proposed method. We compared the quantities of the preservative agents from the single wood with the preservative agent contents of the sorted and shredded wood chips. We developed a concentration-level model for the general assessment of pollution in wood wastes. It includes three concentration ranges for naturelike, contaminated and treated wood. The first threshold value shows the concentration of naturelike wood. The second threshold value separates the categories of treated and contaminated wood was derived from published data under consideration of washout and evaporation processes.		
17. Keywords waste wood, wood.preservative agents, determination procedure, statistics, preservative agent distribution, analytical procedure, analytical quality control, contents of naturelike waste wood, concentration levels, waste wood disposal		
18. Price	19.	20.

Inhalt

1	Einleitung/Aufgabenstellung	1
2	Ausgangssituation	4
2.1	Begriffsdefinitionen	4
2.2	Holzschutzmittel	5
3	Verfahren zur Probenahme und Bestimmung von Holzschutz-	
	mitteln in Holz.....	6
3.1	Anforderungen an das Verfahren	6
3.2	Probenahme	10
3.2.1	Einzelprüflinge	16
3.2.1.1	Inhomogenität der Wirkstoffverteilung	16
3.2.1.2	Festlegung der Probenahmtiefe.....	16
3.2.1.3	Festlegung des Verfahrens.....	19
3.2.2	Schreddergut.....	20
3.2.2.1	Inhomogenität der Wirkstoffverteilung	20
3.2.2.2	Festlegung der Probengröße (zur Homogenisierung)	21
3.2.2.3	Festlegung des Verfahrens zur Schreddergutuntersuchung.....	21
3.2.3	Festlegung des Gesamtverfahrens zur Probenahme	22
3.3	Analytik von HSM im Holz	24
3.3.1	Sachstand.....	24
3.3.1.1	Anorganische Wirkstoffe.....	25
3.3.1.1.1	Aufschlußverfahren	25
3.3.1.2	Organische Wirkstoffe.....	28
3.3.2	Auswahl der Wirkstoffe.....	29
3.3.3	Auswahl der Analytikverfahren.....	34
3.3.3.1	Qualitativer Nachweis	34
3.3.3.2	Schnellerkennungsverfahren	35

3.3.3.3	Quantitativer Nachweis	38
3.3.4	Festlegung des Gesamtverfahrens zur Analytik	41
3.3.4.1	Übersicht der Analysenparameter und Verfahren	44
3.4	Statistik.....	45
3.4.1	Allgemeine Statistik	45
3.4.2	Spezielle Statistik „Bootstrap-Verfahren“	47
3.5	Analytische Qualitätssicherung.....	47
3.5.1	Altholzanalysenverfahren.....	50
3.5.2	Mehrfachbestimmung zur Überprüfung des Analysenverfahrens.....	50
3.6	Sortimentsauswahl für eigene Untersuchungen	51
4	Experimenteller Teil.....	52
4.1	Zusammenstellung des Sortiments	52
4.2	Probenahmeprocedere	53
4.2.1	Einzelprüflinge	53
4.2.1.1	Vorversuche.....	53
4.2.1.1.1	Entwicklung eines Probenahmegerätes	53
4.2.1.2	Validierung und Optimierung des Probenahmegerätes	53
4.2.1.2.1	Optimierung des Probenahmegerätes.....	54
4.2.1.3	Wirkstoffverteilung am Einzelprüfling	54
4.2.1.4	Materialmenge	55
4.2.1.5	Statistik.....	55
4.2.1.5.1	Minimierung der Materialmenge.....	56
4.2.1.6	Probenahme am Einzelprüfling	57
4.2.2	Gesamtsortiment	57
4.2.2.1	Vorsortierung.....	58
4.2.2.2	Produktion von Schredderfraktionen	59
4.2.2.3	Probenahme von Schredderfraktion.....	60
4.2.3	Vergleich Einzelprüflingschredderfraktion	63
4.3	Analytik	63

4.4	Sonderverfahren.....	63
4.4.1	EOX-Bestimmung.....	63
4.4.2	Probenabgleich.....	64
5	Ergebnisse	65
5.1	Untersuchung von Einzelprüflingen.....	65
5.1.1	Wirkstoffverteilung organischer Holzschutzmittel eines Einzelprüflings	65
5.1.2	Wirkstoffverteilung anorganischer Holzschutzmittel eines Einzelprüflings.	65
5.1.3	Wirkstoffgehalt der Einzelprüflinge des unbehandelten Teilsortimentes.....	66
5.1.4	Wirkstoffgehalte der Einzelprüflinge Gesamtsortiment.....	74
5.1.5	Vergleich Oberflächen-/Querschnittsbeprobung von Einzelprüflingen	79
5.2	Untersuchung von Schreddergut.....	79
5.2.1	Wirkstoff-/Elementgehalte der untersuchten Teilsortimente	79
5.2.2	Wirkstoff-/Elementgehalte der untersuchten Teilsortimente	80
5.3	Vergleich Einzelprüfling-Schreddergut	81
5.4	Sonderverfahren.....	81
5.4.1	EOX-Bestimmung.....	81
5.4.2	Proben-Abgleich	82
6	Diskussion.....	83
6.1	Im Vorhaben ermittelte Ergebnisse.....	84
6.2	Vergleich mit Literatur	89
6.2.1	Gehalte unbehandelter Hölzer.....	89
6.2.2	Einteilung in Belastungsniveaus.....	91
6.3	Diskussion der Relevanz der Ergebnisse für die Altholzentsorgung.....	92
6.3.1	Einzelbeprobung	96
6.3.2	Hackschnitzel.....	97
6.4	Vergleich Schreddergutanalytik mit Analytik am Einzelprüfling	98
7	Zusammenfassung.....	103
8	Literatur.....	106

9	Anhang	132
9.1	Statistische Begriffe und Definitionen.....	132
9.2	Arbeitsvorschriften und Bestimmungsgrenzen für die angewandten Verfahren.....	133
9.2.1	Homogenisierung des Probenmaterials	133
9.2.2	Schwermetalle und Bor	133
9.2.3	Fluorid	134
9.2.4	Organische Verbindungen	134
9.2.4.1	Organochlorpestizide (OC), Polycyclische aromatische Kohlenwas- serstoffe (PAK) und polychlorierte Naphthaline (PCN).....	134
9.2.4.2	Organophosphorpestizide und andere Pestizide (Carbamate, Triazole, Furmecyclox)	137
9.2.4.3	Pyrethroide	137
9.3	Ergebnisse.....	139
9.3.1	Vorversuche.....	139
9.3.1.1.1	Wirkstoffverteilung am Einzelprüfling	139
9.3.1.1.2	Fluorid	140
9.3.1.2	EOX-Bestimmung.....	141
9.3.1.2.1	Methodenvergleich.....	141
9.3.2	Ergebnisse des Probenabgleichs.....	143
9.3.3	Hauptuntersuchung	144
9.3.3.1	Einzelprüflinge	144
9.3.3.1.1	Gehalte an As, B, Cd, Cr, Cu, F, Hg, Pb, Sn und Zn, Carbamaten, OP, Pyrethroiden, Furmecyclox und Triazolen im Einzelprüfling	151
9.3.3.1.2	Gehalte an Organochlorpestizide, PAK, PCN und PCB im Einzelprüf- ling	156
9.3.3.1.3	Spannweiten der Gehalte an As, Cd, Cr, F, Hg, Pb, Sn, Zn, TCP und Lindan.....	166
9.3.3.2	Vergleich Einzelprüfling mit Schredderuntersortimenten.....	172
9.3.3.2.1	Vergleich der Wirkstoff-Elementgehalte	172

9.4	Literaturrecherche.....	173
9.4.1	Unbehandelte Hölzer.....	173
9.4.1.1	Anorganische Verbindungen.....	173
9.4.1.1.1	Gehalte anorganischer Holzschutzmittel-Verbindungen in unbehandeltem Holz	173
9.4.1.2	Organische Verbindungen	180
9.4.1.2.1	Gehalte organischen Holzschutzmittel-Verbindungen in unbehandeltem Holz	180
9.4.2	Behandelte Hölzer.....	184
9.4.2.1	Anorganische Verbindungen.....	184
9.4.2.1.1	Gehalte anorganischer Holzschutzmittel-Verbindungen in behandeltem Holz	184
9.4.2.2	Organische Verbindungen	193
9.4.2.2.1	Gehalte organischer Holzschutzmittel-Verbindungen in behandeltem Holz	193
9.4.2.2.2	Eindringtiefen organischer Holzschutzmittel-Verbindungen	204
9.4.2.2.3	Eindringtiefen organischer HSM-Verbindungen.....	204

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Nichtholzbestandteile in Althölzern (nach LUA NRW 1997)	4
Tabelle 2:	Probenahme aus Holz und Holzwerkstoffen.....	15
Tabelle 3:	Fehlerquellen bei der Schwermetall-Spurenanalytik.....	25
Tabelle 4:	Analysenverfahren für anorganische Wirkstoffe bzw. Elemente.....	26
Tabelle 5:	DIN-Vorschriften zur Schwermetall/Elementanalytik.....	27
Tabelle 6:	Analysenverfahren organischer Wirkstoffe.....	28
Tabelle 7:	16 PAK's gemäß US EPA-610.....	29
Tabelle 8:	PCB-Indikatorkongenere nach Ballschmiter (1980)	29
Tabelle 9:	Überblick über die häufigsten und wichtigsten Holzschutzmittelwirkstoffe.....	32
Tabelle 10:	Im Rahmen dieses Vorhabens geprüfte Wirkstoffe/Elemente.....	33
Tabelle 11:	Qualitativer Nachweis von Holzschutzmittelwirkstoffen	35
Tabelle 12:	Anforderungen an Schnelltestmethoden.....	36
Tabelle 13:	Schnellerkennungsverfahren zur Ermittlung von Holzschutzmitteln in Holz und Holzwerkstoffen.....	37
Tabelle 14:	Analysenmethoden für Recyclingholz (nach LUA NRW 1997)	38
Tabelle 15:	Untersuchungsmethoden für anorganischen Schutzmittel in Holz- und Holzwerkstoffen.....	39
Tabelle 16:	Untersuchungsmethoden für organischen Schutzmittel in Holz und Holzwerkstoffen.....	40
Tabelle 17:	Im Rahmen des Forschungsvorhabens angewandte Analysenverfahren.....	43
Tabelle 18:	Analytische Qualitätssicherung zu den Altholzanalysenverfahren.....	50
Tabelle 19:	Anzahl der benötigten Proben mit vorgegebener Genauigkeitsforderung ...	56
Tabelle 20:	Inhomogenität der Wirkstoffverteilung organischer Holzschutzmittel eines Einzelprüflings.....	65
Tabelle 21:	Inhomogenität der Wirkstoffverteilung anorganischer Holzschutzmittel eines Einzelprüflings.....	66

Tabelle 22: Wirkstoff-/Element-Gehalte naturbelassener Hölzer aus einem inhomogenen Altholzmischsortiment.....	67
Tabelle 23: Ergebniszusammenfassung	75
Tabelle 24: Vergleich Oberflächen-/Querschnittsbeprobungen von ausgewählten Einzelprüflingen	79
Tabelle 25: Wirkstoff-/Elementgehalte der geschredderten Teilsortimente.....	80
Tabelle 26: EOX-Gehalte (mg/kg) in Abhängigkeit vom Extraktionsmittel.....	81
Tabelle 27: Zusammenstellung des hier untersuchten Altholzsortimentes nach ausgesuchten Belastungsarten (n = 117)	86
Tabelle 28: Richtwertvorschläge des Bremer Umweltinstituts für die stoffliche Verwertung von Alt- und Resthölzern.....	95
Tabelle 29: Vergleich der Wirkstoffgehalte aus der Summe der Oberflächenproben-Einzelwerte mit dem geschredderten Untersortiment	102
Tabelle A 1: Bestimmungsgrenzen (mg/kg Holz) ausgewählter Elemente (ICP/MS).....	133
Tabelle A 2: Bestimmungsgrenzen (mg/kg Holz) des Analysenverfahrens von PCN, Organochlorpestiziden, PAK und Chlornaphthalinen und PCB (GC/MS).....	136
Tabelle A 3: Bestimmungsgrenzen (mg/kg Holz) des Analysenverfahrens von Organophosphorpestiziden (Chlorpyrifos, Parathionethyl, Parathionmethyl, Phoxim), Carbamaten (Propoxur, IPBC), Triazolen (Propiconazol, Tebuconazol) und Fumecyclohexin (GC/MS)	137
Tabelle A 4: Bestimmungsgrenzen (mg/kg Holz) des Analysenverfahrens für Cyfluthrin, Cypermethrin, Deltamethrin und Permethrin (GC/ECD)	138
Tabelle A 5: Pentachlorphenol (PCP) und Lindan	139
Tabelle A 6: Fluorid	140
Tabelle A 7: Berechneter Cl-Gehalt pro g Gesamtmolekül PCP, Lindan (gamma-HCH) und 2,3,4,6-TCP, 1- und 2-Chlornaphthalin, 1,2-, 1,4-; 1,5-; 1,8- und 2,3-Dichlornaphthalin, alpha, beta-, delta und epsilon-HCH...	141

Tabelle A 8:	Vergleich zwischen gefundenem und berechnetem EOX-Wert	142
Tabelle A 9:	Abgleich der Analytik mit standardisiertem Probenmaterial. Pyrethroid-Gehalte (Cypermethrin, Deltamethrin und Permethrin) standardisierter Fichten- und Kiefernholzproben.....	143
Tabelle A 10:	Allgemeine Angaben zu den untersuchten Einzelprüflingen	144
Tabelle A 11:	Oberflächen und Volumen des Teilsortiments unbehandelte Hölzer.....	147
Tabelle A 12:	Oberflächen und Volumen des Teilsortiments organisch belastete Hölzer	148
Tabelle A 13:	Oberflächen und Volumen des Teilsortiments anorganisch belastete Hölzer	149
Tabelle A 14:	Oberflächen und Volumen des Teilsortiments Hölzer mit Farbanstrich	150
Tabelle A 15:	Gehalte an As, B, Cd, Cr, Cu, F, Hg, Pb, Sn und Zn, Carbamaten, OP, Pyrethroiden, Furmecycloz und Triazolen im Einzelprüfling	151
Tabelle A 16:	Gehalte an Organochlorpestizide, PAK, PCN und PCB im Einzelprüfling.....	156
Tabelle A 17:	Bestimmung des Feuchtegehaltes der Einzelprüflinge.....	170
Tabelle A 18:	Trockengewichtsbestimmung der Untersortimente.....	171
Tabelle A 20:	Gehalte anorganischer Holzschutzmittel-Verbindungen in unbehandeltem Holz.....	173
Tabelle A 21:	Gehalte organischen Holzschutzmittel-Verbindungen in unbehandeltem Holz.....	180
Tabelle A 22:	Gehalte anorganischer Holzschutzmittel-Verbindungen in behandeltem Holz.....	184
Tabelle A 23:	Eindringtiefen anorganischer Holzschutzmittel-Verbindungen.....	192
Tabelle A 24:	Gehalte organischer Holzschutzmittel-Verbindungen in behandeltem Holz	193
Tabelle A 25:	Eindringtiefen organischer HSM-Verbindungen.....	204

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Probenformen.....	14
Abbildung 2: Kumulative Darstellung der prozentualen PCP-Anteile	18
Abbildung 3: Kumulative Darstellung der prozentualen Lindan-Anteile.....	18
Abbildung 4: Probenahmeprocedure zur Untersuchung eines inhomogenen Altholzgemisches.....	23
Abbildung 5: Übersicht der Analysenparameter und Verfahren	44
Abbildung 6: Ablaufplan Vorsortierung und Zerkleinerung des Altholzsortimentes	58
Abbildung 7: Vergleich der aus Oberflächenuntersuchungen ermittelten Wirkstoff- Elementgehalte mit den durch Schreddern der Untersortimente im Ho- mogenat ermittelten Gehalte und Mengen	62
Abbildung 8: Arsen-Gehalte in naturbelassenen Hölzern (n=25).....	68
Abbildung 9: Bor-Gehalte in naturbelassenen Hölzern (n=25).....	68
Abbildung 10: Cadmium-Gehalte in naturbelassenen Hölzern (n=25).....	69
Abbildung 11: Chrom-Gehalte in naturbelassenen Hölzern (n=25)	69
Abbildung 12: Kupfer-Gehalte in naturbelassenen Hölzern (n=25)	70
Abbildung 13: Fluorid-Gehalte in naturbelassenen Hölzern (n=24).....	70
Abbildung 14: Blei-Gehalte in naturbelassenen Hölzern (n=25).....	71
Abbildung 15: Zinn-Gehalte in naturbelassenen Hölzern (n=25).....	71
Abbildung 16: Zink-Gehalte in naturbelassenen Hölzern (n=24).....	72
Abbildung 17: PAK-Gehalte [Summe 16 PAK nach EPA] in naturbelassenen Hölzern (n=24)	72
Abbildung 18: PCP-Gehalte in naturbelassenen Hölzern (n=25).....	73
Abbildung 19: 2,3,4,6-TCP-Gehalte in naturbelassenen Hölzern (n=25).....	73
Abbildung 20: Lindan-Gehalte in naturbelassenen Hölzern (n=25)	74
Abbildung 21: Spannweite der Bor-Gehalte (m/kg) im untersuchtem Altholz- mischsortiment.....	77
Abbildung 22: Spannweite der Kupfer-Gehalte (mg/kg) im untersuchtem Altholz- mischsortiment.....	77

Abbildung 23: Spannweite der Gehalte an 16 PAK nach EPA (mg/kg) im untersuchtem Altholzsortiment.....	78
Abbildung 24: Spannweite der PCP-Gehalte (mg/kg) im untersuchtem Altholzsortiment.....	78
Abbildung 25: Einteilung von Altholzsortimenten in Belastungsniveaus	94
Abbildung A 1: Spannweite der Arsen-Gehalte des untersuchten Altholzsortiments.....	166
Abbildung A 2: Spannweite der Cadmium-Gehalte des untersuchten Altholzsortiments.....	166
Abbildung A 3: Spannweite der Chrom-Gehalte des untersuchten Altholzsortiments.....	167
Abbildung A 4: Spannweite der Fluorid-Gehalte des untersuchten Altholzsortiments.....	167
Abbildung A 5: Spannweite der Blei-Gehalte des untersuchten Altholzsortiments.....	168
Abbildung A 6: Spannweite der Zinn-Gehalte des untersuchten Altholzsortiments.....	168
Abbildung A 7: Spannweite der Zink-Gehalte des untersuchten Altholzsortiments.....	169
Abbildung A 8: Spannweite der TCP-Gehalte des untersuchten Altholzsortiments.....	169

Abkürzungsverzeichnis

≤	kleiner gleich
<	kleiner
AAS	Atomabsorptions-Spektrometrie
AES	Atomemissions-Spektroskopie
ASMW	Amt für Standardisierung, Meßwesen und Warenprüfung der ehemaligen DDR
BEB	Bremer Entsorgungsbetriebe
BfH	Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft
BG	Bestimmungsgrenze
BGA	Bundesgesundheitsamt
BImSchV	Bundesimmissionsschutzverordnung
Bor	reines Borsalz, nicht fixierend
Carbolineum	siehe T-Präp.
CF	Chrom-Fluor-Salz
CFA	Chrom-Fluor-Arsen-Salz
CFB	Chrom-Fluor-Bor-Salz
Chlororg. WS	chlororganische Wirkstoffe
CK	Chrom-Kupfer-Salz
CKA	Chrom-Kupfer-Arsen-Salz
CKB	Chrom-Kupfer-Bor-Salz
CKF	Chrom-Kupfer-Fluor-Salz
CO ₂	Kohlendioxid
Cu-Kompl.	Kupfer-Komplexverbindungen. (z.B. Cu-HDO)
d	Tage
DAD	Diodenarraydetektor
DC	Dünnschichtchromatographie
DDD	Dichlor-diphenyl-dichlorethan
DDE	Dichlor-diphenyl-dichlorethylen
DDT	Dichlor-diphenyl-trichlorethan
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft

dgl	dergleichen
DGfH	Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e.V.
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
DIN	Deutsche Industrienorm
ECD	Elektroneneinfangdetektor (Elektron Capture Detector)
EN	Europäische Norm
EOX	extrahierbare organisch gebundene Halogene (Chlor, Brom, Jod)
EPA	Environmental Protection Agency (USA)
EVU	Energieversorgungsunternehmen
F + E	Forschung und Entwicklung
FID	Flammenionisationsdetektor
FLD	Fluoreszenzdetektor
FPD	Flammenphotometerdetektor
GC	Gaschromatograph
GC/ECD	Gaschromatograph/Elektroneneinfangdetektor
GC/MS	Gaschromatograph/Massenspektrometer
GefStoffV	Gefahrstoff-Verordnung
GPC	Gelpermeations-Chromatographie
HDO	Cyclohexyldioxydiazoniumoxid
HF	Hydrogenfluorid
HgCl ₂	Quecksilberchlorid (Sublimat)
HPLC	High Pressure Liquid Chromatography
HSM	Holzschutzmittel
ICP	Inductively Coupled Plasma
IHG	Interessengemeinschaft der Holzschutzmittelgeschädigten
IPBC	Troysan Polyphase
kg	Kilogramm
KrW-/AbfG	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz
Kyanisierung	Holzschutzmittelbehandlung mit Quecksilberchlorid
LAGA	Länderarbeitsgemeinschaft Abfall
LM	Lösemittel

LUA	Landesumweltamt
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
MDF	Mitteldichte Faserplatten
mg	Milligramm = 1/1000 Gramm
MSD / MS	Massenselektiver Detektor
MVA	Müllverbrennungsanlage
NaF	Natriumfluorid
OES	Optische Emissionsspektrometrie
org. Quecksilberverb.	Als org. Quecksilberverbindungen wurden in HSM Phenyl-quecksilber-Verbindungen eingesetzt
org. WS	organische Wirkstoffe bzw. Wirkstoffverbindungen
PAK	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PCN	Polychlorierte Naphthaline
PCN	Polychlorierte Chlornaphthaline
PCP	Pentachlorphenol
PCP-V	Pentachlorphenol-Verbotsverordnung
PND	Stickstoff-Phosphor-selektiver Detektor
ppm	parts per million oder mg/kg
PROBS	Abfalldeponie- <u>Pr</u> obenehmer mit <u>S</u> chnelltest, entwickelt von der Daimler-Benz Aerospace AG für die BEB
RAB	Recyclinganlage Bremen
RAL	Deutsches Institut für Gütesicherung und Kennzeichnung (ehem. Reichsausschuß für Lieferbedingungen)
SC	Säulenchromatographie
SF	Silikofluorid
SM	Schwermetalle
STÖ	reines Steinkohleteeröl mit hohem Anteil höher siedender Verbindungen. Keine Zusätze anderer Wirkstoffen.
t	Tonnen
TA-Abfall	Technische Anleitung Abfall
TASI	Technische Anleitung Siedlungsabfall

TBTB	Tributylzinnbenzoat
TBTN	Tributylzinnnaphtenat
TBTO	Tributylzinnoxid
TESH	Triethylsulfoniumoxid
THF	Tetrahydrofuran
TID	Thermoionischer Detektor
T-Präp.	Teeröle mit hauptsächlich niedrig siedenden Verbindungen, die sich bei Zimmertemperatur verarbeiten lassen. Auch als „Carbolineum“ bezeichnet. Zusatz von chlororganischen Verbindungen möglich.
UBA	Umweltbundesamt
UMK	Umweltministerkonferenz
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
Xyligen K	Kalium HDO (ausschließlich zur Holzschutzbehandlung von V 100 G Spanplatten eingesetzt)

Danksagung

Zum Gelingen dieses Vorhabens haben neben den Mitarbeitern/innen des Bremer Umweltinstituts viele Personen beigetragen. Deren Diskussionsbereitschaft, konstruktive Kritik oder praktische Hilfen haben uns sehr geholfen. Bei folgenden Personen möchten wir uns hiermit besonders bedanken:

Barbara Bleckwedel	Bremer Entsorgungs Betriebe
Martin Duve	Indikator Wuppertal
Günter Ellmers	Recycling Anlage Bremen
Petra Franke	Bremer Entsorgungs Betriebe
Dr. Hartmut Giese	Umweltbundesamt Berlin
Werner Jorzick	Bremer Entsorgungs Betriebe
Prof. Dr. Gerhard Matz	MOBILAB Hamburg
Prof. Dr. Rolf Dieter Peek	Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Institut für Holzbiologie und Holzschutz, Hamburg (BfH)
Dr. André Peylo	Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Institut für Holzbiologie und Holzschutz, Hamburg (BfH)
Sabine Riemer	Bremer Entsorgungs Betriebe

Dr. Hans-Dieter Schenke	Umweltbundesamt
Achim Schmottlach	Indikator Wuppertal
Dr. Detlef Spuziak-Salzenberg	Bremer Entsorgungs Betriebe
Birgit Topeit	Bremer Entsorgungs Betriebe
Dr. Angelika Voß	Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Institut für Holzbiologie und Holzschutz, Hamburg (BfH)
Prof. Dr. Hubert Willeitner	Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Institut für Holzbiologie und Holzschutz, Hamburg (BfH)
Werner Wosniok	Universität Bremen, Institut für Statistik

1 Einleitung/Aufgabenstellung

Holz ist als nachwachsender, biologisch abbaubarer und in seiner Erzeugung positiv auf die CO₂-Bilanz wirkender Rohstoff von großer ökologischer Bedeutung. Die Vielseitigkeit von Holz zeigt sich nicht nur in den entsprechenden Verwendungsmöglichkeiten als Baustoff und Konstruktionsmaterial, sondern auch in seiner Bedeutung bzw. Nutzbarkeit als Primärenergieträger. Die herausragende Bedeutung des Gesamtökotopes Wald für Mensch und Natur soll hier nur am Rande erwähnt werden.

Die Behandlung von Holz mit bioziden Wirkstoffen führt zu einer Verschlechterung der ökologischen Eigenschaften. Holzschutzmittelwirkstoffe zeichnen sich im allgemeinen durch ein relativ breites Wirkungsspektrum und eine hohe Persistenz aus, da sie das Holz vor einer Vielzahl unterschiedlicher Organismen möglichst lange schützen sollen. Aufgrund dieser Stoffeigenschaften kommt diesen Bioziden ein besonderes Gefahrenpotential zu, sobald sie in die Umwelt gelangen.

Holzschutzmittel können während Herstellung, Transport und Nutzung Menschen und Natur schädigen. Aus dem Einsatz bestimmter Wirkstoffe ergeben sich auch Probleme bei der Entsorgung. Hier sind zum Beispiel Pentachlorphenol (PCP), sowie Arsen- und chromathaltige Schutzmittel zu nennen, die zu Problemen bei der Verbrennung von behandelten Hölzern führen können. Die durch diese und andere Stoffe hervorgerufenen Umweltbelastungen haben zu einem generellen Verbrennungsverbot für schutzmittelbehandelte Hölzer in Kleinf Feuerungsanlagen geführt.

Die eigentliche Schwierigkeit liegt dabei weniger in der Entsorgung von Hölzern, deren Belastung erfaßt ist. Vielmehr schafft die Tatsache Probleme, daß Althölzer häufig in großen, unsortierten Mengen mit unterschiedlichen Wirkstoffgehalten oder auch unbehandelt anfallen. Ein geeignetes Verfahren zur Erfassung der Belastungen von Hölzern aus solchen Mischsortimenten existiert bisher nicht. Naturbelassenes Holz ist in bezug auf die Entsorgung als wenig problematisch zu bezeichnen. Für derartige, unbehandelte Holzabfälle ist eine stoffliche Verwertung sinnvoll, wie z.B. das anteilige Einbringen sol-

cher Hölzer in die Spanplattenproduktion. Durch die Behandlung oder Kontamination mit Holzschutzmitteln oder anderen Holzbehandlungsmitteln entsteht häufig ein in bezug auf die Entsorgung problematischer Schadstoffeintrag. Für die Entsorgung stark schutzmittelhaltiger Hölzer scheint sich zur Zeit die thermische Verwertung als bevorzugte Entsorgungsstrategie abzuzeichnen.

Zur Zeit stehen nach Beendigung der Nutzungsphase in vermehrten Maße mit Schutzmitteln belastete Hölzer zur Entsorgung an. Da für naturbelassene Hölzer andere Entsorgungswege vorgesehen sind als für holzschutzmittelhaltige Hölzer, bedarf es geeigneter Verfahren zur ihrer sicheren Unterscheidung. Die Schutzmittel- bzw. Wirkstoffgehalte in behandelten Hölzern können je nach Einbringungsart und Intensität unterschiedliche Höhe aufweisen. Die eingebrachten Mengen können je nach Art des Mittels und der Nutzung durch Auswaschungs- oder Ausgasungsprozesse unterschiedlich stark verringert worden sein. Nach der Nutzungsphase können somit Materialien mit sehr unterschiedlichen Gehalten an Holzschutzmittelwirkstoffen vorliegen.

Mit dem Inkrafttreten des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) und den Anforderungen der TA-Siedlungsabfall wird als Schwerpunkt Getrennthaltung und Verwertung von Holzabfällen gefordert. Bei der Betrachtung der vorliegenden Problematik ist insbesondere dem Vermischungs- bzw. Verdünnungsverbot Sorge zu tragen. Dieses Vermischungsverbot, welches im KrW-/AbfG formuliert ist, besagt, daß um eine sachgerechte Verwertung bzw. Entsorgung von Alt- und Restholz zu gewährleisten, es verboten ist, durch Vermischung mit geringer belasteten oder unbelasteten Hölzern die Entsorgung zu beeinflussen.

Somit ergibt sich die Notwendigkeit, die Umsetzbarkeit der Forderungen des KrW-/AbfG durch entsprechende Probenahme- und Analytikverfahren zu gewährleisten. Eine Befragung von Mitgliedsfirmen des Bundesverbandes der Gebrauchtholzaufarbeiter und -verwerter und des Bundesverbandes Sekundärrohstoffe und Entsorgung e.V. zur zukünftigen Situation der Gebraucht- und Restholzverwertung unterstreicht das. U.a. wur-

de die analytische Schnellerkennung zur gezielten Aussortierung belasteter Chargen für erforderlich gehalten.

Während für den Bereich der Probenahme und Analytik zur Bestimmung der Eindringtiefe von Holzschutzmitteln in Bauhölzern zur Prüfung ausreichender Schutzwirkung ältere DIN-Vorschriften existieren, liegen zur Zeit jedoch noch keine normierten Verfahren zur Probenahme und Analytik von Schadstoffen in belasteten Alt- und Resthölzern vor.

Eine HSM-Behandlung oder Belastung ist nicht sicher mit bloßem Auge zu erkennen, zur Identifizierung und Quantifizierung ist eine analytische Untersuchung erforderlich. Bei inhomogenen Altholzmischsortimenten, wie z.B. Baurestabfallsortieranlagen, existiert keine Möglichkeit der Identifizierung möglicher HSM-Belastungen aufgrund der Herkunft wie bei Monosortimenten von z.B. Bahnschwellen oder Telegraphenmasten. Für die Beprobung von Einzelprüflingen ist daher ein standardisiertes reproduzierbares Probenahmeverfahren zu entwickeln, mithilfe dessen aus möglichst einem Einzelprüfling eine repräsentative Laborprobe gewinnbar ist, durch deren analytische Untersuchung eine sichere Aussage möglich ist, ob dieser Einzelprüfling als naturbelassen, kontaminiert oder behandelt einzustufen ist.

Für die stoffliche Verwertung unbehandelter Hölzer mit Sortierung als Eingangskategorie bspw. für die Spanplattenherstellung ist eine Einzelbeprobung nicht sinnvoll. Da bereits eine Vermischung und Zerkleinerung erfolgt ist, halten wir hier eher eine weitere Zerkleinerung mit dem Ziel der Gleichverteilung und Homogenisierung des Probenmaterials für sinnvoll. Im Rahmen des laufenden Projektes war ein Verfahren zur Homogenisierung kleiner Schreddersortimente zu entwickeln, mithilfe dessen aus einem geschredderten Holzsortiment eine repräsentative Laborprobe gewinnbar ist.

Das Ergebnis soll zu einheitlichen Verfahren führen, welche die Entscheidung über den Entsorgungsweg entsprechender Hölzer standardisierbar machen. Die Untersuchung wurde an einem real anfallenden Alt- und Restholzsortiment durchgeführt. Im Folgenden sind die Ergebnisse der durchgeführten Arbeit dargestellt.

2 Ausgangssituation

2.1 Begriffsdefinitionen

Naturbelassenes Holz oder „unbelastetes Holz“ ist Holz, das ausschließlich mechanischer Bearbeitung ausgesetzt war und bei seiner Verwendung nicht mit Verunreinigungen kontaminiert worden ist.

Unter **Altholz (Gebrauchtholz)** werden alle Holzwerkstoffe und Holzprodukte verstanden, welche mindestens eine Verwendung als Endprodukt durchlaufen haben. Bei einer Holzschutzmittelbehandlung liegt der Behandlungszeitraum im allgemeinen deutlich vor dem Entsorgungszeitraum, diese Zeitdifferenz kann mehrere Jahrzehnte betragen (z.B. Voß; Willeitner 1994, DGfH 1996).

Als **Restholz** bezeichnet man die aus der Holzbearbeitung oder Holzverarbeitung stammenden Holz- oder Holzwerkstoffreste. Sie fallen ohne vorherigen Gebrauch als Resthölzer zur Entsorgung an, wenn eine Holzschutzmittelbehandlung vorgenommen wurde, entspricht der Behandlungszeitraum in etwa dem Entsorgungszeitraum (z.B. Voß; Willeitner 1994, DGfH 1996).

Störstoffe sind im Altholz vorkommende Nichtholzbestandteile, die oft vom Holz abtrennbar sind (z.B. LUA NRW 1997, Marutzky 1995, 1996a, 1997).

Tabelle 1: Nichtholzbestandteile in Althölzern (nach LUA NRW 1997)

abtrennbare Bestandteile	nicht oder kaum abtrennbare Bestandteile
Asbestteile, Asphalt, Fliesen, Gipsprodukte, Glas, Glasfasern, Kunststoff- u. Metallteile, Linoleum u.a. Fußbodenbeläge, Putz, Tapeten, Teerlappen Zementteile, Ziegel sonstige mineralische Verschmutzung	Beizen, Bindemittel Flammschutzmittel Folien- u. Furnierbeschichtungen Holzschutzmittel Klebstoffe Lackanstriche sonstige Veredelungsmittel

Nach dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) wird als Schwerpunkt Getrennthaltung und Verwertung von Holzabfällen gefordert. Das Gesetz formuliert ein Vermischungs- und Verdünnungsverbot, das die sachgerechte Verwertung oder Entsorgung entsprechender Hölzer gewährleisten soll (siehe auch unter 2.4.3) (KrW-/AbfG 1996).

2.2 Holzschutzmittel

Die Auswahl der im Rahmen des Vorhabens analysierter Wirkstoffe ist unter 3.3.2 beschrieben. In Bezug auf das Aufkommen und die Zusammensetzung schutzmittelbehandelter Althölzer und deren Entsorgung wird auf die ausreichend vorhandene Literatur verwiesen (z.B. Willeitner 1975, 1981, Willeitner; Schwab 1981, Willeitner; Dieter 1984, Kirk 1990, Bringezu 1990, Bringezu; Voß 1993, Marutzky et al. 1993, Müller 1993, Willeitner; Bucki 1994, Voß; Willeitner 1994, Voß 1998).

3 Verfahren zur Probenahme und Bestimmung von Holzschutzmitteln in Holz

3.1 Anforderungen an das Verfahren

Zur Entsorgung anfallende Holzsortimente können in ihrer Zusammensetzung und Homogenität sehr unterschiedlich sein. Bei den Sortimenten der Entsorgungswirtschaft (Baureststoff, Gewerbeabfall, Sperrmüll) handelt es sich im Gegensatz zu den Monosortimenten (z.B. Schwellen) oder bedingt homogenen Sortimenten (z.B. Masten, Holz aus dem Garten- und Landschaftsbau) um sogenannte Mischsortimente. Während Monosortimente i.d.R. eine einheitliche Holzschutzmittelbelastung (Typen, Einbringmengen) aufzeigen, können bei bedingt homogenen Sortimenten verschiedene Holzschutzmitteltypen vorliegen, deren Anzahl jedoch begrenzt ist. Ihre Menge und Verteilung ist meist einschätzbar. Inhomogene Mischsortimente können dagegen alle Holzschutzmitteltypen, ohne Einschätzbarkeit ihrer Menge und Verteilung, aufweisen. Während Monosortimente keine und bedingt homogene Sortimente eine mögliche - aber seltene - Vermischung mit unbehandeltem Holz zeigen, ist der Vermischungsgrad bei inhomogenen Sortimenten am höchsten (Voß, Willeitner 1994).

Besonders im Bauwesen anfallende Holzsortimente sind außerordentlich inhomogen und können mit Holzschutzmitteln behandelt, mit anderen Verunreinigungen belastet oder unbelastet sein. Holz, das in Sortieranlagen angeliefert wird, stammt im allgemeinen aus den unterschiedlichsten Herkunftsbereichen, wobei zusätzliche Anlieferungen von Holz aus baufremden Bereichen (z.B. Gehölzerschnitt, Garten- und Landschaftsbau) beigelegt sein können (Voß, Willeitner 1994). Solche Mischsortimente weisen eine große Inhomogenität auf.

Althölzer dieser Mischsortimente beinhalten potentiell ein breites Spektrum an Holzschutzmittelwirkstoffen. Die Art und Herkunft der Althölzer, der unterschiedliche Zeitpunkt einer HSM-Imprägnierung, die Anwendung alter/neuer HSM-Wirkstoffe, die unterschiedliche HSM-Behandlung (Oberflächenbehandlung, Druckimprägnierung) führen dazu, daß die Restgehalte bzw. HSM-Mengen in Mischsortimenten unterschiedlich groß

sind. In Abhängigkeit von der Nutzung und dem eingesetzten Mittel können z.B. durch Ausgasungs- oder Auswaschprozesse eingebrachte Schutzmittelmengen unterschiedlich stark verringert worden sein.

Eine Einschätzung des Belastungsgrades anfallender Holzsortimente, insbesondere inhomogener Altholzmischsortimente ist für die Entsorgung der Hölzer unerlässlich.

Hierzu ist ein geeignetes Probenahme- und Analysenverfahren notwendig, welches den Anwender befähigt, das Belastungspotential eines Altholzsortimentes erfassen und bewerten zu können, unabhängig von der Zusammensetzung des Sortiments. Einsetzbar wäre dieses Verfahren bei der Entsorgung zur Eingangskontrolle von Altholzsortimenten. Nach der Erfassung der Holzschutzmittelwirkstoffe könnten die Hölzer dann einer geeigneten Entsorgung oder Verwertung zugeführt werden.

Problematisch sind Sortimente der Entsorgungswirtschaft, in denen Althölzer aus den unterschiedlichsten Einsatzbereichen vermischt mit anderen Materialien vorliegen und die damit einhergehenden Identifizierungsprobleme für HSM-Belastungen.

Eine gute Möglichkeit zur Einschätzung der Belastungspotentiale dieser Sortimente erfolgt über die Erfassung ihrer Zusammensetzung bzw. deren Zerlegung in charakteristische Einzelsortimente und der anschließenden Untersuchung des entsprechenden Schredderguts.

Althölzer lassen sich teilweise nach optischen Gesichtspunkten in behandelte und unbehandelte bzw. naturbelassene Althölzer vorsortieren. Die Unterteilung kann über eine Differenzierung in Hölzer mit Farbanstrich, offensichtlich salzbehandelte Hölzer und offensichtlich biozid behandelte Hölzer erfolgen.

Jedoch werden die entstehenden Holzsortimente immer noch Inhomogenitäten bezüglich enthaltender Wirkstoffe und Konzentrationen aufweisen. Zudem muß auch mit ungleichen Verteilungen der Wirkstoffe in den Einzelprüflingen gerechnet werden. Der tat-

sächliche Belastungsgrad läßt sich im Grunde nur über die Homogenisierung der Einzelsortimente und anschließenden Bestimmung der durchschnittlichen HSM-Belastung ermitteln.

Für die Ermittlung einer durchschnittlichen HSM-Belastung ist das gesamte Probenahmeprocedere von wesentlicher Bedeutung. Es nimmt unmittelbar Einfluß auf die Aussagekraft des späteren Analysenergebnisses. Bisher existieren für die Ermittlung einer HSM-Belastung keine einheitlichen Probenahme- und Analysenverfahren. In Anbetracht der Nichtreproduzierbarkeit der Daten können also keine vergleichbaren Aussagen gemacht werden.

Ein standardisiertes Probenahmeverfahren ist erforderlich, welches zudem eine schnelle, kostengünstige und repräsentative Probenahme ermöglichen soll.

Ein standardisiertes Probenahmeverfahren sollte folgende Anforderungen erfüllen:

1. Das Verfahren muß im Ergebnis auf die Entsorgung bzw. Verwertung ausgerichtet sein.
2. Es muß sicher und genau sein.
3. Festlegung der Untersuchungsparameter. Alle wesentlichen Parameter müssen erfaßt werden.

(Im Vorfeld müssen alle Holzschutzmittel, die in den letzten ca. 100 Jahren eingebracht worden sein können, bezüglich Ihrer umweltproblematischen Auswirkungen bedacht und klassifiziert werden. Da alle möglichen Wirkstoffe wegen des hohen Aufwandes nicht erfaßt werden können, muß eine Auswahl besonders relevanter Wirkstoffe getroffen werden. Für diese Auswahl sind entsprechende Kriterien einzusetzen).

4. Die unterschiedliche Verteilung und Eindringtiefe von organischen und anorganischen Schutzmitteln im Holz muß berücksichtigt werden.
5. Das Verfahren soll die Erfassung einer durchschnittlichen Holzschutzmittelbelastung an Einzelprüflingen sowie Schredderguts ermöglichen. Die hierzu benötigte Probenanzahl sollte gering sein.
6. Das in Frage kommende Verfahren sollte möglichst kostengünstig in Bezug auf Zeit-, Material- und Geräteeinsatz sein. Außerdem soll es praktikabel und einfach im Standardlabor durchführbar sein.
7. Das Verfahren muß reproduzierbar sein, außerdem dokumentierbare Rohdaten liefern und möglichst für neue Stoffe erweiterbar sein.
8. Das gesamte Probenahmeprocedere, d.h. Probenahmebedingungen (Wahl der Probenform, Anwendung des Probenahmegerätes, Umfang der Materialmenge, Festlegung der Probenanzahl, repräsentative Beprobung, Zusammenfassung von Einzelproben zu Mischproben), Probenvorbereitung (Zerkleinerung bzw. Homogenisierung, Probenteilung), Lagerung des Untersuchungsmaterials und auch das Analysenverfahren (Festlegung von Untersuchungsparametern, Analysenmethoden, analytische Qualitätssicherung, Angabe der Ergebnisse, d.h. oberflächen-, volumen- oder massenbezogen) muß standardisiert sein.
9. Zur Bestimmung der durchschnittlichen HSM-Belastung an Einzelprüflingen muß die Probenahme mit einem standardisierten und validierten Probenahmegerät erfolgen.
10. Das Verfahren muß existierende gesetzliche Bestimmungen berücksichtigen.
11. Er sollte justiziabel sein.

12. Der Gesichtspunkt der analytischen Qualitätssicherung muß bei der Entwicklung des Verfahrens ausreichend berücksichtigt werden.

3.2 Probenahme

Unter Probenahme wird die Entnahme von Teilmengen aus einer Grundgesamtheit verstanden, um Informationen über deren Zusammensetzung wie Elementgehalt, Ascheanteil, Feuchte etc. zu erhalten (Rump, Scholz 1995).

Grundsätzlich gilt, daß die entnommenen Proben für die Gesamtheit des zu beurteilenden Materials soweit wie möglich repräsentativ sein müssen. Eine ungeeignete Probenahme kann die Aussagekraft von Ergebnissen erheblich mindern oder im Extremfall vollständig entwerten.

Voraussetzung für eine adäquate Probenahme ist eine entsprechende Probenahme-strategie, deren Konzeption statistische, technische und chemische Teilbereiche beinhaltet.

Größe und Anzahl der notwendigen Einzelproben lassen sich mittels statistischer Verfahren abzuschätzen. Die Entnahme kann zufällig oder systematisch erfolgen. Für die Probenahme sind geeignete Methoden und Gerätschaften auszuwählen, die die chemische Analytik und die zu bestimmenden Parameter berücksichtigen.

Die Probenaufbereitung umfaßt die Sortierung des Probenmaterials und die Gewinnung analysenfertiger Proben. Sie beinhaltet die Trocknung, Zerkleinerung und Homogenisierung sowie die Probenteilung.

Zur Probenahme am Einzelprüfling oder am Schreddergut sind unterschiedliche Probenahmestrategien notwendig.

Bei der Probenahme von Haufwerken sollten Einzelproben an mindestens 10 Stellen gleichmäßig über den Haufen verteilt aus verschiedenen Schichten d.h. direkt an der Oberfläche sowie nach Freilegen tieferer Schichten und in verschiedenen Höhen entnommen werden (Rump, Scholz 1995).

Eine gängige Methode zur Probenreduktion ist das Aufkegeln vorzerkleinerter Gesamtproben und anschließendes Vierteln.

Nach mehrmaligem Umschaufeln wird die Gesamtmenge des zu teilenden Materials derart zu einem Kegel aufgeschüttet, daß das jeweils hinzukommende Probengut genau auf die Kegelspitze trifft und gleichmäßig nach allen Seiten hin abrollt. Die groben Anteile rollen über den Kegelmantel an die Kegelbasis. Der Kegel wird mit Hilfe eines Teilungskreuzes geviertelt und die zwei gegenüberliegenden Viertel zu einer Probe vereint, die anderen Viertel werden verworfen (Rump, Scholz 1995). Dies erfolgt solange bis eine gut handhabbare, repräsentative Teilprobe erzielt wird. Nachteilig ist, daß die Anwendung des Kegelfahren sehr aufwendig ist, und zu Materialverlusten führen kann; zudem ist es manuell beeinflussbar.

Speziell bei der Zerkleinerung von Proben muß auf jedem Fall eine Fremdkontamination verhindert werden. Um z.B. Schwermetallkontaminationen zu vermeiden, sollten möglichst nur Mahlvorrichtungen aus keramischem Material oder Achat verwendet werden (LAGA-Richtlinie SM 2/79).

Hinweise für die Entnahme von Proben aus Abfällen zur anschließenden chemischen und/oder physikalische Untersuchung geben die Richtlinien der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA).

Das LUA NRW (1997) schlägt als Maßnahme zur Qualitätssicherung bei der Aufbereitung von Gebraucht- und Resthölzern eine Güteüberwachung von Recyclingspänen vor. Im Rahmen dieser Güteüberwachung erfolgt die Probenahme an dem Outputmaterial (Fein-, Mittel- und Grobfraktion) der Aufbereitungsanlage. Die Probenahme erfolgt über

einen Zeitraum von 2 Stunden und vereinigt eine Teilprobenanzahl von 5 Proben à 2-2,5 kg. Die gesamte Probenmenge von 10-12,5 kg wird halbiert. Eine Hälfte wird weiter aufbereitet, die andere verworfen. Das Procedere wird so lange durchgeführt, bis die Gesamtmenge bis auf 500 g reduziert ist. Danach werden die noch enthaltenen Störstoffe z.B. Metalle entfernt. Nach weiterer Probenaufbereitung wird eine Probenmenge von 200 g mit einer Größe von < 1mm erzielt. Die Aufbereitung erfolgt in zwei Stufen. Im ersten Schritt wird die 500 g Probe mit einer Schneidmühle bis < 4 mm zerkleinert. Danach wird die Probe halbiert (250 g), die eine Hälfte verworfen und die andere Hälfte mit einer Rotor-Schnellmühle auf < 1 mm zerkleinert. Von dem zerkleinertem Material werden 100 g in PE-Flaschen abgefüllt, der Rest dient als Rückstellprobe. Bei der Probenahme ist eine Erwärmung des Probengutes möglichst zu vermeiden. Der Materialabrieb der Zerkleinerungswerkzeuge sollte möglichst gering gehalten werden.

Zur Zeit liegen noch keine normierten Verfahren zur Probenahme sowie Analytik von Schadstoffen in belasteten Alt-und Resthölzern inhomogener Altholzmischsortimente vor.

Zur Überprüfung der Wirksamkeit einer Holzschutzmaßnahme existieren verschiedene ältere DIN-Vorschriften.

Die Art und Weise der Probenahme ist unmittelbar abhängig von der jeweiligen Fragestellung. Je nachdem ob auf die Wirksamkeit einer Schutzmittelmaßnahme oder ob auf vorhandene Holzschutzmittel geprüft werden soll, sind verschiedene Probenahmeverfahren notwendig.

Hinweise zur Probenahme an holzschutzmittelbehandelten Hölzern gibt die DIN 52 161, Teil 1, Probenahme aus Bauholz (1967) sowie die EN 351-2 (1995), die die Probenahme aus mit Holzschutzmittel behandeltem Vollholz zur Bestimmung der Eindringtiefe und Aufnahme beschreibt.

Die DIN 52 161, Teil 1 (1967) legt die Entnahme der für den Nachweis von Holzschutzmitteln im Holz erforderlichen Proben nach Art, Zeitpunkt, Anzahl und Lage im Bauwerk fest. Beschrieben wird die Probenahme an verbauten Hölzern z.B. tragenden Holzbauteilen mittels Zapfenschneider oder Zuwachsbohrer. Die Probe soll mit vorgegebenem Durchmesser und Länge die Form eines Zylinders aufweisen. Der Zeitpunkt der Probenahme richtet sich nach der Ausführung der Holzschutzbehandlung und die Anzahl der Proben nach der Größe der behandelten Holzoberfläche der Gebäude. Einem Probenahmebericht sollen Angaben zur Größe der behandelten Holzoberfläche, Schutzmittelgruppe, Bezeichnung des Holzschutzmittels, Prüfzeichen, Zeitpunkt der Behandlung, Einbringverfahren zu entnehmen sein.

Die EN 351-2 (1995) gilt als Leitfaden der allgemein anzuwendenden Arbeitsweise, die bei der Herstellung von Proben aus dem holzschutzmittelbehandelten Holz anzuwenden sind, um die Eindringtiefe und Aufnahme von Holzschutzmitteln zu ermitteln. Dabei sollen bei der Probenahme grundsätzliche Regeln beachtet werden, um somit systematische Fehler zu vermeiden. Beschrieben wird die Entnahme von Prüflingen aus einem Los und der Proben aus den zu untersuchenden Prüflingen.

Zur Bestimmung der Eindringtiefe werden Bohrkerne aus Rund- und Teilrundhölzern sowie Schnitt- und Profilhölzer bzw. zur seitlichen Eindringung Querschnittsproben und zur axialen Eindringung Längsschnitte vorgeschrieben. Die Probenahme wird dabei im Einzelnen vorgegeben. Die Schutzmittelaufnahme soll als Aufnahme eines Probenkollektives oder als mittlere Aufnahme der Einzelproben an Dünnschnitten, Bohrkernen oder Querschnitten bestimmt werden. Die hierfür vorgesehene Probenahme wird eingehend beschrieben.

In der Praxis werden je nach Prüfkriterien d.h. Ermittlung einer Schutzbehandlung, Schutzmitteltyp und Wirkstoff, Schutzmittel-Eindringtiefe, Aufbringmenge, Einbringmenge und Schutzmitteldichteverteilung verschiedene Probenformen angewandt.

Im wesentlichen wird hierbei zwischen Oberflächenproben, Querschnittsproben und Bohrproben (Abbildung 1) unterschieden (Kottlors, Petrowitz 1993).

Die Abbildung 1 zeigt die verschiedenen Probenformen.

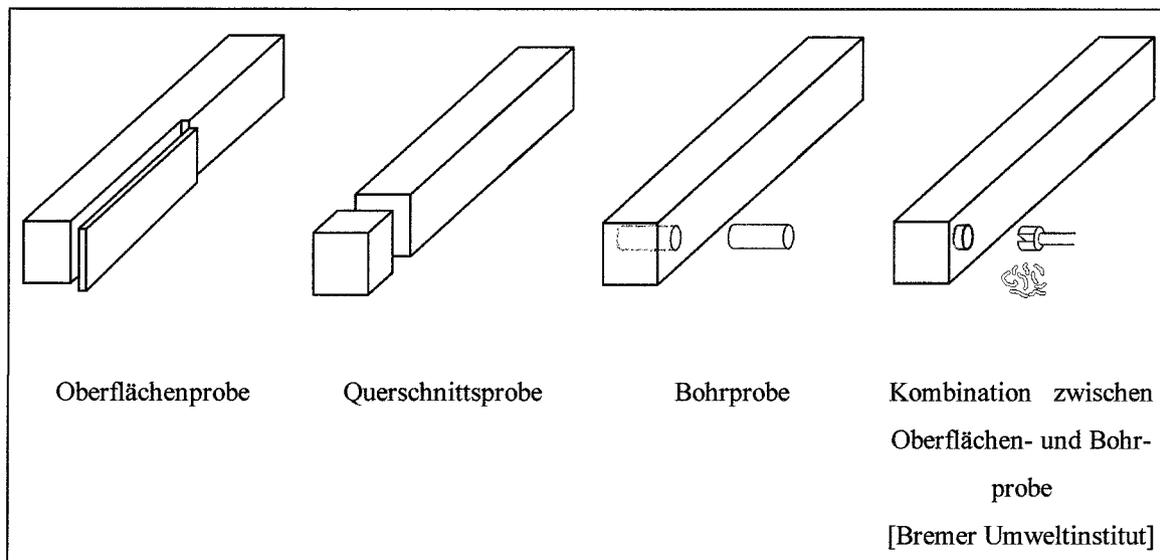


Abbildung 1: Probenformen

Die Oberflächenprobe (Schichtdicke von 0,1 - 1mm) wird hobelnd, kratzend oder schabend aus der Holzoberfläche entnommen. Sie dient insbesondere in der Umweltanalytik zur Ermittlung einer Schutzmittelbehandlung bzw. Schutzmitteltyp und Wirkstoff.

Querschnittsproben (Schichtdicke mm-cm) werden aus runden Hölzern (z.B. Masten, Palisaden) und kantigen Hölzern (z.B. Viertelstäbe, Bohlen, Fußleisten, Bretter, Dachlatten) durch Sägen entnommen. Sie dienen zur Ermittlung von Eindringtiefe, Aufbringmenge, Einbringmenge und Schutzmitteldichtevertelung.

Bohrproben (Bohrloch-Durchmesser wenige mm) werden mittels Zuwachsbohrer oder Zapfenschneider aus verbauten Holzteilen bzw. Bauholz entnommen. Sie werden zur Ermittlung von Eindringtiefen und Aufbringmengen herangezogen.

Die Tabelle 2 gibt einen Überblick über je nach Fragestellung angewandte Probenformen.

Tabelle 2: Probenahme aus Holz und Holzwerkstoffen

Autor/Untersuchung	Prüfkriterium	Probenform/ Probenahmegerät	Verfahren
Theden et al. (1964): Erfassung der Empfindlichkeit einer Farb- reaktion zur Ermittlung einer pilzwidrigen und insektentötenden Wirksamkeit	Prüfung eines Schutzerfolges	Querschnitt / Säge	• Klötzchen nach DIN 52 176 u. DIN 52 165 , geteilt mit einem glatten Sägeschnitt
Lämmke et al. (1966): Überprüfung von Analysenverfahren zur Ermittlung von Flammschutzmittel über die Phosphatbestimmung an behandelten Holzpro- ben	Aufbringmenge	Bohrung / Zapfenfrä- ser	• Probendurchmesser 8 mm; 10 mm Länge. • 50 Bohrkern pro Probenstück • Vereinigung von je 10 Proben • Statistisch über die Holzoberfläche verteilte Probenahme • Zerkleinerung auf 1 mm Dicke
Gersonde, Becker (1965): Ermittlung der Streubreite der Schutz- mittelaufnahme bei Masten; Abhängigkeit von Holzeigenschaften. Ermittlung des Tränkerfol- ges über die Entnahme von Bohrkernen sowie die Anzahl notwendiger Bohrkern und ihre Verteilung	Eindringtiefe Schutzmittel- menge Schutzmittel- verteilung	Bohrung / Zuwachs- bohrer Querschnitt	• 4 Bohrkern pro 5 mm Durchmesser • Ermittlung der Eindringtiefe • Ermittlung der Schutzmittelvertei- lung:
Gersonde, Becker (1970): Einfluß von Tränkbedingungen auf Ein- dringvorgänge und Schutzsalzverteilung in Fichtenmasten	Eindringtiefe	Querschnitt / k.a.	• Querschnittsscheiben aus unter- schiedlichen Mastbereichen • Entnahme von 4 radial verlaufenden Probenstreifen von 2 cm Breite
Becker (1961): Einfluß von Einbringmengen und Holz- eigenschaften auf die Eindringtiefe öliger Holzschutzmittel	Eindringtiefe	k.a.	• Entnahme von Splintholz-Brettchen; bzw. von 1 cm breiten Streifen in je 2 cm Abstand von den axialen Schnitt- flächen • Kanthölzer
Buro (1957) Nachweis von öligen Schutzmitteln	Eindringtiefe	Bohrung / Kreis-säge, Lehre	• Entnahme und Anschneiden der Bohr- kerne, so daß glatte Stirnflächen ent- stehen
Schulz (1971): Schutzmittelverteilung in der Erd-Luftzone imprägnierter Masten mit und ohne Per- foration	Schutzmittel- verteilung	Querschnitt / k.a.	• Entnahme von Querschnittsscheiben • Zerlegung in Teilproben
Becker (1959): Schutzmittelverteilung in Abhängigkeit vom Anwendungsverfahren der eingebrachten Schutzmittelmenge, der Holzart, der Holz- feuchtigkeit und der Zeit nach der Behand- lung. Bestimmung der Streuung der Schutz- mittelmenge in Richtung der behandelten Fläche.	Schutzmittel- verteilung	Bohrung / k.a.	• Entnahme von 10 mm Streifen, Ent- nahme von 5 mm-10 mm langen Ab- schnitten • Herausgebohrte o. gefräste Zylinder von 8 o. 10 mm Durchmesser
Petrowitz, Becker (1959): Aufnahme, quantitative Verteilung und Ver- bleib eines Kontaktinsektizides in ver-schieden getrocknetem Holz	Schutzmittel- verteilung	k.a.	• Herausschneiden von Mittelbrettern • Rechtwinklig zur Markstrahlung geschnittene Klötzchen • Analysen in Hirnflächenbereich, Mantelfläche, Kernstück
Gersonde, Kottlors (1977): Verteilung von Steinkohlenteeröl in Kiefernma- sten nach Kesseldrucktränkung. Kontrolle des Tränkerfolges anhand von Eindringtiefen	Schutzmittel- verteilung Eindringtiefen	Querschnitt / k.a. Bohrung / k.a.	• Schutzmittelverteilung: Querschnitts- scheiben • Kontrolle des Tränkerfolges: Entnah- me von 2 Bohrkernen je Mast
Deppe, Kottlors (1973): Gehalt und Verteilung eingebrachter Schutz- mittel. Art und Umfang der Probenahme und Überprüfung des Verfahrens	Schutzmittel- verteilung	Querschnitt / k.a.	• Untersuchung von Spanplatten • 5 Proben in Plattenbreite und 7 Proben in der Plattenlänge • Plattenproben 100 mm x 100 mm

k.a.: keine Angaben

3.2.1 Einzelprüflinge

Zur sinnvollen Umsetzung von Entsorgungsstrategien sind Klassifizierungskriterien zu erarbeiten, die es ermöglichen, aus einem inhomogenen Altholzmischsortiment naturbelassene Hölzer eindeutig von lediglich kontaminierten und behandelten Hölzern zu differenzieren. Für die Beprobung von Einzelprüflingen war daher ein standardisiertes reproduzierbares Probenahmeverfahren zu entwickeln, mit Hilfe dessen aus einem Einzelprüfling eine repräsentative Holzprobe gewinnbar ist, durch deren analytische Untersuchung eine sichere Aussage möglich ist, ob dieser Einzelprüfling als behandelt, kontaminiert oder naturbelassen einzustufen ist.

3.2.1.1 Inhomogenität der Wirkstoffverteilung

Je nach Einbringverfahren und Holzbeschaffenheit sind auf einem einzelnen behandelten Holzteil deutliche Inhomogenitäten der Wirkstoffkonzentration zu erwarten. Diese, bereits durch die Behandlung verursachte Inhomogenität, kann während der Nutzungsphase durch unterschiedliche Wirkstoffauswaschung oder Ausgasung noch erhöht werden. Da zum Vergleich der Belastungshöhe zweier oder mehrerer Einzelprüflinge nicht diese lokalen Inhomogenitäten, sondern jeweils der repräsentative durchschnittliche Wirkstoffgehalt in der behandelten Schicht von Bedeutung ist, war hier ein Verfahren zur repräsentativen Probenahme am Einzelprüfling zu entwickeln. Zur Standardisierung der Probenahme wurde davon ausgegangen, daß sich die lokalen Inhomogenitäten der Wirkstoffkonzentration in der behandelten Oberflächenschicht durch ausreichende Mehrfachbeprobung einer potentiell behandelten Holzoberfläche herausmitteln und somit eine repräsentative, durchschnittliche Belastung der beprobten Oberflächenschicht ermittelt werden kann.

3.2.1.2 Festlegung der Probenahmtiefe

Direkt nach der Schutzmittelbehandlung eines Holzes ist von einer hohen Wirkstoffkonzentration an der Oberfläche auszugehen, die zum Inneren des Holzes hin abnimmt.

Durch Ausgasungs- oder Auswaschungsvorgänge kann die Wirkstoffkonzentration im Laufe der Nutzungszeit in den äußeren Holzschichten jedoch mehr abnehmen. Die Probenahmetiefe ist daher so zu wählen, daß nicht zu tief gebohrt wird um nicht außerhalb des Bereichs der Eindringtiefe zu gelangen. Es sollte jedoch tief genug gebohrt werden, um bei möglichen Wirkstoffverlusten durch Auswaschung noch ausreichend imprägnierte Holzschichten zu erfassen.

In Abstimmung mit der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft wurde für die Probenahme aus holzschutzmittelbehandelten Hölzern eine Probenahmetiefe von 5 mm festgelegt. Angenommen wurde, daß bei einer Bohrtiefe von 5 mm durch Oberflächenverfahren eingebrachte Holzschutzmittel nahezu vollständig und durch Druckimprägnierung eingebrachte Schutzmittel in ausreichender Form erfaßt werden.

Zur Klärung der Frage, ob diese gewählte Bohrtiefe für die Ermittlung durchschnittlicher Gehalte von organischen Holzschutzmittelwirkstoffen vollkommen ausreicht, wurde die Untersuchung von Krooß (1992) zur Eindringtiefe von PCP und Lindan in einem Leimholz binder aus Nadelholz herangezogen.

Für PCP wurde eine Eindringtiefe von 10 mm (Abbildung 2) und für Lindan 5 mm (Abbildung 3) ermittelt. Die Bestimmungsgrenze des angewandten Analysenverfahrens lag für beide Wirkstoffe bei 1 mg/kg Holz.

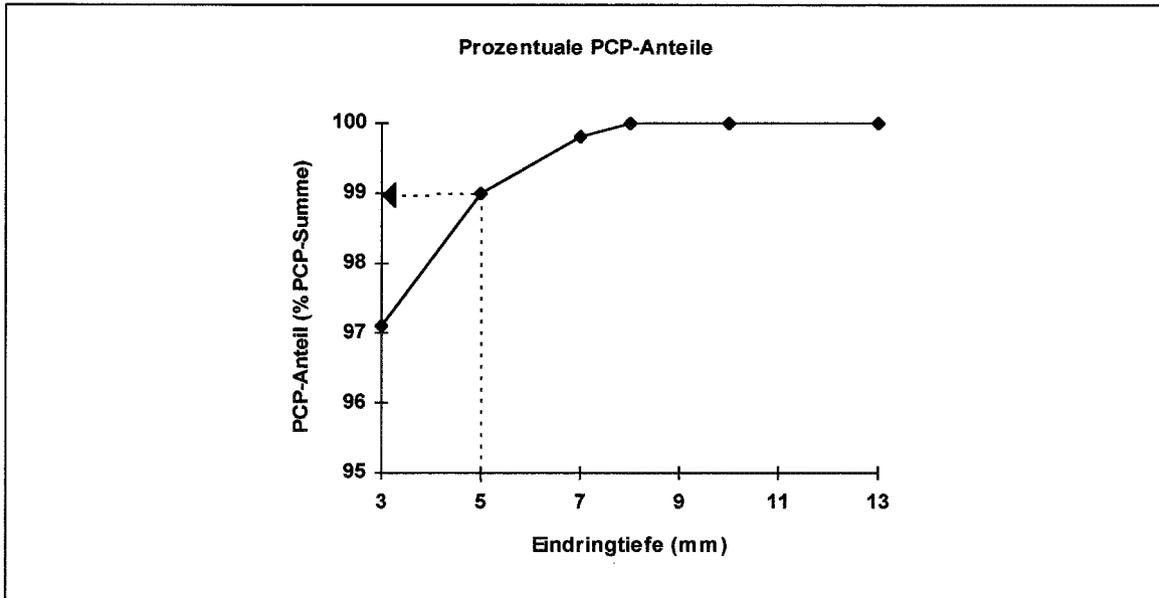


Abbildung 2: Kumulative Darstellung der prozentualen PCP-Anteile

In den Holzschichten eines Leimholzbinders aus Nadelholz
0 - 3 mm = 2482 mg/kg; 3 - 5 mm = 48 mg/kg; 5 - 7 mm = 21 mg/kg;
7 - 8 mm = 4 mg/kg; 8 - 10 mm = < 1 mg/kg; 10 - 13 mm = < 1 mg/ kg.
Bestimmungsgrenze: 1 mg/kg (verändert nach Krooß 1992)

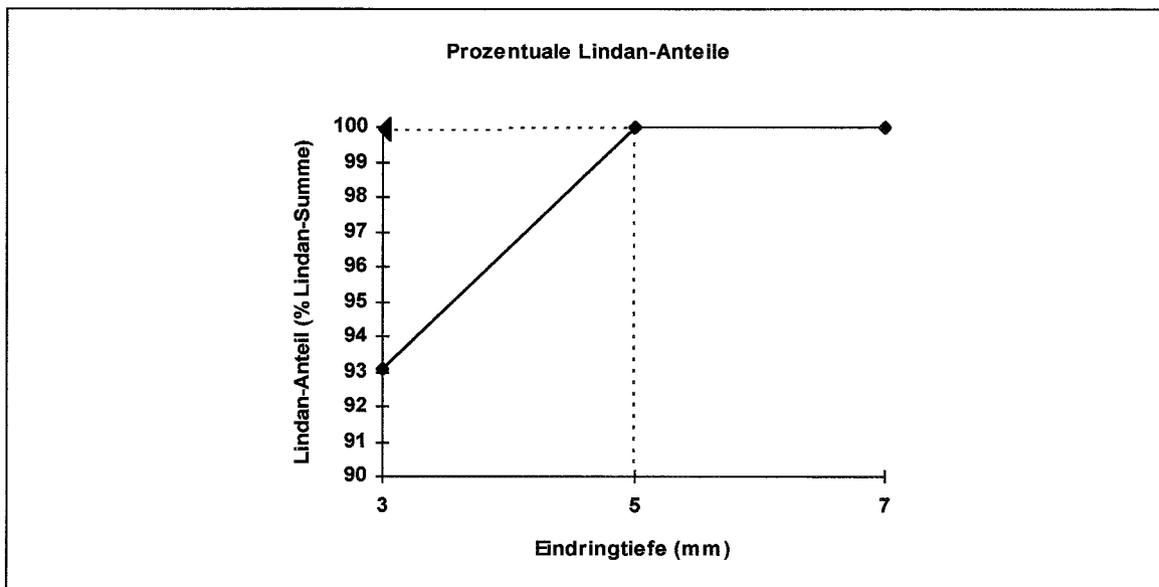


Abbildung 3: Kumulative Darstellung der prozentualen Lindan-Anteile

in den Holzschichten eines Leimholzbinders aus Nadelholz
0 - 3 mm = 54 mg/kg; 3 - 5 mm = 4 mg/kg; 5 - 7 mm = < 1 mg/kg;
7 - 8 mm = < 1 mg/kg; 8 - 10 mm = < 1 mg/kg; 10 - 13 mm = < 1 mg/ kg
Bestimmungsgrenze = 1 mg/kg (verändert nach Krooß 1992)

Die Ergebnisse zeigen, daß bei einer Bohrtiefe von 5 bis 6 mm deutlich über 90 % der Wirkstoffgehalte erfaßt werden.

Bei Druckimprägnierungen verteilt sich die gesamte Wirkstoffmenge auf einen wesentlich größeren Tiefenbereich (siehe Versuch zur Eindringtiefe per Querschnittsbeprobung). Auch bei möglichen Auswaschverlusten ist davon auszugehen, daß bei der angewandten Bohrtiefe die Wirkstoffbelastung druckimprägnierter Hölzer ausreichend erfaßt wird.

3.2.1.3 Festlegung des Verfahrens

Das Probenahmeprocedere umfaßt die Festlegung der Probenahmebedingungen, Probenvorbereitung, Lagerung der Untersuchungsmaterialien und Festlegung der Analysenverfahren.

Aus einem real anfallenden, ca. 50 m³ Schüttvolumen umfassenden inhomogenen Altholzmischsortiment wurde repräsentativ eine ca. 5 m³ umfassende Teilmenge zur Untersuchung entnommen. Dieses Prüfsortiment wurde wettergeschützt unter einer Plane gelagert. Für den Transport wurden größere Holzstücke, wie z.B. Dachbalken, mit einer Kettensäge zersägt und entsprechend gekennzeichnet.

Anschließend wurden die einzelnen Holzstücke nummeriert, deren Länge, Breite und Höhe ausgemessen, ihr charakteristisches Erscheinungsbild notiert (Tabelle A 10) und danach photographisch dokumentiert.

Für eine definierte bzw. standardisierte Probenahme an stückigen Einzelprüflingen wurde ein geeignetes Probenahmegerät entwickelt (siehe 4.1).

Bei der Entwicklung des Probenahmegerätes wurde darauf geachtet, daß die zu entnehmende Probe nicht durch Materialien des Gerätes mit später zu untersuchenden Substan-

zen kontaminiert wird. Als Material kam unlegierter Stahl bzw. Kohlenstoff-Stahl und Glas sowie Teflon zum Einsatz.

Zur Ermittlung durchschnittlicher Holzschutzmittelbelastungen stückiger Einzelprüflinge wurde eine Kombination aus Oberflächen- und Bohrprobenform (Abbildung 1) gewählt. Diese Probenform ermöglicht die Entnahme einer Probe mit definierter Tiefe sowie Fläche.

Das spätere Analysenergebnis kann auf die Holzoberfläche, das Volumen oder auch auf die Masse bezogen werden.

Eine spezielle Konstruktion macht es möglich, daß mehrere Proben zu einer Mischprobe zusammengefaßt werden können. Ein Glasgefäß dient gleichzeitig als Proben- und Auffanggefäß. Mit einem spezifischen Bohraufsatz werden Sägespäne einer Größe von ca. 2-5 mm erzeugt.

3.2.2 Schreddergut

3.2.2.1 Inhomogenität der Wirkstoffverteilung

Während beim Einzelprüfling als Inhomogenitäten der Wirkstoffkonzentration lediglich geringe Schwankungen der Wirkstoffkonzentrationen innerhalb der behandelten Schicht auftreten, sind durch das gleichzeitige Vorkommen behandelter Einzelprüflinge mit hoher Wirkstoffkonzentration neben naturbelassenen Einzelprüflingen ohne nachweisbare Wirkstoffkonzentrationen im inhomogenen Altholzsortiment große Unterschiede der Wirkstoffkonzentrationen möglich. Zu der unter 3.2.1.1 beschriebenen Inhomogenität innerhalb eines behandelten Einzelprüflings kommt bei der Betrachtung mehrerer unterschiedlich behandelter Einzelprüflinge die Inhomogenität zwischen diesen Einzelprüflingen hinzu. Für Schreddergutuntersuchungen ist daher einerseits eine genügende Korngröße und andererseits eine gute Durchmischung zu einer repräsentativen Probe erforderlich, um eine ausreichende Homogenität und Repräsentativität der Untersuchungspro-

be zu erreichen. Es ist ein Verfahren zur Homogenatherstellung kleiner Schreddersortimente zu entwickeln, mit Hilfe dessen aus einem geschredderten Untersortiment eine repräsentative und homogene Laborprobe gewinnbar ist.

3.2.2.2 Festlegung der Probengröße (zur Homogenisierung)

Zur Homogenatherstellung ist einerseits eine möglichst geringe Korngröße zu erzielen, um eine gute Durchmischung bei möglichst geringer Inhomogenität zu erreichen, andererseits ist das Mischen des Schredderguts mit dem manuellen Kegelverfahren auf Schreddergutmengen bei ca. 150 kg Holz beschränkt.

3.2.2.3 Festlegung des Verfahrens zur Schreddergutuntersuchung

Zur Schreddergutuntersuchung werden die Einzelprüflinge optisch vorsortiert in unbehandelte bzw. naturbelassene Hölzer, Hölzer mit Farbanstrich, in offensichtlich biozid behandelte Hölzer und in Hölzern, die offensichtlich salzbehandelt waren (4.2.2.1). Zur Verhinderung von Sekundärkontaminationen werden die erzielten Einzelsortimente getrennt gelagert.

Die Einzelsortimente werden mit einem für die Abfalldéponie entwickelten Probenehmer „Probs“ geschreddert. Das grob vorzerkleinerte Probenmaterial wird hierbei über einen auf dem Dach des Maschinen-Containers befindlichen Einwurfrichter unmittelbar einer Einwellen-Zerkleinerungsanlage zugeführt. Die Zerkleinerung erfolgt in einem Schneidwerk bis auf eine Stückgröße von 30 mm Durchmesser. Das grob zerkleinerte Material fällt aus dem Einwellen-Zerkleinerer zum Zweck der Homogenisierung direkt - d.h. ohne Zwischenförderung- in eine Mischtrommel. Das Ausleeren der zerkleinerten Materialien erfolgt durch Kippen der Mischtrommel. Das aus der Grobzerkleinerungsanlage stammende Probenmaterial ist für eine analytische Untersuchung nicht geeignet und erfordert eine weitere Zerkleinerung mit einer Schneidmühle bis auf eine Korngröße von ca. 3 mm Durchmesser.

Die Zerkleinerung der Hölzer erfolgt in Phasen. Für den Schreddervorgang werden die Hölzer der Einzelsortimente nacheinander in ca. 20-30 cm große Holzstücke zerkleinert, und anschließend nach Entfernung der Nichtholzbestandteile (Nägel, Glas etc.) mit der Probs bis auf 30 mm grobzerkleinert.

Zur Verhinderung von Sekundärkontaminationen wird die Anlage zur Reinigung zuerst mit unbelasteten Baum-Material und anschließend mehrmals mit Quarzsand beschickt.

Über eine Förderbandeinrichtung wurden die jeweiligen Fraktionen in dickwandige PE-Kunststoffsäcken aufgefangen, verschnürt und trocken gelagert.

Zur Probenentteilung wurde das Kegelfverfahren gewählt. Auf einer kontaminationsfreien Kunststoffplane wurden das gesamte Schreddergut des jeweiligen zu homogenisierenden und zu teilenden Einzelsortiments aufgeschichtet, umgeschaufelt, gekegelt und geviertelt bis eine Teilmenge von ca. 2-5 kg erzielt wurde. Diese wurde anschließend mit der Feinzerkleinerungsanlage bis zu einer Korngröße von ca. 3 mm weiter zerkleinert. Anschließend wurde eine Analysenprobe von ca. 500 ml abgefüllt

3.2.3 Festlegung des Gesamtverfahrens zur Probenahme

Die Abbildung 4 gibt einen Gesamtüberblick über das festgelegte Gesamtverfahren zur Probenahme.

Vor der eigentlichen Probenahme wurde das Probenahmegerät validiert (4.2.1 Vorversuche).

Zur Ermittlung durchschnittlicher Holzschutzmittelbelastungen stückiger Einzelprüflinge wurde die notwendige Probenanzahl und damit verbundene Materialmenge (4.2.1.2) bestimmt. Vorab wurden grundlegende Versuche zur Schutzmittelverteilung organischer und anorganischer Holzschutzmittelwirkstoffe durchgeführt. Geprüft wurde auf Inhomogenität der Verteilung von PCP und Lindan sowie Fluorid.

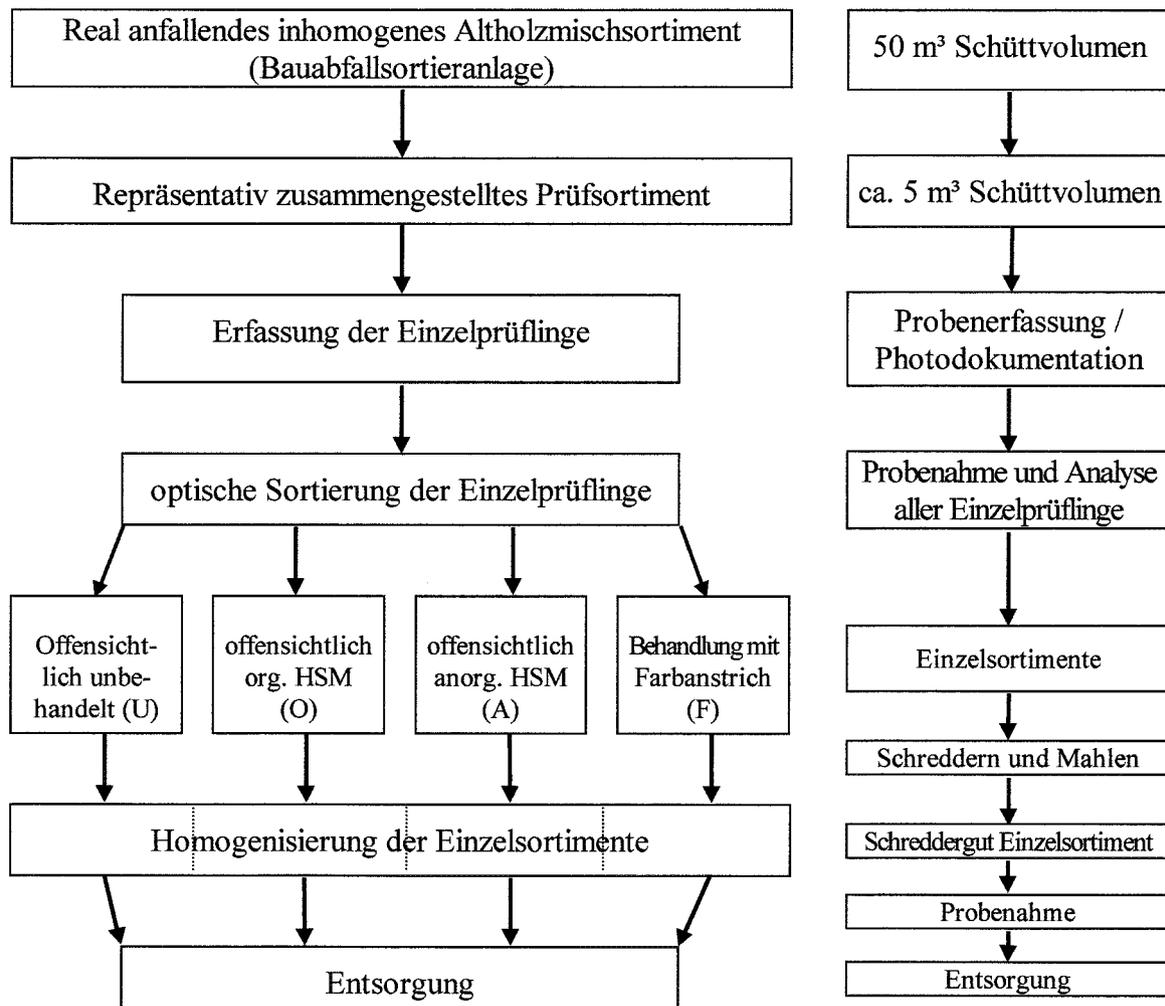


Abbildung 4: ProbenahmeprocEDURE zur Untersuchung eines inhomogenen Altholzgemisches

Zur Festlegung der notwendigen Probenanzahl und Materialmenge wurden die Ergebnisse aus den statistischen Datenanalysen herangezogen.

Nach Festlegung der Probenahmebedingungen wurden Verfahren zur Zerkleinerung, Homogenisierung und Teilung der Probenmaterialien ausgewählt.

Das gesamte in Form von Bohrspänen vorliegende Probenmaterial mit einer Korngröße von 2 bis 5 mm wurde weiter zerkleinert und homogenisiert. Die Homogenisierung der Holzproben erfolgt mit einem modifizierten Bühler-Homogenisator, bei dem das Holz

durch ein schnell rotierendes Messer aus Kohlenstoffstahl, ohne wesentliche Erwärmung, fein zerkleinert und gleichzeitig gut vermischt wird. Das Probenmaterial ist anschließend ausreichend homogen. Die Korngröße nach der Homogenisierung liegt bei ca. 0,3 mm. Für Analysen werden repräsentative Teilmengen des Probengutes entnommen.

Im Rahmen der Hauptuntersuchungsphase werden die Einzelprüflinge des inhomogenen Altholzmischsortimentes repräsentativ beprobt. Die Probenahme erfolgt mit dem beschriebenen validierten Probenahmegerät, bei einer einheitlich festgelegten Bohrtiefe von 5 mm und einem Probendurchmesser von 25 mm. Auf eine Probenahme abseits von Brüchen, Astlöchern und Rissen wird geachtet.

3.3 Analytik von HSM im Holz

3.3.1 Sachstand

Für die qualitative und quantitative Analyse von anorganischen Wirkstoffen bzw. Elementen (As, B, Cd, Cr, Cu, F, Hg, Pb, Sn und Zn) und organischen Wirkstoffen bzw. Verbindungen [Organochlor- und Organophosphorpestizide, Pyrethroide, polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), polychlorierte Naphthaline (PCN) und Biphenyle (PCB), Triazole und metallorganische Verbindungen] bieten sich prinzipiell mehrere verschieden aufwendige Möglichkeiten mit unterschiedlichem Anspruch an die analytische Gesamtaussage, Genauigkeit und Reproduzierbarkeit an.

Aufgrund prinzipieller Unterschiede in der Analytik wird im folgenden zwischen anorganischen und organischen Wirkstoffen unterschieden.

Zur Bestimmung eines einzelnen Wirkstoffes können Methoden angewandt werden, bei denen jeweils nur eine Einzelsubstanz je Analyse untersucht wird. Sammelmethode finden Anwendung zur Bestimmung mehrerer Wirkstoffe im selben Arbeitsgang.

3.3.1.1 Anorganische Wirkstoffe

3.3.1.1.1 Aufschlußverfahren

Vor dem Nachweis der anorganischen Wirkstoffe als Elemente, wie z.B. As, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Sn und Zn, ist zur Probenvorbereitung ein entsprechender Aufschluß notwendig. Anwendung finden Schmelzaufschlüsse, Naßaufschlüsse (mit flüssigen Aufschlußmitteln) und trockene Aufschlüsse durch Verbrennen.

Im allgemeinen werden folgende Aufschlußmethoden eingesetzt: einfaches Veraschen, Veraschen mit Säureaufschluß und Veraschen mit Gesamtaufschluß. Für den Naßaufschluß: Aufschluß mit Königswasser und mit $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{O}_2$, Gesamtaufschluß im Druckgefäß.

Bei der Durchführung können generell verschiedene Fehlerquellen auftreten.

Tabelle 3: Fehlerquellen bei der Schwermetall-Spurenanalytik
(Schwedt 1992)

1.	Verflüchtigungen von Substanzen (z.B. Hg)
2.	Adsorptionseffekte in den Aufschlußgefäßen
3.	Blindwerteinschleppungen durch angewandte Säuren, Laugen
4.	Verunreinigungen der Atmosphäre
5.	Verunreinigungen durch Luft und Staub bei offenen Aufschlüssen
6.	Verunreinigungen der Gefäßmaterialien durch Desorption und Anlösen der Gefäßmaterialien
7.	Verunreinigungen durch angewandte Glasgeräte

Die Größe der Effekte hängt hierbei weitgehend von dem gewählten Aufschlußverfahren ab.

Offene Systeme haben z.B. den Nachteil, daß sie recht anfällig für Kontaminationen aus der Laborluft sind. Die Temperatur wird zudem durch den Siedepunkt des Säuregemisch-

sches begrenzt. Diese Temperatur kann einerseits zu Verlusten an flüchtigen Analyten führen und andererseits wiederum noch nicht ausreichen, alle Probenbestandteile in eine homogene Lösung zu überführen (Obernberger et al. 1994).

Die Gefahren von Kontaminationen und Analytverlusten sind bei geschlossenen Systemen und damit Arbeiten unter Druck viel geringer.

Gängige Analysenverfahren für anorganische Wirkstoffe bzw. Elementen sind in Tabelle 4 dargestellt. In Tabelle 5 sind DIN-Vorschriften zur Schwermetall/Elementanalyse dargestellt.

Tabelle 4: Analysenverfahren für anorganische Wirkstoffe bzw. Elemente
(Rump, Scholz 1995; Merian 1984; Marr et al. 1988)

Methoden	Element
Photometrie	B (Azomethin-H), Cr (Methylenblau), F (Eriochromcyanin, Zirkoniumoxidchlorid)
<u>AAS</u>	
Flammen-AAS	Cd, Cr, Cu, Pb, Zn
Flammen-AAS (Zeemann)	As, Cd
Graphitrohr-AAS	As, Cd, Cr, Cu, Pb, Zn
Kaltdampf-AAS	Hg
Hydrid-AAS	As, Sn
ICP-AES	As, Cd, Cr, Cu, Pb, Sn, Zn
ICP-OES	As, B, Cd, Cr, Cu, Pb, Sn, Zn
ICP-MS	As, B, Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Sn, Zn
Neutronenaktivierungsanalyse	As, Cd, Cr, Cu, Hg, Sn, Zn
Gaschromatographie (flüchtiger Verbdg.)	As, Cr, Hg, Sn, Zn
<u>Elektrochemie</u>	
Coulometrie	As
Polarographie	Cd, Cr, Cu, Pb, Zn
Volametrie	Cd, Cu, Hg, Zn
Massenspektrometrie	Cd, Cu, Pb
Röntgenfluoreszenz	Cd, Cr, Cu, Hg, Pb, Sn
Kolorimetrie (Dithizon)	Cd, Cu (NaDDC), Hg, Pb, Zn
Immunoassay	Cd
Iodometrie	Cr
Ionenchromatographie	F
Ionenselektive Elektrode	F
Titration, Photometrie	F

Tabelle 5: DIN-Vorschriften zur Schwermetall/Elementanalytik

Parameter	Analysenverfahren für Feststoffanalytik bzw. zusätzliche Probenvorbereitung für Feststoffe	Verfahren für wäßrige Lösungen bzw. Lösungen in organischen Lösungsmitteln	Untere Anwendungsgrenze (Angaben nur in bestimmten Fällen)	Bemerkungen
As	DIN 38 414-S7 (1983)	DIN 38 405-D18 (1985) DIN 38 406-E22 (1988)	0,001 mg/l 0,1 mg/l	AAS-Hydridtechnik ICP-OES
B	DIN 38 414-S7 (1983)	DIN 38 405-D17 (1981) DIN 38 406-E22 (1988)	0,01 mg/l 0,005 mg/l	Photometrie mit Azomethin-H ICP-OES
Cd	DIN 38 414-S7 (1983)	DIN 38 406-E19-1 (1922) DIN 38 406-E19-2 (1992) DIN 38 406-E22 (1988)	0,05 mg/l 0,0003 mg/l 0,01 mg/l*	Flammen-AAS Graphitrohr-AAS ICP-OES
Cr	DIN 38 414-S7 (1983)	DIN 38 406-E10-1 (1985) DIN 38 406-E10-2 (1985) DIN 38 406-E22 (1988)	0,5 mg/l 0,002 mg/l 0,01 mg/l*	Chrom wird bis zu 30-70% nicht aufgeschlossen Flammen-AAS Graphitrohr-AAS ICP-OES
F	bei Böden: VDI-Richtlinie 3795 (1978)	DIN 38 405-D19 (1988) DIN 38 405-D4-1 (1985) DIN 38 405-D4-2 (1985)	0,2 mg/l 0,2 mg/l	Photometrie Ionenchromatographie, bei geringer Belastung Fluorid-Ionenselektiver Elektrode Bestimmung des gesamten anorganisch gebundenen Fluorides
Cu	DIN 38 414-S7 (1983)	DIN 38 406-E7-1 (1991) DIN 38 406-E7-2 (1991) DIN 38 406-E22 (1988)	0,1 mg/l 0,002 mg/l 0,01 mg/l*	Flammen-AAS Graphitrohr-AAS ICP-OES
Hg	DIN 38 414-S7 (1983)	DIN 38 406-12-3 (1980) DEV E 12 (1991)	0,0002 mg/l	Kaltdampf-AAS Kaltdampf-AAS
Pb	DIN 38 414-S7 (1983)	DIN 38 406-E6-1 (1981) DIN 38 406-E6-3 (1981) DIN 38 406-E22 (1988)	0,5 mg/l 0,002 mg/l 0,1 mg/l*	Flammen-AAS Graphitrohr-AAS ICP-OES
Sn	DIN 38 406-E22 (1988)	DIN 38 405-D-18 (1985) DIN 38 406-E22 (1988)	0,005 mg/l 0,1 mg/l	AAS-Hydridtechnik ICP-OES
Zn	DIN 38 414-S7 (1983)	DIN 38 406-E8-1 (1980) DIN 38 406-E22 (1988)	0,005 mg/l 0,01 mg/l*	Flammen-AAS ICP-OES

*: Untere Anwendungsgrenze ist durch Aufkonzentrierung beeinflussbar

3.3.1.2 Organische Wirkstoffe

Organische Wirkstoffe werden nach Extraktion aus dem Probenmaterial mittels chromatographischer Methoden ermittelt.

In Tabelle 6 werden gängige Analysenverfahren organischer Wirkstoffe dargestellt.

Tabelle 6: Analysenverfahren organischer Wirkstoffe

Gruppe	Methode	Anwendung	Autor / Norm
OC	n-Hexan-Extraktion, Aufkonzentrierung, Clean-up; GC/ECD o.- MSD	Abfall, Abwasser	Rump, Scholz (1995)
	Aceton-Extraktion o. z.B. mit Acetonitril, SC o. GPC; GC/ECD	Lebensmittel	Thier, Frehse (1986)
	n-Hexan-Extraktion; SC; GC/ECD	Wasser	DFG W 1
	DC	pflanz. u. tierisches Material	DFG-Methode S 1
	DC; GC/ECD	Erde	DFG-Methode S 2
	Reinigung durch KSD, GC/ECD	Obst, Gemüse	DFG-Methode S 12
	Glasfilter, PU-Schaum; GC/ECD	Innenraumluft	VDI 4301
	DC	HSM (Holz)	DIN 52 161, Teil 5 (1979)
OP	Soxhlet- o. Ultraschallextraktion mit Methylchlorid/Aceton; SC, GC/FPD, - PND	Wasser, Boden, Schlamm, Abfälle	EPA-Methode 8141
	GC/MSD	Wasser, Boden, Abfallstoffen	EPA-Methode 8270
	Dichlormethan-Extraktion, Clean-up, GC/MS o. - PND	Abfall, Reststoff	Rump, Scholz (1995)
	Dichlormethan-Extraktion, Clean-up, GC/MS- o. PND	Wasser	DIN 38 407, Teil 12
	Aceton-Extraktion o. z.B. mit Acetonitril, GC/TID, -PND o. - FPD	Lebensmittel	Thier, Frehse (1986)
	GPC, GC/PND o. FID	Obst, Gemüse	DFG-Methode S 17
	GPC; SC; GC/FPD	Erntegüter, Lebensmittel, Erde, Wasser	DFG-Methode S 19 (1991)
Pyrethroide	GC/ECD	Innenraum	Stolz, Krooß (1993)
	GC/ECD	Lebensmittel	Thier, Frehse (1986)
	Extraktion mit Wasser (n-Hexan), NH ₄ Cl-Aceton-Gemisch. (Erde), n-Hexan-Aceton (Pflanzenmaterial), GC/ECD	Lebensmittel, Erde, Wasser	DFG-Methode S 23
Carbamate	Extraktion mit EE, GC/PND	Lebensmittel	DFG-Methode S25
PAK	Methanol-Extraktion, SC, HPLC o. UV-Fluoreszenzdetektion ü. Silicagelsäule	Abfall, Feststoffe	Rump, Scholz (1995)
	Cyclohexan-Extraktion, Festphasenextraktion, GC/FID	Boden	Alef(1994)
		Trinkwasser	DIN 38 407, Teil 7 u. 8
	Filterverfahren, SC, GC/FID	Immissionen, Innenraumluft	VDI 38 375, Blatt 1 (1991)
	DC (Selektiv Nachweis von α - und β -Naphthol)	Holz (HSM)	DIN 52 161, Blatt 5 (1970)
PCB	GC, DC	Holz (HSM)	DIN 52 161, Teil 6 (1979)
		Mineralölerzeugnisse, synth. Schmieröle	DIN 51 527, Teil 1
	n-Hexan/Aceton-Extraktion, Clean-up, GC/MSD,-ECD	Abfall, Reststoffe	Rump, Scholz (1995)
	n-Hexan-Extraktion, Clean-up, GC/ECD o. -MSD	Wasser, Abwasser	
PCN	Soxhlet-Extraktion (n-Hexan), SC, GC/ECD	Boden	Alef(1994)
	Extraktion, Clean-up, GC/MSD	Abfall	Rump, Scholz (1995)
org. Hg- Verbindungen	DC, Nachweis über Monochlornaphthalin	Holz (HSM)	DIN 52 161, Blatt 5 (1970)
	Toluol-Extraktion, GPC, GC/MSD	Abfall, Feststoffe, Wasser	
EOX	Soxhlet-Extraktion mit n-Hexan o. Pentan, Heptan, Coulometrie	Abwasser, Wasser, Schlamm	38 409, Teil 8 (1984)
	Coulometrie	Feststoffe	38 414, Teil 17
	Coulometrie	Abfälle, industr. Reststoffe, Schlamm, Abwasser	Rump, Scholz (1995)
	n-Hexan-Extraktion, Coulometrie	Boden	Alef(1994)

Zur Beurteilung einer Belastung mit polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffen (PAK) werden in der Praxis die nach EPA vorgeschlagenen 16 Einzelkomponenten bestimmt. Die Tabelle 7 zeigt die 16 PAK nach EPA.

Tabelle 7: 16 PAK's gemäß US EPA-610

Acenaphthen	Chrysen
Acenaphthylen	Dibenz(ah)anthracen
Anthracen	Fluranthen
Benzo(a)anthracen	Fluoren
Benzo(a)pyren	Indeno(1,2,3-cd)pyren
Benzo(b)fluranthen	Naphthalin
Benzo(ghi)perylen	Phenanthren
Benzo(k)fluranthen	Pyren

Für die Beurteilung von PCB-Kontaminationen sind die 6 Kongenere PCB 28, 52, 101, 138, 153 und 180 nach der Ballschmiter-Nomenklatur ausschlaggebend. Die Tabelle 8 zeigt die 6 Indikatorkongenere nach Ballschmiter.

Tabelle 8: PCB-Indikatorkongenere nach Ballschmiter (1980)

2,4,4'-Trichlorbiphenyl	PCB 28
2,2',5,5'-Tetrachlorbiphenyl	PCB 52
2,2',4,5,5'-Pentachlorbiphenyl	PCB 101
2,2',3,4,5,5'-Hexachlorbiphenyl	PCB 138
2,2',4,4',5,5'-Hexachlorbiphenyl	PCB 153
2,2',3,4,4',5,5'-Heptachlorbiphenyl	PCB 180

3.3.2 Auswahl der Wirkstoffe

Die Auswahl der Wirkstoffe erfolgte nach Gesichtspunkten der Einsatzhäufigkeit und Entsorgungsrelevanz.

In den unterschiedlichen HSM-Typen wurden folgende Wirkstoffe eingesetzt:

- Holzschutzmittel auf Steinkohlenteerölbasis: Hier sind als Wirkstoffe in erster Linie polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) zu nennen, teilweise wurden auch organische Wirkstoffe, wie z.B. Chlornaphthalin oder PCP, zugesetzt (DESO-WAG 1992).
- Holzschutzmittel auf öliger Basis: Diese enthielten bzw. enthalten synthetische Insektizide und Fungizide wie z.B. Pentachlorphenol (PCP), Lindan und andere HCH-Isomere, Dichofluanid, Endosulfan, Chlorthalonil, Parathion (E605), Chlornaphthaline, DDT, Furmecycloox, Carbendazim usw. und in neuerer Zeit zunehmend Pyrethroide wie z.B. Permethrin, Cypermethrin oder Deltamethrin. Z.T. wurden und werden hier auch metallorganische Verbindungen wie Phenylquecksilberoleat oder Tributylzinnoxid bzw. -naphtenat eingesetzt.
- Holzschutzmittel auf wässriger Basis: Neben den heute noch angewandten anorganischen Holzschutzsalzen auf Basis von Chrom-, Arsen-, Kupfer-, Bor-, Fluor- und Hexafluorosilikat-Verbindungen wurden früher auch quecksilberhaltige Mittel eingesetzt. Eine neuere Klasse von Holzschutzmitteln auf wässriger Basis enthält Wirkstoffe vom Typ Tris(N-Cyclohexyldiazonium)-Kupfer bzw. Aluminium oder Kalium.

Tabelle 9 zeigt einen Überblick über die häufigsten und wichtigsten Holzschutzmittelwirkstoffe.

Aufgrund der großen Anzahl an Wirkstoffen war es nötig, eine Auswahl der zu untersuchenden Substanzen zu treffen.

Als Auswahlkriterien für Wirkstoffe, die in dem Verfahren erfaßt werden sollten, sind zu nennen:

Produktionsdaten (Auswahl nach Herstellungs- und Einsatzmengen)

Zum Einsatz von Holzschutzmitteln in der ehemaligen BRD, auch über einen länger zurückliegenden Zeitraum, gibt es durch Recherchen im Auftrag des UBA ausreichend Informationen (Brückner, Willeitner 1992; Voß, Willeitner 1994). Somit kann relativ gut abgeschätzt werden, welche Holzschutzmittelwirkstoffe in Holzabfällen vorkommen können, und das Entsorgungsrisiko kann eingeschätzt werden.

Zu Veränderungen ist es durch die neuen Bundesländer gekommen. DDT und PCP wurden z.B. in der ehemaligen DDR bis Ende der 80er Jahre eingesetzt, während sie in der BRD schon per Gesetz verboten waren. Während in der BRD schon seit den 60er Jahren Kupferverbindungen, meist in Verbindung mit Chrom verwendet wurden, kamen Kupferverbindungen in der ehemaligen DDR erst ab 1985 zum Einsatz (ASMW 1988; Wehle et al. 1996). Da ein großer Teil der Alt- und Resthölzer aus den neuen Bundesländern stammt, müssen die in der ehemaligen DDR verwendeten Holzschutzmittel in die Betrachtung zur Auswahl der Wirkstoffe mit einbezogen werden.

Heute nicht mehr eingesetzte Wirkstoffe sind CF-, und CFA-Salze, Quecksilberchlorid (Sublimat), Pentachlorphenol, Chlornaphthaline, Phenyl-Quecksilber-Verbindungen, Furmecycloxy, Kupfer-Naphthenat und Blei-Naphthenat (UMK 1996). Die Anwendung von PCP, DDT und Quecksilber als Holzschutzmittel ist nach der ChemVerbotsV (1996) und der GefStoffV (1993) verboten. Anwendungsbeschränkungen unterliegen Arsenverbindungen und Teeröle.

Im LAGA-Entwurf (1998) wurde festgelegt, entsorgungsrelevanten Parameter zur Feststellung des Verwertungs- oder Entsorgungsweges von Holzabfällen zu untersuchen: Bor, Arsen, Fluor, Kupfer, Quecksilber, PCP, Lindan, Teeröle (Benz(a)pyren), Halogenorganische Verbindungen (EOX) und Chrom.

Tabelle 9: Überblick über die häufigsten und wichtigsten Holzschutzmittelwirkstoffe

Voß, Willeitner (1994)	UMK (1996)	Marutzky (1990a); Marutzky (1990b)	Marutzky, Peck, Willeitner (1993)	UMK (1996)
Häufige Wirkstoffe in IfBT-Rezepturen	Häufigsten anorg. und wichtigsten org. Wirkstoffe	Heute oder früher gebräuchliche Wirkstoffe	Wichtigsten heute eingesetzten Wirkstoffe	Derzeit häufig eingesetzte Wirkstoffe
organische Wirkstoffe: Lindan PCP-Verbindungen Dichlofluamid TBT-Verbindungen Steinkohlenteeröl Fumecyclox Phenyl-Quecksilber-Verbindungen Xyligen-Al Endosulfan Pyrethroide Chlornaphthaline	anorganische Wirkstoffe: Arsen Bor Chlor Chrom Fluor Kupfer Zink organische Wirkstoffe: Lindan PCP-Verbindungen Dichlofluamid (DCFN) TBT-Verbindungen Steinkohlenteeröl Fumecyclox Phenyl-Quecksilber-Verbindungen Al-HDO Endosulfan Pyrethroide Chlornaphthalin	anorg. Wirkstoffe: Arsen (As_2O_3 , Na_3AsO_4) Bor (H_3BO_3 , $Na_2B_4O_7$) Chrom ($Na_2Cr_2O_7$) Fluor (NaF , KF , KHF_2 , $(NH_4)HF_2$) Kupfer ($CuSO_4$) Quecksilber ($HgCl_2$) Zink ($ZnCl_2$) Metallorg. Wirkstoffe: Zinn (Tributylzinn) org. Wirkstoffe: Steinkohlenteeröl (z.B. Aromaten, Phenole) Chlornaphthaline Baycarb Carbendazim Chlorthalonil Dichlofluamid Fumecyclox Lindan PCP Phoxim Xyligen u.a.	Triazole (meist Tebuconazol) Dichlofluamid (DCFN) Xyligen-Al Carbamate (meist IPBC) org. Zinnverbindungen (TBTN, TBTO) Pyrethroide Lindan	anorganische Wirkstoffe: Borsalze CKB-Salze organische Wirkstoffe: Kupfer-HDO Dichlofluamid Pyrethroide Tebuconazol Propiconazol

Anhand der oben genannten Fakten wurde eine entsprechende Auswahl an relevanten Holzschutzmitteln vorgenommen. Die Elemente Arsen (As), Bor (B), Cadmium (Cd), Chrom (Cr), Fluor (F), Kupfer (Cu), Quecksilber (Hg), Zinn (Sn) und Zink (Zn) bilden die wichtigsten Bestandteile der anorganischen Holzschutzmittel. Die Anzahl der organischen Wirkstoffe ist im Vergleich deutlich höher. Ausgewählt wurden Wirkstoffe (Tabelle 10), die häufig zum Einsatz kamen, die in ihrer Anwendung verboten und beschränkt sind, die bei der stofflichen Entsorgung problematisch sind und von denen eine Umweltgefährdung ausgeht. Holz und Holzwerkstoffe können u.a. mit Flamm- oder Brandschutzmitteln belastet sein. Problematisch sind hierbei die als Flammschutzmittel eingesetzten PCB-Verbindungen. Als Indikatorverbindungen für eine PCB-Kontamination werden hierbei üblicherweise 6 PCB-Kongeneren herangezogen. PCB können auch in Anstrichstoffen und Beschichtungen und Anschlußfugen (Fenster, Tür-

zargen) enthalten sein (PCB-Richtlinie 1994). PCB-Verbindungen unterliegen ebenfalls der Verbotsverordnung (ChemVerbotsV 1993).

Tabelle 10 zeigt die im Rahmen dieses Vorhabens zur Untersuchung ausgewählten Wirkstoffe/Elemente.

Tabelle 10: Im Rahmen dieses Vorhabens geprüfte Wirkstoffe/Elemente

Substanzgruppe	Wirkstoff	(mögliche) HSM-Belastung	(mögliches) Altholzortiment
Schwermetalle Bor (B)	Arsen (As) Bor (B) Cadmium (Cd) Chrom (Cr) Kupfer (Cu) Quecksilber (Hg) Blei (Pb) Zinn (Sn) Zink (Zn)	CFA, CKA, Bor, CFB, CKB, CF, CK, CKF, HgCl ₂ (Sublimat) anorg. Pigmente, metallorg. Verbindungen, Metallkomplex-Verbindungen	Dachbalken, Latten; Holzwerkstoffe (z.B. Spanplatten); tragende, aussteifende Hölzer unter Dach u. im Außenbereich; Außenverbretterung; Gartenmöbel, Parkbänke; Zäune, Sichtschutzwände; Holzpflaster; Palisaden, Spundwände; Rebpfähle; Hopfenstangen; Masten; Kabeltrommeln
Fluorid (F)	Fluor (F)	SF, CF, CFA, CFB, CKF	Dachbalken, Latten; Holzwerkstoffe (z.B. Spanplatten); tragende, aussteifende Hölzer unter Dach; Außenfenster, Außentüren; Gartenmöbel, Parkbänke; Zäune, Sichtschutzwände; Holzpflaster; Palisaden, Spundwände; Rebpfähle; Hopfenstangen; Masten; Kabeltrommeln
Organophosphorpestizide Carbamate Triazole sonstige	(Chlorpyrifos) Carbendazim Furmecycloz Parathion (-ethyl u. -methyl) Phoxim Propiconazol Propoxur Tebuconazol Troysan Polyphase	lösemittelhaltige Präparate	Dachbalken u. Latten; Innenausbau; tragende, aussteifende Hölzer aus dem Außenbereich; Außenfenster, Außentüren; Außenverbretterung; Gartenmöbel, Parkbänke; Zäune, Sichtschutzwände;
Organochlorpestizide Chlornaphthaline sonstige	Aldrin Chlornaphthaline Chlorthalonil DDT Dichlofluamid Dieldrin Endosulfan HCH-Isomere Lindan PAK PCP TBTO PCB	lösemittelhaltige Präparate (PCP und Chlornaphthaline auch in Teeröl)	Dachbalken, Latten; Innenausbau; tragende, aussteifende Hölzer aus dem Außenbereich; Außenfenster, Außentüren; Außenverbretterung; Gartenmöbel, Parkbänke; Zäune, Sichtschutzwände; Holzpflaster; Palisaden, Spundwände; Rebpfähle; Masten; Bahnschwellen
Pyrethroide	Cyfluthrin Cypermethrin Deltamethrin Permethrin	lösemittelhaltige Präparate	Innenausbau; tragende, aussteifende Hölzer aus dem Außenbereich; Außenfenster, Außentüren; Außenverbretterung; Gartenmöbel, Parkbänke; Zäune, Sichtschutzwände;

Zuordnung der möglichen Belastung bzw. des möglichen Altholzsortimentes nach Bringezu, Voß 1993; Voß, Willeitner 1994; Peek et al. 1994; Voß 1995.

3.3.3 Auswahl der Analytikverfahren

3.3.3.1 Qualitativer Nachweis

Der Nachweis einer Holzschutzbehandlung kann qualitativ mittels chemischer Reaktionen über das Sichtbarmachen von Schutzmittel im Holz erfolgen. In der Regel erfolgt der Nachweis der Schutzmittel über die Farbe ihrer Reaktionsprodukte im Holz. Dabei bildet der im Holz befindliche Wirkstoff mit dem Reagenz zusammen eine kräftig gefärbte Verbindung. Oder aber es werden Reagenzien auf das Holz aufgebracht, die durch die Anwesenheit des Schutzmittels einen deutlichen Farbwechsel hervorrufen (Theden, Kottlors 1965).

Tabelle 11 zeigt verschiedene Methoden zum qualitativen Nachweis von Holzschutzmittelwirkstoffen.

Derartige Verfahren kommen für die vorliegende Fragestellung aufgrund mangelnder Quantifizierbarkeit und nicht ausreichender Empfindlichkeit nicht in Betracht.

Tabelle 11: Qualitativer Nachweis von Holzschutzmittelwirkstoffen
(in Anlehnung an Kottlors, Theden 1965 und Becker 1967)

Nachweis	Reagenz	Farbreaktion/ Farbumschlag	Störungen	Empfindlichkeit (kg/m ³)
F	Zirkon-Alizarin	rot ⇒ gelb	Sulfate, Arsenate, Phosphate, Oxalate, pH-Wert, Holzfeuchtigkeit, Cr-III u. Cr-VI	1 NaF
	Brenzkatechinviolett, Zirkonchlorid	blau ⇒ gelb	Cu-II, Chrom, mehrwertige Kationen, alk. Reaktion, Mischfarben bei kleinen Konzentrationen	0,5 NaF
	Eisenthiocyanat	Entfärbung	Entfärbung in Anwesenheit alk. Stoffe, Chrom pH-Wert, Bindungsart, Holzfeuchtigkeit	k.a.
	Berliner Blau	blaugrün	Cr-VI	versch.
	Turnbulls Blau	Entfärbung	ungleichmäßige Entfärbung	k.a.
	Phenolrot	rot ⇒ gelb	Holzfeuchtigkeit	1 NaF
	Glasätzung	Mattätzung		k.a.
Cr-III	Eriochromcyanin-Lösg.	rot ⇒ blau		k.a.
Cr-VI	1. Diphenylcarbazid 2. Benzidin 3. Blei-II-acetatlösung	1. violett 2. blau 3. gelb		k.a.
As-III	Jod-Stärke	Entfärbung	andere Reduktionsmittel, Cu-II, Holzfeuchtigkeit	0,07 - 0,2 mg/m ³ NaAsO ₂
As-V	1. Silbernitratlösung 2. Benzidin	1. braun 2. blaugrün	1. alk. Reaktion 2. Reaktion auf Silicate, Fluorosilikate, Phosphate	1. 7*10 ⁻⁸ - 2*10 ⁻⁷ Dinatriumhydrogenarsenat 2. 0,2
As	unterphosphorige Säure	schwarzbraun	HgCl ₂	28 Dinatriumhydrogenarsenat
Cu	1. Diphenylcarbazid 2. Chromazurol-S 3. Brenzkatechinviolett 4. Kaliumiodid, Stärke	1. violett 2. blau 3. blau 4. blau	1. Hg 2. k.a. 3. k.a. 4. k.a.	1. 0,7 CuSO ₄ ×5 H ₂ O; 0,2 Cu 2. k.a. 3. 0,2 Cu 4. k.a.
Cu-II Cu-napht- henat	Dithiooxamid (Rubanwasserstoff)	graublau bis blauschwarz	Eigenfärbung des Holzes (Vergrauung)	1,4 CuSO ₄ ×5 H ₂ O, 0,4 Cu
Cu-II	Kaliumhexacyanoferrat	braun	Eisen-III-Salze o. Oxide	1,4 CuSO ₄ ×5 H ₂ O ; 0,4 Cu
B	Curcuma	gelb ⇒ rot	oxidierende Subst., Chromat	2 - 4 H ₃ BO ₄
	Polyvinylalkohol, Iodlösung	blau		2,4
	Brenzkatechinviolett	rotbraun	Cu-II, Zink-Ionen	1,5
Hg-II (als Sulfid)	Ammoniumsulfid-Lsg.	dunkel		0,3 - 1,5 HgCl ₂
HgCl ₂		schwarz		
PCP	Borax, 4- Amino-antipyrin, Kalium-ferricyanid	Grün-blau-grau , restliche Holzteile rot		
Cl-haltige Mittel	Beilsteinprobe	blaugrüne	unspezifische Reaktion (NaCl)	
PCP	Oxalsäure, Kalium-chlorat, Dimethylanilin	grün-violettblau		

3.3.3.2 Schnellerkennungsverfahren

In letzter Zeit wird die Anwendung von Schnellverfahren diskutiert, die eine Charakterisierung von Hölzern hinsichtlich ihres Belastungsgrades ermöglichen sollen. Mögliche Einsatzfelder für Schnellerkennungsmethoden könnten nach Vogt (1996) sein: Eingangs-

Kontrolle in Anlagen zur thermischen oder stofflichen Verwertung von Alt- und Resthölzern, Sortieranlagen z.B. Baustellenabfälle, Altholzaufbereiter und -verwerter und kontrollierter Gebäuderückbau. Tabelle 12 zeigt die Anforderungen an Schnelltestmethoden.

Tabelle 12: Anforderungen an Schnelltestmethoden
(Vogt, Bockelmann 1995; Vogt 1996)

1.	Nachweis anorganischer und organischer Kontaminationen: Halogene, Schwermetalle, PCP, Lindan, Teeröle u.s.w.
2.	Richt- bzw. Grenzwerte müssen im Bereich der Methode liegen: zuverlässige Überprüfung von Grenz- und Richtwerten
3.	einfache Durchführung der Tests (nach kurzer Einarbeitung auch durch nicht speziell ausgebildetes Personal möglich)
4.	kurze Analysenzeit: Testergebnis sollte in wenigen und in speziellen Fällen maximal nach 15-30 min. vorliegen
5.	wenig Probenvorbereitung
6.	Verfahren darf nicht teuer sein
7.	keine hohen Wartungskosten
8.	tragbar oder mobil
9.	einfache Bedienung

Tabelle 13 gibt einen Überblick über Schnellerkennungsverfahren zur Ermittlung von Holzschutzmitteln in Holz und Holzwerkstoffen.

Tabelle 13: Schnellerkennungsverfahren zur Ermittlung von Holzschutzmitteln in Holz und Holzwerkstoffen

Autor/ Methode	Verbindungen	Nachweis	Methode	Empfindlichkeit (NWG) mg/kg Holz	Störungen	Anwendung Kosten
Vogt (1996): Farbtests	Schwermetalle Halogene	halbquant. <u>Einzelnachweis:</u> Cu, Cr, F- <u>Screening:</u> Pb, Cd, Cr, Hg, Cu, Zn	siehe Tab. A 1	150-250 mg/kg	Neben- reaktionen	Einfache Anwen- dung; Analysenzeit bis zu 45 min; appa- rativer Aufwand u. Kosten gering
Vogt (1996) Schaad (1996) Krah (1996): D TECH-Immuno- assay	PCP 16 PAK's PCB Benzin-KW	halbquant. allg. in Bodenproben	Ultraschall- extraktion (Methanol); Zutropfen von Substraten => Farbreaktion; visuelle o. pho- tometrische Bestimmung	<u>Nachweis</u> <u>Bodenanalytik</u> (hohe Spezifität) von PCP ab 2,5 16 PAK: 0,6-25		Reaktionszeit 30 min; Notwendigkeit von Testkits; Testkit- Kosten: 240 - 600 DM; geringer apparitiver Auf- wand; nur Bestimmung von Größenordnungen
Vogt (1996): Ionen- Mobilitäts- Spektrometrie (IMS)	flüchtig org. Wirkstoffe					Analysenzeit: kurz; Praxistauglichkeit im Industrieinsatz Nicht bewiesen
Vogt (1996): Thermodesorption mit nach- geschaltetem MS	Holzschutz- mittel					
Vogt (1996): Pyrolyse über GC/MS		qualitativ halbquant.				
Vogt (1996): Nah-Infrarot- Spektroskopie(NIR)	org. Verbdg. C-O-, C-H- und C-C-Bindungen	Summenpara- meter		im %-Bereich		Analysenzeit je nach Probenvorbereitung 15- 80 min
Link, Lange (1996): Biotests Bsp. Leuchtbakterien-test	schädigende Wirkung von Substanzen Ökotoxikologie					Anwendung testferti- ger konservierter Bak- terien; Testzeit: 30 min; gute Reproduzier- barkeit der Ergebnisse
Peylo (1998): IMS, RFA, Laser- AES	überwiegend Schwermetalle					Anwendung und Validierung findet z.Z. im Rahmen eines DBU-Projektes statt

*: Definition nach Kern (1996)

Ein Einsatz von Schnellerkennungsmethoden ist generell sinnvoll zur vorläufigen Einstufung von Abfall, aber nur in begrenzten Konzentrationsbereichen. Zur Einschätzung des Belastungsgrades inhomogener Altholzmischsortimente sind diese Methoden nicht ausreichend. Diese Mischsortimente sind vielfach aus stark belasteten, kontaminierten und naturbelassenen Hölzern zusammengesetzt. Die Schutzmittelgehalte dieser Hölzer können sehr unterschiedlich sein. Von Relevanz ist die eindeutige Unterscheidung von belasteten und naturbelassenen und somit unbelasteten Hölzern. Hierzu sind Verfahren notwendig, die eine ausreichende Empfindlichkeit aufweisen.

Diese Verfahren müssen vor Ort einsetzbar, kostengünstig, leicht handhabbar, standardisiert und validiert sein.

3.3.3.3 Quantitativer Nachweis

Für den quantitativen Nachweis organischer und anorganischer Holzschutzmittelverbindungen werden zahlreiche verschiedene Methoden angewandt, die sich hinsichtlich ihrer Genauigkeit, Empfindlichkeit unterscheiden.

Das LUA NRW legt für die Analysen des Outputmaterials (Grob-, Mittel- und Feinfraktion von z.B. Recyclingholz) von Holzaufbereitungsanlagen folgende zu analysierende Parameter und die dabei anzuwendenden Methoden fest (LUA, NRW 1997). Die Methoden werden in Tabelle 14 dargestellt.

Tabelle 15 zeigt die gängigen Untersuchungsmethoden für anorganische, Tabelle 16 für organische Schutzmittel in Holz und Holzwerkstoffen.

Tabelle 14: Analysemethoden für Recyclingholz (nach LUA NRW 1997)

Parameter	Bestimmungsmethode	Bestimmungsgrenze mg/kg
Probenaufschluß	Salpetersäuredruckaufschluß: angelehnt an Untersuchungsverfahren nach § 35 LMBG (Durchführung mittels Mikrowelle)	
1. Arsen 2. Bor 3. Cadmium 4. Chrom 5. Kupfer 6. Blei 7. Zink	DIN 38 406-E22 (ICP-OES)	0,8 5 0,2 1 2 2,5 5
Quecksilber	DIN 38 406 E12-1	0,05
Chlor gesamt, Fluor gesamt	Wickbold-Verbrennung, Ionenchromatographie bzw. ionenselektive Elektrode	100
Pentachlorphenol	Extraktion mit Toluol, Derivatisierung mit TESH, GC/ECD	0,1
Lindan	Extraktion mit Toluol, GC/ECD	0,1
PAK nach EPA	Extraktion mit THF/Ultraschall, HPLC-DAD/-FLD	k.a.

Tabelle 15: Untersuchungsmethoden für anorganischen Schutzmittel in Holz- und Holzwerkstoffen

Autor/Fragestellung	Wirkstoff/Element	Aufschluß	Nachweisverfahren	Bestimmungsgrenzen (mg/kg)
Wolf et al. (1990): Rohhölzer und Hölzer aus der Produktion	Cr _{gesamt}	HNO ₃ und H ₂ SO ₄	Zeemann-AAS mit Graphitrohrtechnik AAS-Hydridsystem	0,01
	As			0,24
Strecker, Marutzky (1994): Holz und Holzwerkstoffe	Cr, Hg, Sn, As	HNO ₃ und HCL (DIN 38 414, Teil 7)	ICP-OES	
	Cu, Zn	Veraschung nach DIN 52 161, Teil 7	AAS	
	Bor	Veraschung (DIN 52 161, Teil 7)	Ionenchromatographie	
	Fluor	Mit Perchlorsäure	Ionenselektive Elektrode	
Stolz, Krooß (1997): Hölzer eines inhomogenen Altholzmischsortimentes	As, B, Cd, Cr, Cu, Hg, Sn, Zn	Mikrowellendruck-aufschluß mit HNO ₃	ICP/MS nach dem Entwurf zur DIN 38 406-E 29	As: 0,05 Cd:0,01 Cr: 0,01 Cu: 0,01 Hg: 0,02 Pb: 0,01 Sn: 0,1 Zn: 0,1
Bockelmann (1995): Waldholz und Hölzer versch. Sortimente	B,Cu, Pb, Sn, Zn	Mikrowellendruck-aufschluß mit HNO ₃	ICP/AES	B: 5 Cu: 2,0 Cd: 0,4 Sn: 2,0 Cr: 1,0 Zn: 10,0
	As, Hg	Mikrowellendruck-aufschluß mit HNO ₃	Hydridsystem-ICP-AES	As: 0,4 Hg: 0,2
	Bor	Mikrowellendruck-aufschluß mit HNO ₃	ICP-AES	5,0
	Fluor	Schöniger-Aufschluß	Ionenselektive Elektrode	2,0
Kluge (1991): Hopfenstangen	Hg	Naßaufschluß mit HNO ₃	AAS-Kaltdampfverfahren	
Lämmke (1974): Kiefernrundklötzchen nach DIN 52 176, im Vakuum getränkt mit rd. 3%igen Lösung eines bor-, kupfer-, chrom-haltigen Schutzmittels	Bor	Probenbefeuchtung mit 3,5%iger Bariumhydroxid-Lösung; Eindampfung bis zur Trockene; Veraschung im Muffelofen	1. Titrimetrische Bestimmung der Borsäure nach Mannitzugabe, Abtrennung des Bors von Störsubstanzen mittels Ionenaustauscher 2. Kolorimetrisch mit Karminsäure	1. Erfassung von Konz. zw. 5...500 2. Erfassung von Konz. zw. 1...10
Peylo (1993): Imprägniertes Holz	Bor	Soxhlet-Extraktion mit 10%iger Mannitol-Lösung	1. Titrimetrisch mit Mannitol 2. Photometrie mit Azomethin	1. Erfassung von Konz. zw. 5-ca. 1000 2. Konz. unter 10
Berghoff (1957): Holz	Fluor	1. Auswaschung mit H ₂ O, 0,2 N; NaOH-Lösung, 7 d 2. Destillation unter Vakuum	Titration mit Thoriumnitrat-Lösung	

Tabelle 16: Untersuchungsmethoden für organischen Schutzmittel in Holz und Holzwerkstoffen

Autor/Fragestellung	Verbindung	Probenahme	Nachweisverfahren	Bestimmungsgrenze (mg/kg)
Blessing, Derra (1992): Oberflächenbelastung von Holzverkleidungen	PCP Lindan	Hobelspäne, Handhobel, Entnahmetiefe 1 mm	Standards: C ¹³ -PCP, C ¹³ -Lindan; Ansäuerung mit H ₂ SO ₄ ; Kaltextraktion im Ultraschallbad; Lindan-Nachweis (underivatisiert); PCP (Diazomethan); Bestimmung mit GC/MS	0,1 mg/kg
Glattes (1983): Rückstände in Sägemehl, Hackgut und Rindenstücken	Lindan Hexachlorbenzol	Entnahme an verschiedenen Standorten	Kaltextraktion mit Aceton (10g); Filtrat mit 25 ml gesättigter NaCl-Lösung (Petrolether/NaOH/NaCl-Verteilung); SC-Aufreinigung mit Al ₂ O ₃ ; Bestimmung mit GC/ECD	(Rückstandswerte lagen im ppm-Bereich)
Ruh, Gebefügi (1984): HSM-Gehalten in Holzproben, die offensichtlich nicht belastet sein sollten	PCP Lindan	Sägespäne	Einwaage von 0,5-2 g Material; Zugabe von 10 ml Aceton, Ultrachallextraktion mit Aceton (0,5-2g); 0,1 M K ₂ CO ₃ ; PCP (Essigsäureanhydrid.), Hexanextraktion; Bestimmung mit GC/ECD	k.a.
Wolf et al. (1990): HSM-Gehalte in Rohhölzern u. Hölzern aus der Produktion	PCP 2,3,4,6-TCP Lindan	Raspelspäne, Tiefe < 1 mm; nach Entfernung der Oberfläche, Bohr-sowie Sägespäne eines Bohrers	Ultrachallextraktion mit Benzol; Standard 2,4,6-Tribromphenol; Chlorphenole (Diazomethan); Bestimmung mit GC/ECD	Chlorphenole: 0,1 PCP: 0,03 Lindan: 0,05
Wulf et al. (1993): Belastung von Fichtenholz und -rinde nach praxisüblicher Borkenkäferbekämpfung	Lindan Cypermethrin	gefällte Bäume, praxisüblich behandelt; Beprobung nach 14, 84, 168 d; Holz-scheiben; Hobelspäne mittels Schlagwerk-mühle	Ultraturax-Kaltextraktion mit H ₂ O/Aceton (20g); n-Hexanextraktion; SC Aufreinigung; Bestimmung mit GC/ECD, GC/MS	Blindwerte lagen bei Cypermethrin unter 0,01, bei Lindan unter 0,005
Strecker, Marutzky (1994): Untersuchung von Waldholz und unbehandeltem Industrie- u. Restholz	PCP Lindan	Zerkleinerung repräsentativer Proben	PCP-Nachweis: Extraktion mit wässriger K ₂ CO ₃ -Lösung (Acetanhydrid); Lindan-Nachweis: Xylolextraktion; Bestimmung mit GC/ECD	k.a.
Bockelmann (1996): Untersuchung von Holz und Holzwerkstoffen auf HSM	PCP Lindan PAK	Querschnittsscheiben; Bohrkern (Querschnitt); Oberfläche 0,3cm; Schlagkreuzmühle; bei Recycling-spänen keine Zerkleinerung	Ansäuern mit 1 M H ₂ SO ₄ ; Ultrachallextraktion mit Toluol (1,5 g); Standard 2,4,6-Tribromphenol; SC-Aufreinigung; PCP-Nachweis: (Essigsäureanhydrid/K ₂ CO ₃); Bestimmung mit GC/ECD; PAK-Nachweis: Soxhlet-Extraktion mit Cyclohexan Standard.(H ²); SC-Aufreinigung; H ² -12-Perylen für Wiederfindung; Bestimmung mit GC/MS	Lindan: 0,08 PCP: mit Aufreinigung 0,1; ohne Aufreinigung 0,05
Düszeln et al. (1987): HSM-Gehalte in Holzspänen	PCP Lindan	Holzspäne	Batch-Extraktion mit n-Hexan; PCP-Nachweis: Reextraktion mit K ₂ CO ₃ /Acetylierung), Wiederfindung um 90 %, Bestimmung mit GC/ECD	0,1 mg/kg (Nachweisgrenze)

3.3.4 Festlegung des Gesamtverfahrens zur Analytik

Zur Quantitativen Bestimmung der Elemente Arsen (As), Bor (B), Cadmium (Cd), Chrom (Cr), Kupfer (Cu), Quecksilber (Hg), Zinn (Sn) und Zink (Zn) wurde als Methode die ICP/MS ausgewählt, da diese Methode die simultane Bestimmung aller relevanten Elemente bei der geforderten niedrigen Bestimmungsgrenze ermöglicht. Die Bestimmung erfolgt nach dem Entwurf zur DIN 38 406 E-29. Als Aufschlußverfahren wurde ein Totalaufschluß in der Mikrowelle mit Salpetersäure gewählt.

Die Richtigkeit der ermittelten Analysenergebnisse bzw. die Genauigkeit der Bestimmungsmethode wird durch Reproduzierbarkeitsmessungen unter Einsatz eines zertifizierten Standards bestimmt.

Die Ermittlung der Gehalte an Fluorid erfolgt gemäß der DIN 38 405, Teil 4 mittels ionenselektiver Elektrode nach wässriger Elution. Mit diesem Verfahren werden ausreichende Analysenergebnisse erzielt.

Zur Ermittlung der Organochlorpestizide, PAK und PCN wurde eine geeignete Sammelmethode angewendet, die eine Bestimmung mehrerer Wirkstoffe in einem Arbeitsgang zuläßt. Die Extraktion erfolgte hierbei mit einem relativ polaren Extraktionsmittel, um damit auch Wirkstoffe unterschiedlicher Polarität erfassen zu können. Zur Abschätzung der Extraktionseffizienz wurde ein Versuch zur vollständigen Extraktion der Wirkstoffe an einem Fallbeispiel durchgeführt. Ausgegangen wurde von einer Extraktionsdauer von 5 h. Zur Abtrennung von Störsubstanzen erfolgte eine Aufreinigung nach der DFG-Methode S 19 mittels Mini-Kieselgelsäule. Damit geringe Nachweis- und Bestimmungsgrenzen erzielt werden können, wurden die Extrakte vor der Aufreinigung eingengt. Zur Ermittlung der PCP-Gehalte erfolgte eine entsprechende Derivatisierung. PCP wurde kapillargaschromatographisch über ECD identifiziert und quantifiziert. Die anderen Verbindungen wurden mittels GC/MS bestimmt. Da speziell für PCP sehr geringe Bestimmungsgrenzen angesetzt wurden, erfolgte die Bestimmung mit dem empfindliche-

ren Elektroneneinfangdetektor. Hierzu werden besonders gut gereinigte Probenextrakte benötigt.

Für die Bestimmung der z.t. thermolabilen Organophosphorpestizide, Carbamate, Triazole und Fumecycloxyd wird ebenfalls eine Sammelmethode angewendet. Hierzu werden die Wirkstoffe in Aceton über Nacht kalt extrahiert. Für die Identifizierung und Quantifizierung wird die GC/MS herangezogen, die ausreichende Empfindlichkeit bietet.

Zur Bestimmung der Pyrethroide werden Optimierungsversuchen zur Ermittlung eines geeigneten Extraktionsmittels durchgeführt. Nach der Soxhlet-Extraktion werden die Extrakte eingeeengt, über Mini-Kieselgelsäule aufgereinigt und mittels GC/ECD identifiziert und quantifiziert. Auch hier werden mit dem Elektroneneinfangdetektor bessere Bestimmungsgrenzen erzielt.

Als Gruppenparameter werden die organischen Halogen-Verbindungen in Form von EOX bestimmt. Die Bestimmung wird in Anlehnung an die DIN 38 414, Teil 17 erfolgen.

Einen Überblick über die im Rahmen des Forschungsvorhabens angewandten Analysemethoden gibt die Tabelle 17. Abbildung 5 zeigt eine Übersicht der angewandten Analyseparameter und -verfahren.

Tabelle 17: Im Rahmen des Forschungsvorhabens angewandte Analysenverfahren

Parameter	Probenvorbereitung	Vorteile der Proben- vorbereitung gegen- über anderen Ver- fahren	Meßver- fahren	Vorteile des verwendeten Meßverfahrens
Pb, Cd, Cr, Cu, Zn, Sn,	Mikrowellendruckaufschluß: H ₂ O ₂ + HF+HNO ₃	Erfassung von flüchtigen Ver- bindungen (As, Hg)	ICP-MS	Simultanbestimmung gegenüber AAS möglich höhere Empfindlichkeit als ICP-OES; Bezug von zertifizierten Referenzmaterialien (Multi- elementstandards) möglich gegenüber RFA; quantitative Bestimmung von inhomogenen Probenmaterial unproblematisch gegenüber RFA
As, Hg	Mikrowellendruckauf- schluß:H ₂ O ₂ + HF+HNO ₃		ICP-MS	geringerer apparativer Aufwand als Hydrid- technik
B	Mikrowellendruckauf- schluß:H ₂ O ₂ + HF+HNO ₃		ICP-MS	keine Querempfindlichkeiten und geringere Nachweisgrenzen gegenüber photometrischen Bestimmungen/ICP-OES
F	Elution mit entionisiertem Wasser	einfaches Verfahren	ionen- selektive Elektrode	selektive Bestimmung gegenüber Ionen- chromatographie möglich, (robust, günstig)
PCP	Soxhletextraktion: MeOH/Aceton	simultane Extraktion von polareren Ver- bindungen (PAK/ PCP-acetat) neben unpolaren Ver- bindungen (PCN, die meisten OC) möglich	GC-ECD	höhere Empfindlichkeit als GC-MS
OC, PAK, PCN	Soxhletextraktion: MeOH/Aceton		GC-MS	Simultanbestimmung gegenüber GC-ECD möglich
OP, Carba- mate, Tria- zole,	Kaltextraktion: Aceton	Erfassung von ther- misch labilen Verbin- dungen	GC-MS	
Pyrethroide	Soxhletextraktion: Essig- säureethylester	Selektives Extrakti- onsmittel gegenüber Aceton, niedrigere Nachweisgrenzen möglich	GC-ECD	Bestimmung von Deltamethrin gegenüber GC- MS mit höherer Empfindlichkeit möglich
EOX	Heißextraktion: n-Hexan		Coulo- metrie	Erfassung von ausschließlich organischen Halo- genverbindungen

3.3.4.1 Übersicht der Analysenparameter und Verfahren

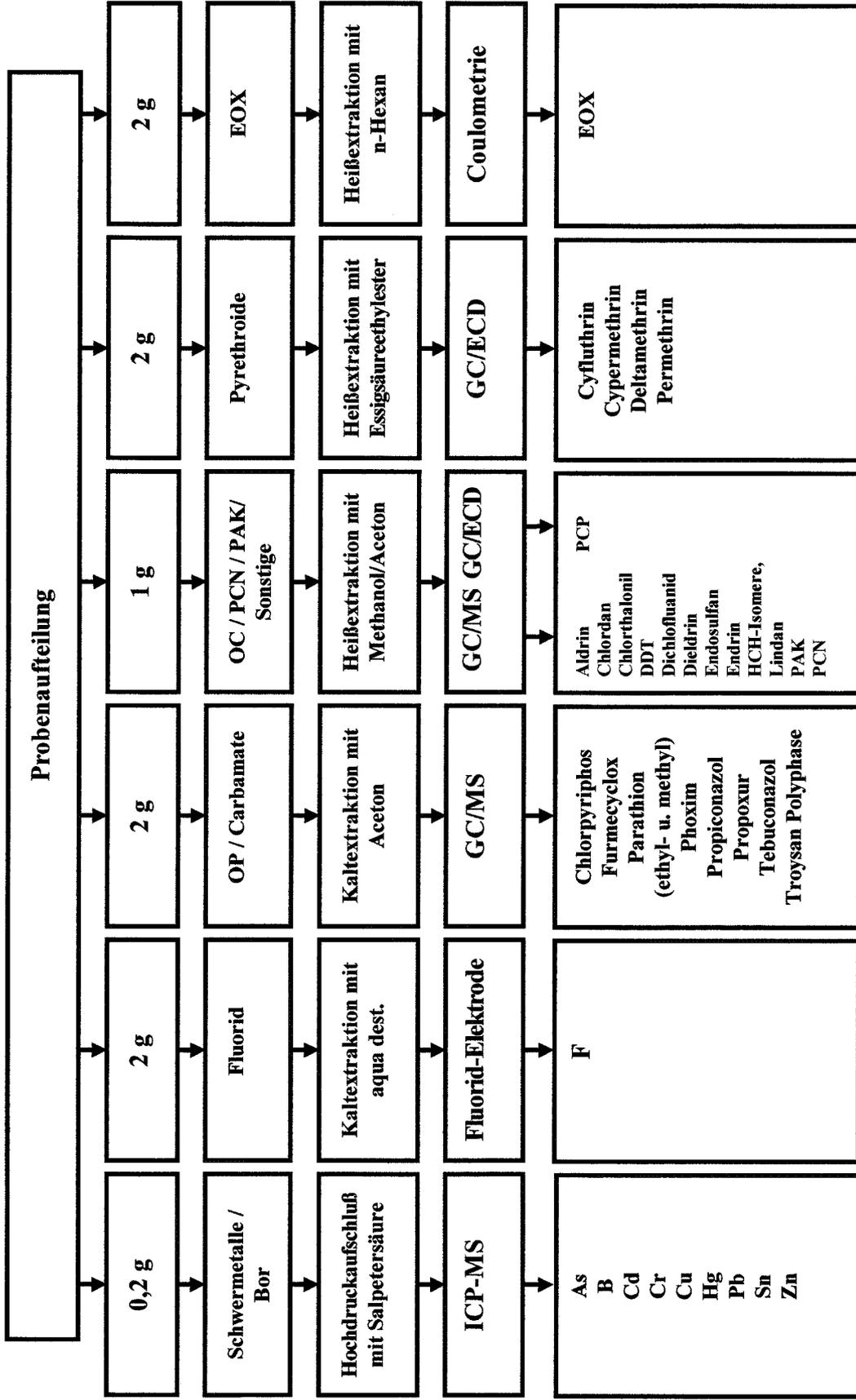


Abbildung 5: Übersicht der Analysenparameter und Verfahren

3.4 Statistik

3.4.1 Allgemeine Statistik

Statistische Methoden dienen der Beschreibung, Auswertung und Beurteilung von Daten.

Sie sind überall da erforderlich, wo Ergebnisse nicht beliebig oft und exakt reproduzierbar sind, deren Ursache in unkontrollierten und unkontrollierbaren Einflüssen, in der Ungleichartigkeit der Versuchsobjekte, der Variabilität des zu untersuchenden Materials und in den Versuchs- und Beobachtungsbedingungen liegen.

Unter 9.1 im Anhang befindet sich eine Erläuterung, der von uns verwandten statistischen Begriffe und Definitionen.

Statistische Verfahren lassen sich grob unterteilen in statistische Entscheidungstechniken (Wahrscheinlichkeitsrechnungen, Verteilungen, statistische Tests), epidemiologische Verfahren, Stichprobenverfahren, Prüfverfahren, Verfahren zur Korrelation und Regression und varianzanalytische Verfahren.

In der Praxis werden statistische Verfahren i.d.R. zur Analyse von Daten herangezogen, insbesondere zur Ermittlung von Mittelwerten, Standardabweichungen, Vertrauensbereichen, Verteilungen und Durchführung von Signifikanztests.

Die Wahl der entsprechenden Verfahren ist anwendungs- und problemorientiert. In den einzelnen Wissenschaftsdisziplinen finden sie unterschiedlichste Anwendung. Beispielsweise werden sie in der analytischen Chemie u.a. zur Qualitätssicherung von Analyseergebnissen herangezogen.

Die erhaltenen Daten können generell eine unterschiedliche Verteilung zeigen. Prinzipiell wird zwischen einer Normalverteilung oder Gaußschen Kurve und asymmetrischen z.T.

mehrgipfeligen Verteilung unterschieden. Für die einzelnen Verteilungen werden verschiedene Kriterien herangezogen.

Der arithmetische Mittelwert und die Standardabweichung sind charakteristische Werte einer Normalverteilung. Sie geben die Lage des durchschnittlichen oder mittleren Wertes einer Meßreihe und die Streuung oder Dispersion der Einzelwerte um den Mittelwert an.

Bei mehrgipfeligen bzw. asymmetrischen wird der Median-Wert (Zentralwert) und Modalwert (Maximum bzw. lokale Dichtemittel) angegeben.

Zur Beurteilung der Güte einer Messung wird bei Meßwerten, die angenähert normalverteilt sind, der Mittelwert mit zugehörigem Standardfehler ($\bar{x} \pm s_{xquer}$) angegeben.

Als einfachstes Streuungsmaß dient die Spannweite bzw. Variationsbreite. Mit wachsendem Stichprobenumfang wird dieses jedoch immer ungeeigneter, da nur die Extremwerte berücksichtigt werden. Die Spannweite wird bevorzugt bei kleinen Stichprobenumfängen eingesetzt, da die Extremwerte um so größer sind, je größer die Stichprobe ist.

Ein angemessenes Streuungsmaß ist die Standardabweichung. Sie ist ein Maß für die Abweichung der Einzelwerte vom arithmetischen Mittelwert und die Abweichung der Einzelwerte untereinander.

Zum Vergleich der Variabilität von Verteilungen, der relativen Standardabweichung von Merkmalen mit unterschiedlichen Mittelwerten wird der Variationskoeffizient (V) eingesetzt. Der Variationskoeffizient ist ein Streuungsmaß mit dem Mittelwert als Einheit. Er gibt die relative Abweichung der Einzelwerte von ihrem Mittelwert bzw. die Standardabweichung (s) im Verhältnis zum Mittelwert an.

Der aus einer Stichprobe ermittelte Mittelwert (\bar{x}) ist nur eine Schätzung des Mittelwertes μ der Grundgesamtheit. Zu diesem Schätzwert läßt sich ein Intervall (Vertrauensbereich, Konfidenzbereich) angeben, das sich über die nächstkleineren und -größeren

Werte erstreckt und vermutlich auch den Parameter der Grundgesamtheit miteinschließt. Durch Veränderung der Größe des Vertrauensbereiches mittels entsprechender Faktoren läßt sich festlegen, wie sicher die Aussage ist, daß der Vertrauensbereich den Parameter der Grundgesamtheit enthält.

3.4.2 Spezielle Statistik „Bootstrap-Verfahren“

Das Bootstrap-Verfahren ist ein spezielles statistisches Verfahren, welches zur Bestimmung von Quantilen eine verteilungsunabhängige Simulation von Datenmaterial verwendet wird (Efron, Tibshirani 1993). Entwickelt wurde eine Variante, mittels derer aus einem realen Datensatz die wahre Dichte der Konzentrationsverteilung geschätzt werden kann (Dichteschätzung durch Kernschätzer mit Gauß-Kern, vgl. Silvermann 1986). Aus dieser Dichte wird jeweils eine Stichprobe („Bootstrap-Replikation“) vom Umfang der Originalstichprobe ($n=25$) zufällig gezogen und jeweils ihr empirisches 90 %-Quantil bestimmt. Dabei wird zwischen zwei Realisierungen linear interpoliert, weil in einer geringen Stichprobe das 90 %-Quantil nicht mit einer Realisierung zusammenfällt. Die Ziehung einer Bootstrap-Replikation wird genügend häufig wiederholt (z.B. 1000 mal), und aus diesen Wiederholungen ergibt sich sowohl eine Schätzung für das gesuchte 90 %-Quantil als Mittelwert (Median) der 1000 Wiederholungen und auch ein 90 %-Vertrauensbereich für das Quantil selbst (aus der empirischen Verteilung der Wiederholungen).

3.5 Analytische Qualitätssicherung

Um repräsentative Analysenergebnisse zu erhalten, ist die Qualitätssicherung in der analytischen Chemie unumgänglich.

Zur Zeit gibt es keine allgemeinen verbindlichen Richtlinien, welche Qualitätsmerkmale mit welchen statistischen oder anderen anerkannten Verfahren ermittelt werden sollten. Oft geforderte Qualitätsmerkmale sind u.a. folgende Verfahrenskenngrößen:

der Meß- bzw. Arbeitsbereich, die Linearität, die Nachweis- und Bestimmungsgrenze, die Selektivität, die Robustheit und die Unsicherheit des Meßergebnisses.

Der Meß- bzw. Arbeitsbereich ist bei jedem Analysenverfahren so zu wählen, daß ein großer Anwendungsbereich abgedeckt wird und die am häufigsten zu erwartenden Probenkonzentration die Arbeitsbereichsmittle sein sollte. Der untere Arbeitsbereich sollte gleich oder größer der Bestimmungsgrenze des Analysenverfahrens sein.

Zwischen Meßwert und Gehalt muß ein linearer Zusammenhang bestehen. Die Linearität kann auf drei Arten geprüft werden: visuell (graphisch); Anpassungstest nach Mandel; durch lineare Regressionsberechnung. Der Anpassungstest nach Mandel ist in der Regel vorzuziehen, da durch ihn schnell (computerunterstützt) deutlich wird, ob eine Funktion 1. Grades oder eher 2. Grades vorliegt.

Art und Umfang der Kalibrierung sind in der Literatur unterschiedlich angegeben. Die DIN 38 402, Teil 51 gibt an, daß mindestens 6 Kalibrierpunkte zu wählen sind (besser 10), die äquidistant über den Arbeitsbereich verteilt sind. Um den mathematischen Zusammenhang zwischen Masse und Signal genau ermitteln zu können, sind mindestens 5 Kalibrierpunkte erforderlich (Regressionsberechnung). Beim ICP-MS ist der Linearitätsbereich über mehrere Zehnerpotenzen gegeben, daher muß hier die Kalibrierung nicht über äquidistanten Abstufungen erfolgen. Gleiches gilt für das Arbeiten mit ionenselektiven Elektroden.

Ein mathematisches Modell zur Bestimmung der Nachweis- und Bestimmungsgrenze ist in der DIN 32 645 beschrieben. In der Praxis jedoch kommen meist andere Modelle zur Anwendung. Rauschen als Nachweisgrenze und das fünf- bzw. neun- bis zehnfache Rauschen wird als Bestimmungsgrenze angegeben. Die so ermittelten Werte geben den aktuellen Gerätezustand wieder. Bei Verfahren, in denen Blindwerte nicht ganz zu unterdrücken sind, z.B. bei der EOX-Bestimmung, wird mehrfach der Blindwert bestimmt. Die drei- bis 10-fache Standardabweichung des Blindwertes ist dann als Nachweisgrenze definiert. Die Bestimmungsgrenze wird bestimmt aus der zweifachen Nachweisgrenze.

Außerdem gibt es noch pragmatische Vorschläge, wie sie zum Beispiel in der DFG-Methode XI beschrieben sind. Hier wird vor allem die Empfindlichkeit mit in die rechnerische Ermittlung einbezogen. Für die Bestimmungsgrenze sollte beispielsweise der Variationskoeffizient $\leq 0,20$ sein und die Wiederfindungsrate $\geq 70\%$ sein. Für rückstandsanalytische Verfahren kann diese Vorgehensweise sinnvoll sein.

Die Unsicherheit des Meßergebnisses sollte bei Analysenergebnissen mit angegeben werden. Ein erfahrener Analytiker kann die Meßunsicherheit auch abschätzen. Mathematisch kann durch Mehrfachbestimmung die Standardabweichung und der Variationskoeffizient mit angegeben werden. Zu überprüfen ist auch, ob der Variationskoeffizient über den definierten Arbeitsbereich konzentrationsabhängig ist. Dies wird meist zusammen mit der Kalibrierung des Gerätes durchgeführt. Überprüft werden sollte in der Routineanalytik außerdem die Gültigkeit der Kalibrierung. Zur Kontrolle der Geräteparameter kann ein interner Standard angesetzt werden, mit Hilfe dessen z.B. Detektorschwankungen rechnerisch ermittelt und Ergebnisse entsprechend korrigiert werden können. Die oben beschriebenen Qualitätsmerkmale sind in erster Linie für das Analysenprinzip anwendbar. Selbstverständlich sollte die gesamte Probenvorbereitung - von der Homogenisierung über die Extraktion und ggf. Aufreinigung - überprüft werden.

Die Ermittlung der Wiederfindungsrate ist unumgänglich und sollte zudem bei verschiedenen Konzentrationen des Arbeitsbereich durchgeführt werden.

Insgesamt ist Art und Umfang der Qualitätssicherung stark abhängig von der gewählten Analysenmethode und insbesondere vom gewählten Analysenprinzip.

Die QS-Maßnahmen sind in Tabelle 18 dargestellt.

3.5.1 Altholzanalysenverfahren

Tabelle 18: Analytische Qualitätssicherung zu den Altholzanalysenverfahren

Analyseprinzip/ Qualitätsmerkmale	GC (ECD) DFG S19	GC (MS) DFG S19	ICP-MS DIN 38 406	Coulometrie DIN 38 414	ionenselektive Elektrode DIN 38 407
Arbeitsbereich	2*10 ²	10 ³	10 ³ - 2*10 ³	1 - 50 mg/l	10 ⁵
Kalibrierung/ Linearitätstest	5-Punkt-Kalibrierung, Funktion 1. Ordnung	5-Punkt-Kalibrierung, Funktion 1. Ordnung	5-Punkt-Kalibrierung, Funktion 1. Ordnung	keine Kalibrierung erforderlich	8-Punkt-Kalibrierung logarithmische Funktion
Nachweisgrenze	3-faches Signal/Rausch-Verhältnis	3-faches Signal/Rausch-Verhältnis	10fache Standardabweichung des Blindwertes	3fache Standardabweichung des Blindwertes	bestimmt durch die Löslichkeit des Einkristallmaterials in der Meßlösung
Bestimmungsgrenze	DFG XI 6-faches Signal/Rausch-Verhältnis	DFG XI 6-faches Signal/Rausch-Verhältnis	2 × Nachweisgrenze	2 × Nachweisgrenze	durch DIN 38 407 bestimmt
Einsatz von internen Standards	ja	ja	ja	nein	nein
relative analytische Unpräzision	4-9 %	5-10 %	2-50 % (konz. abhängig)	3-50 % (konz. abhängig)	7-10 %
Richtigkeitskontrolle	Teilnahme an Ringversuchen; Blindwertproben	Teilnahme an Ringversuchen; Blindwertproben	Teilnahme an Ringversuchen zertifizierte Referenzmaterialien	Kontrollstandard; Teilnahme an Ringversuchen 1 × im Jahr; p-Chlorphenol 10 mg/l; Blindwertproben	Blindwertproben Mittelwertkontrollkarte
Präzisionskontrolle	Mehrfachbestimmungen				
zusätzliche QS-Maßnahmen	1-Punkt-Kalibrierung je Analysenserie (max. 11 Proben) (Rekalibrierung); Überprüfung der Empfindlichkeit und damit Einhaltung der Nachweisgrenzen	1-Punkt-Kalibrierung je Analysenserie (max. 11 Proben) (Rekalibrierung); Geräteüberwachung durch Messung eines Standardgemisches mit 4 chemisch unterschiedlich sich verhaltenen Substanzen	2 Punkt Kalibrierung; 2 × im Jahr Überprüfung der 5-Punkt-Kalibrierung	monatliche Überprüfung von 2 Standardproben; Wiederfindung von 90-110 bzw. 75-125 %	Kalibrierung je Analysenserie; Überprüfung der Steilheit der Elektrode

3.5.2 Mehrfachbestimmung zur Überprüfung des Analysenverfahrens

Da Abweichungen innerhalb des Analysenverfahrens ebenfalls die Analysenergebnisse beeinflussen können, wurde eine Mehrfachbestimmung (n=8) einer Holzprobe durchgeführt. Der arithmetische Mittelwert für die PCP-Gehalte beträgt hierbei 142 mg/kg und für die Lindan-Gehalte 18 mg/kg Holz. Für die PCP-Gehalte wurde eine Standardabweichung von 5,13 mg PCP/kg Holz bzw. eine prozentuale Abweichung von 3,6 % vom

arithmetischen Mittelwert und bei den Lindan-Gehalten eine Standardabweichung von 1,59 mg Lindan/kg Holz bzw. eine prozentuale Abweichung von 8,83 % vom arithmetischen Mittelwert ermittelt.

Der Variationskoeffizient für die PCP-Gehalte beträgt hierbei 0,04 und für die Lindan-Gehalte 0,09.

3.6 Sortimentsauswahl für eigene Untersuchungen

Im Rahmen des Forschungsvorhabens soll ein in der Entsorgungspraxis typisch anfallendes inhomogenes Altholzmischsortiment auf verschiedene Holzschutzmittel untersucht werden.

Dieses Mischsortiment ist in bezug auf seine Zusammensetzung außerordentlich inhomogen und weist einen hohen Vermischungsgrad auf. Um unter praxisnahen Bedingungen mit entsprechenden Ergebnissen zu arbeiten, muß ein real anfallendes inhomogenes Mischsortiment aus dem Bauabriebbereich untersucht werden. Aus diesem Grund wird ein solches Sortiment aus einer Baurestabfallsortieranlage ausgewählt.

Gerade bei den sehr inhomogenen Mischsortimenten des Bauabfallholzes kommt die Problematik der schwierigen Erfassung und Identifizierung von Holzschutzmitteln zum Tragen.

Ein an einem solchen Sortiment validiertes Verfahren ist daher auch für weniger inhomogene Sortimente geeignet.

4 Experimenteller Teil

4.1 Zusammenstellung des Sortiments

Aus einem real anfallenden, ca. 50 m³ Schüttvolumen umfassenden inhomogenen Altholzmischsortiment einer Bremer-Recycling-Anlage (RAB) wurde repräsentativ eine ca. 5 m³ große Teilmenge zur Untersuchung entnommen. Diese Sortieranlage enthält Baurestabfälle verschiedener Anlieferer unterschiedlicher Zusammensetzung. Im wesentlichen handelt es sich hierbei um Hölzer aus Gebäudeabrissen und daneben um Hölzer aus der Möbelindustrie, der gewerblichen Nutzung sowie aus dem Garten- und Landschaftsbau. Nach der Anlieferung werden die Alt- und Resthölzer über Sortiereinrichtungen in einzelne Holzfraktionen getrennt und in Containern zu den Abnehmern geliefert.

Das 117 verschiedene Alt- und Resthölzer umfassende Prüfsortiment wurde zur Untersuchung zusammengetragen und auf dem Gelände der Bremer Entsorgungsbetriebe gelagert. Für den Transport wurden größere Holzstücke wie z.B. Dachbalken mit einer Kettenäge zersägt und entsprechend gekennzeichnet.

Die einzelnen Hölzer wiesen unterschiedliche Oberflächenbehandlungen auf. Der größte Teil aller Hölzer ist augenscheinlich mit deckenden Lacken oder lasierenden Anstrichstoffen behandelt (Tabelle A 10 im Anhang).

Als Unterlegplane wurde eine Plane verwendet, die aus chemisch- und witterungsbeständigen, reißfesten, druckbelastbaren Wolfin IB-Dichtungsbahnen zusammengeschnitten war.

Durch eine reiß- und wasserfeste PVC-Plane wurde das Altholz vor Witterungseinflüssen geschützt. Die Planen wurden zusätzlich mit mehreren Erdnägeln und dicken Kunststoffseilen befestigt.

Anschließend wurden die einzelnen Holzstücke nummeriert und photodokumentiert.

4.2 ProbenahmeprocEDURE

4.2.1 Einzelprüflinge

4.2.1.1 Vorversuche

4.2.1.1.1 Entwicklung eines Probenahmegerätes

Zur standardisierten Probenahme an flächigen Holzstücken wurde ein Probenahmegerät entwickelt, mit dem aus einer vorher bestimmten Holztiefe eine Probenahme mit definierter Fläche möglich ist.

Das Probenahmegerät besteht aus einem Forstnerbohrer sowie einer Auffangvorrichtung mit Tiefenanschlag und einem Auffanggefäß. Als Material wurde unlegierter Stahl bzw. Kohlenstoff-Stahl eingesetzt, so daß Sekundärkontaminationen von Schwermetallen z.B. durch Chromabrieb vermieden werden. Ein Glasgefäß dient gleichzeitig als Proben- und Auffanggefäß.

Mit dem Probenahmegerät werden Holzspäne einer durchschnittlichen Größe von ca. 3 mm erzeugt. Die Durchmesser der beprobten Holzflächen betragen 20 bzw. 25 mm.

Die Bohrtiefe ist einstellbar. Für die Untersuchungen war eine Bohrtiefe von 5 mm festgelegt worden.

4.2.1.2 Validierung und Optimierung des Probenahmegerätes

Zur Validierung des Probenahmegeräts wurde eine Bohrtiefe von 5 mm eingestellt. An einem Einzelprüfling wurden 50 Bohrungen vorgenommen. Nach der Beprobung des Einzelprüflings wurden die Bohrlöcher nummeriert und mit der Schieblehre vermessen. Es wurde die durchschnittliche Bohrtiefe, die dazugehörige Standardabweichung und der Variationskoeffizient ermittelt. Da sich bei dieser Beprobung relativ hohe Schwankungen

der Probenahmetiefe ergaben, wurde der Tiefenanschlag des Probenahmegerätes verbessert.

4.2.1.2.1 Optimierung des Probenahmegerätes

Die Probenahme an einem weiteren Einzelprüfling erfolgte mit einem leicht veränderten Probenahmegerät mit optimiertem Tiefenanschlag analog des vorher beprobten Einzelprüflings.

Die erhaltenen Daten (Probeneinwaagen und Bohrtiefen) wurden statistisch ausgewertet.

4.2.1.3 Wirkstoffverteilung am Einzelprüfling

Zur Klärung der Frage, wieviele Einzelproben eines Einzelprüflings erforderlich sind, um eine ausreichend genaue Aussage über die durchschnittliche Belastung dieses Einzelprüflings machen zu können, wurde exemplarisch ein Altholzprüfling untersucht.

Geprüft wurde die Inhomogenität der Verteilung von PCP und Lindan.

Dazu wurden an dem Einzelprüfling mit dem standardisierten Probenahmegerät 50 Holzproben entnommen. Alle Bohrungen wurden mit einer fest eingestellten Bohrtiefe von 5 mm durchgeführt. Die Durchmesser der Bohrungen betragen jeweils 25 mm.

Von jeder Probe wurde die Einwaage und die Bohrtiefe notiert. Die Daten können der Tabelle A 10 im Anhang entnommen werden.

Die Bestimmung der Holzschutzmittelgehalte erfolgte nach den im Anhang angegebenen Arbeitsvorschriften. Die Holzschutzmittelgehalte der einzelnen Proben sind in den Tabellen A 15 und A 16 im Anhang zusammengestellt.

Zur Versuchsauswertung bzw. Datenanalyse wurden statistische Verfahren herangezogen. Aus den Daten zu den Probeneinwaagen, Bohrtiefen, PCP-Gehalten und Lindan-

Gehalten wurden die Einwaagen pro mm Bohrtiefe, die Holzdichten, die PCP-Gehalt pro Fläche Holz, die Lindan-Gehalte pro Fläche Holz und die Verhältnisse der Lindan-Gehalte zu den PCP-Gehalten ermittelt.

Von jedem Datensatz wurde der arithmetische Mittelwert „ \bar{x} “, maximaler Merkmalswert „ max “, minimaler Merkmalswert „ min “, Standardabweichung „ s “, Varianz „ s^2 “, Variationskoeffizient „ V “, relativer Variationskoeffizient „ Vr “, Standardabweichung des Mittelwertes bzw. Standardfehler des arithmetischen Mittelwertes „ $s_{\bar{x}}$ “, Mittelabweichung „ s_M “ und die Variationsbreite „ R “ bestimmt.

4.2.1.4 Materialmenge

Die benötigte Materialmenge orientiert sich nach den erwählten Nachweisverfahren und der geforderten Qualität der Analysen.

Für ein praxisnahes, standardisiertes Probenahmeverfahren ist eine geringe Probenanzahl und Materialmenge gefordert, mit denen eine durchschnittliche Holzschutzmittelbelastung des Einzelprüflings mit vorgegebener Genauigkeit bestimmt werden kann. Aus dem zu untersuchenden inhomogenen Altholzmischsortiment soll eine Probenmenge entnommen werden, die unter Laborbedingungen noch handhabbar ist und aus deren Mischprobe sich eine durchschnittliche Holzschutzmittelbelastung durch chemische Analysen bestimmen läßt.

4.2.1.5 Statistik

Für das zu entwickelnde standardisierte Probenahmeverfahren soll mit einer möglichst geringen Probenanzahl und damit verbundenen Materialmenge die durchschnittliche Holzschutzmittelbelastung eines Einzelprüflings mit vorgegebener Genauigkeit bestimmt werden. Die Genauigkeit ist in diesem Fall die Bezeichnung für das Ausmaß der Annäherung der Analyseergebnisse an den durchschnittlichen Holzschutzmittelgehalt des Einzelprüflings. Eine Genauigkeitsforderung von 10 % erscheint hierbei angemessen.

Zur Festlegung der benötigten Probenanzahl und Materialmenge wurden die Ergebnisse aus der statistischen Datenanalyse herangezogen.

Unter der Annahme, daß die Standardabweichung sich proportional zum HSM-Gehalt verhält, d.h. daß der Variationskoeffizient ($V = s/x$) konstant ist, kann durch vorgegebene Genauigkeit die Anzahl der benötigten Proben (n) ermittelt werden.

Es wird die Beziehung aufgestellt, daß der Standardfehler bzw die Standardabweichung des Mittelwertes gleich der Genauigkeitsforderung mal dem berechneten Mittelwert ist.

Die entsprechende Probenanzahl mit vorgegebener Genauigkeitsforderung ist der Tabelle 19 zu entnehmen.

Tabelle 19: Anzahl der benötigten Proben mit vorgegebener Genauigkeitsforderung

Wirkstoff	Stichproben- umfang n	Standard- abweichung s	arith. Mittel- wert \bar{x}	Variations- koeffizient s/x	Anzahl der Proben mit vorgegebener Genauigkeitsforderung			
					5 %	10 %	20 %	30 %
Lindan	50	6,73	23	0,30	36	9	2	1
PCP	50	46,37	152	0,30	36	9	2	1

Zur Bestimmung einer durchschnittlichen PCP- und Lindan-Belastung eines Einzelprüflings sind mit einer Genauigkeitsforderung von 10 % 9 Bohrungen notwendig. Mit steigender Genauigkeitsforderung erhöht sich die Anzahl der benötigten Proben.

4.2.1.5.1 Minimierung der Materialmenge

Für die gesamte analytische Untersuchung werden pro Einzelprüfling jeweils 10 Bohrungen vorgenommen. Auf diese Probenmenge wurde das gesamte Analysenverfahren ausgerichtet. Je nach der Rohdichte der einzelnen Hölzer liegen andere Gewichte vor. Die

durchschnittlichen Einwaagen liegen hierbei bei ca.10 bis 12 g. Für die einzelnen Analyseverfahren mit geforderter Bestimmungs- bzw. Nachweisgrenze sind insgesamt etwa 10 g Probenmaterial veranschlagt worden (Abbildung 5).

4.2.1.6 Probenahme am Einzelprüfling

Die Probenahme erfolgte mit dem validierten Probenahmegerät, bei einer einheitlich festgelegten Bohrtiefe von 5 mm. Die Durchmesser betragen jeweils 25 mm.

An jedem Einzelprüfling wurden insgesamt 10 Bohrungen vorgenommen. Die Bohrungen erfolgten abseits von Brüchen, Astlöchern und Rissen. Desweiteren wurde auf eine repräsentative Beprobung, d.h. Probenahme aus unterschiedlichen Holzbereichen und Holzteilen geachtet.

4.2.2 Gesamtsortiment

Dem Hauptprüfverfahren liegt das gesamte Probenahmeprocédere zugrunde (Abbildung 4, Kapitel 3.2 Probenahme) beprobt und auf verschiedene Holzschutzmittelwirkstoffe untersucht.

Anschließend wurden die Hölzer nach bestimmten Einteilungskriterien (4.2.2.1) sortiert, getrennt gelagert, geschreddert, feinzerkleinert und beprobt. In Abbildung 6 ist der Ablaufplan der Vorsortierung und Zerkleinerung des Altholzsortimentes dargestellt.

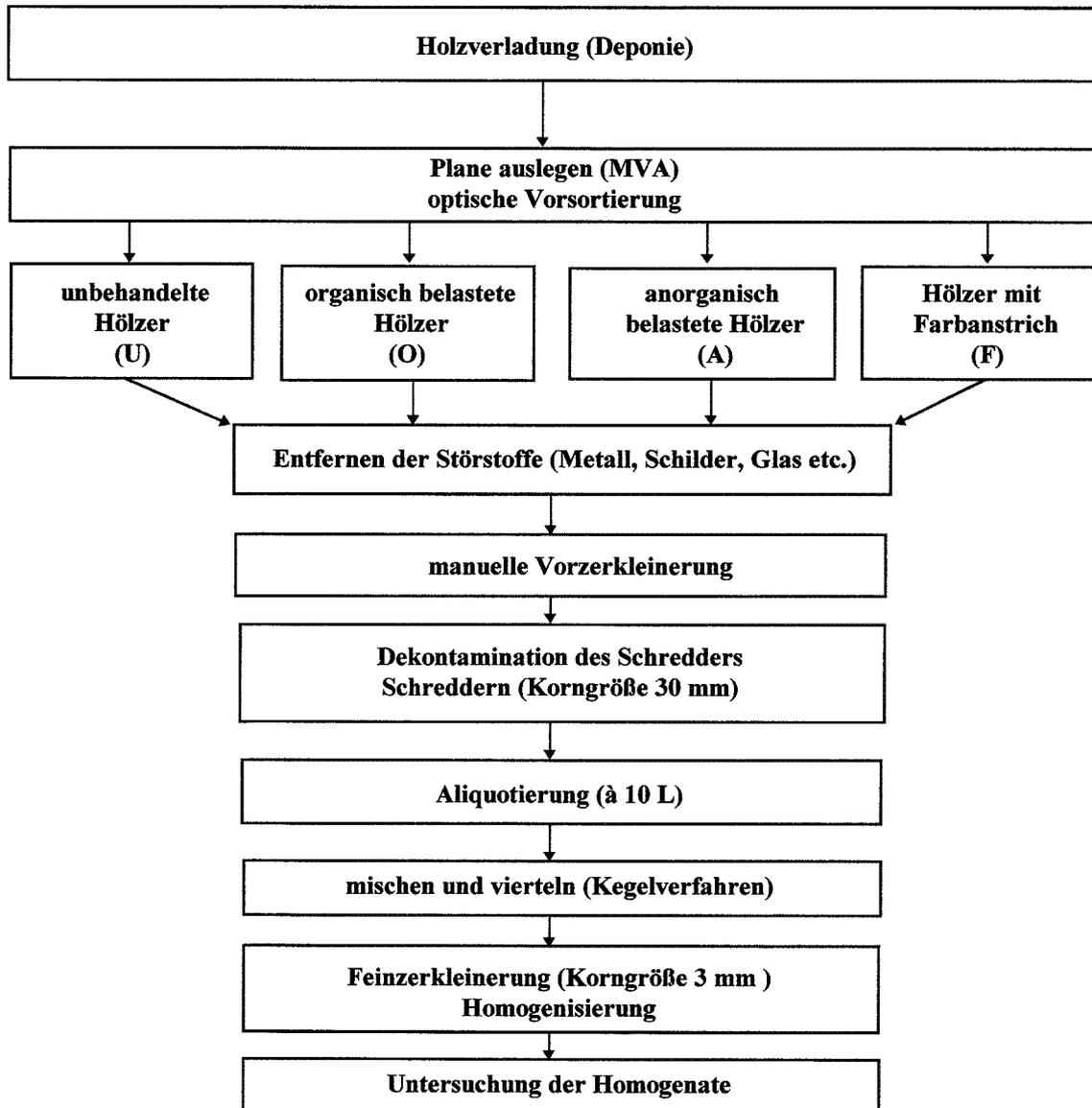


Abbildung 6: Ablaufplan Vorsortierung und Zerkleinerung des Altholzsortimentes

4.2.2.1 Vorsortierung

Es wurde eine optische Sortierung der Hölzer in folgende Sortimente vorgenommen:

Einteilung der Althölzer in 4 verschiedene Sortimente

1. Unbehandelte bzw. naturbelassene Hölzer
2. Offensichtlich mit organischen Holzschutzmitteln behandelte Hölzer und Hölzer mit Beschichtungen (organisch belastete Hölzer)
3. Hölzer mit Farbanstrich
4. Offensichtlich mit wasserlöslichen Salzen behandelte Hölzer (anorganisch belastete Hölzer)

Die Sortierung der Hölzer in die verschiedenen Belastungsgruppen erfolgte nach optischen Gesichtspunkten gemäß der vorgegebenen Sortierungskriterien.

Die Hölzer wurden nach erfolgter Sortierung getrennt gehalten. Mit einer Sekundärkontamination durch andere u.a. stark holzschutzmittelbelastete Hölzer muß gerechnet werden. So können u.a. auch naturbelassene Hölzer kontaminiert worden sein.

4.2.2.2 Produktion von Schredderfraktionen

Nach der Sortierung wurden die Hölzer der einzelnen Sortimente manuell in ca. 20 bis 30 cm große Holzstücke zerkleinert. Größere Holzstücke wie Balken, Bretter und Paneele wurden mit Hilfe einer elektrischen Kettensäge zersägt und anschließend grob zerhackt.

Das grob zerkleinerte Probenmaterial wurde mit dem im Rahmen eines Forschungsprojektes der DASA für die Abfalldeponie entwickelten Probenehmer „Probs“ geschreddert. Bei der Konstruktion der Anlage wurde auf schwermetallfreie Werkstoffmaterialien geachtet, insbesondere für die eingesetzten Schneidwerke.

Zur Verhinderung von Sekundärkontaminationen wurde die Anlage gründlich mit Quarzsand gereinigt. Vor dem eigentlichen Schreddervorgang wurde zunächst mit Baummaterial vorgeschreddert und anschließend wieder die Anlage mit Quarzsand gereinigt.

Für den Schreddervorgang wurden die Hölzer manuell von Nichtholzbestandteilen wie Nägel, Glas, Kunststoff- und Metallteilen, Putz, Tapeten und mineralischen Bestandteilen befreit.

Die Zerkleinerung erfolgte mit einem Schneidwerk bis auf eine Stückgröße von 30 mm Durchmesser. Über eine Förderbandeinrichtung wurden die Fraktionen in PE-Kunststoffsäcken aufgefangen, verschnürt und trocken gelagert.

Anschließend wurden die aufgefangenen Fraktionen der jeweiligen Einzelsortimente vereinigt und nach dem Kegelfverfahren geteilt, bis eine Teilmenge von ungefähr 10 L Probenmaterial erzielt wurde.

Diese Teilmenge wurde in einer weiteren Zerkleinerungsstufe mit einer Schneidrotormühle bei 300 Umin^{-1} auf ungefähr 3 mm Durchmesser feinzerkleinert.

Anschließend wurde eine Analysenprobe abgefüllt und im Labor auf die in Tabelle A 15 und A 16 angegebenen Holzschutzmittelwirkstoffe untersucht.

4.2.2.3 Probenahme von Schredderfraktion

Zur Prüfung auf Homogenität wurden aus verschiedenen mit Probenmaterial gefüllten Kunststoffsäcken stichprobenmäßig pro Einzelsortiment jeweils 3 mal ungefähr 10 L Probengut entnommen. Das Material wurde mit der Schneidrotormühle bis auf 3 mm Durchmesser zerkleinert.

Aus diesem Probenmaterial wurden an die 10 g Probenmaterial entnommen und mit dem Bühler-Homogenisator bis auf ca. 300 µm zerkleinert. Diese so erhaltenen 19 Analysenproben wurde auf die in Tabelle 23 angegebenen Holzschutzmittel untersucht.

Abbildung 7 gibt einen Überblick über die Vorsortierung und Zerkleinerung des Altholzmischsortimentes.

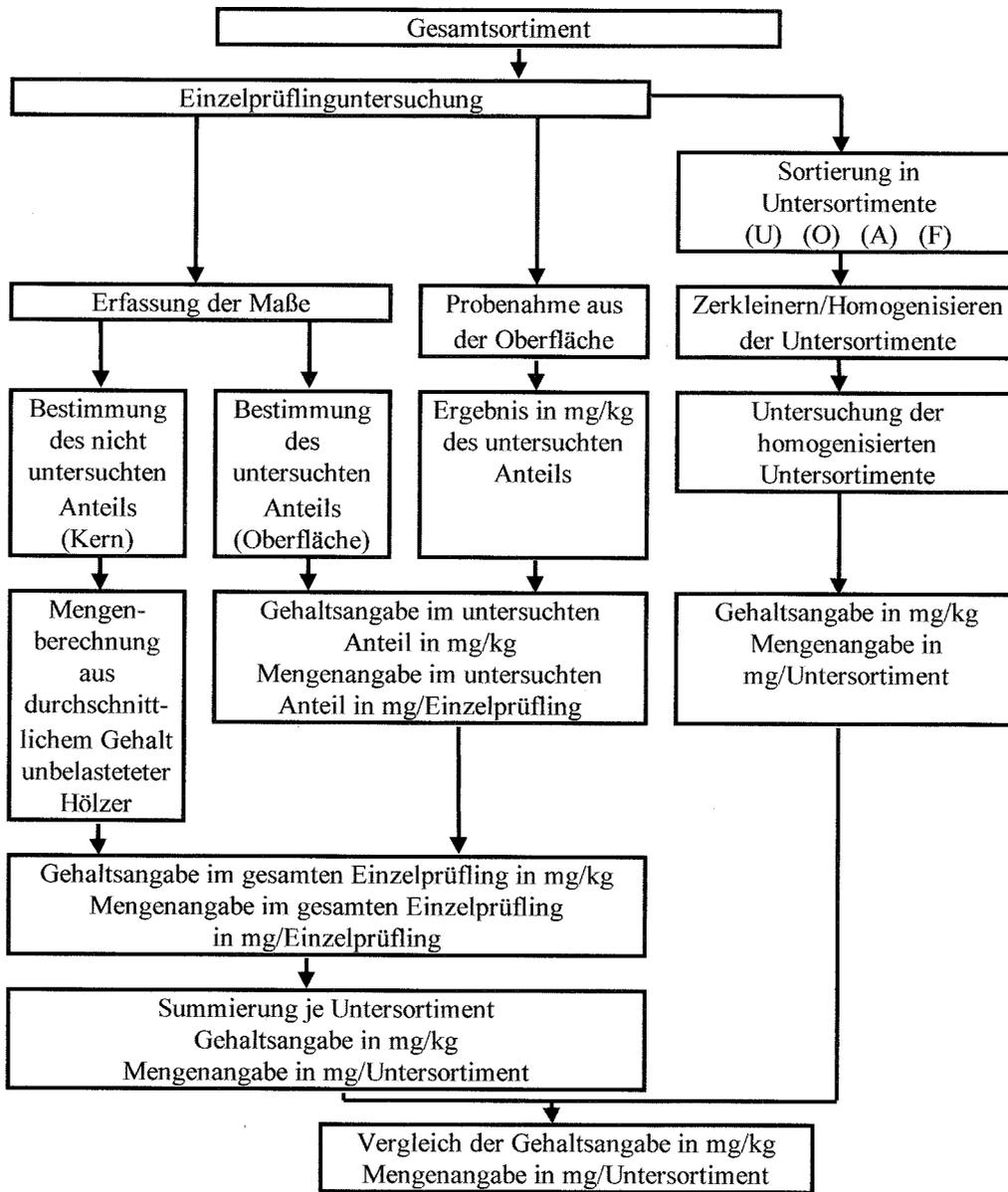


Abbildung 7: Vergleich der aus Oberflächenuntersuchungen ermittelten Wirkstoff-Elementgehalte mit den durch Schreddern der Untersortimente im Homogenat ermittelten Gehalte und Mengen

4.2.3 Vergleich Einzelprüflingschredderfraktion

Zum Abgleich der Ergebnisse der Untersuchung der Einzelprüflinge mit den Schredder-
gutuntersuchungen wurden die Ergebnisse beider Verfahren gegenübergestellt. Zur Ab-
schätzung der Wirkstoffmengen in den Einzelprüflingen wurde von der Prämisse ausge-
gangen, daß die hauptsächliche Wirkstoffmenge über die gesamte Oberfläche des Einzel-
prüflings in einer 5 mm dicken Schicht gleichmäßig verteilt vorliegt. Abbildung 7 zeigt
die Vorgehensweise zur Ermittlung des Vergleichs der Wirkstoffmengen Einzelprüfling-
Schredderfraktion.

4.3 Analytik

Die Analytik wurde nach den im Anhang angegebenen Arbeitsvorschriften durchgeführt.

Die Analysenergebnisse wurden mittels statistischer Verfahren beurteilt. Die Auswertung
erfolgt sortimentsbezogen.

4.4 Sonderverfahren

4.4.1 EOX-Bestimmung

Die organisch gebundenen Halogene werden gemäß der DIN 38 409 mit n-Hexan extra-
hiert. Dabei ist zu beachten, daß unter diesen Voraussetzungen, die Erfassung von pola-
ren Stoffen unvollständig ist.

Zur Erfassung von polaren Stoffen werden die Proben mit einem Methanol-Aceton Ge-
misch extrahiert. Zur Ermittlung der Vollständigkeit der Extraktion polarer Substanzen
erfolgt im Vorversuch vergleichsweise eine Extraktion mit n-Hexan und Methanol-
Aceton.

Der EOX-Wert wird hierbei coulometrisch bestimmt, gemäß der DIN 38 414, S 17. Die Bestimmungsgrenze liegt bei 0,5 µl/ml.

4.4.2 Probenabgleich

Die Analytik wurde mit standardisierten Probenmaterial abgeglichen. Das von der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft zur Verfügung gestellte standardisierte Probenmaterial wurde in Abhängigkeit von der Schutzmittelbehandlung auf entsprechende Holzschutzmittelgehalte hin untersucht.

Bei dem Probenmaterial handelt es sich um Kiefern- und Fichten-Normklötzchen (70×70×20 mm), die jeweils mit 0,5 ml gelöstem Wirkstoff (0,1 %ige Wirkstoffkonzentration) behandelt wurden.

Die Proben weisen bei einer Oberfläche von 1/200 m² eine Wirkstoffmenge von 0, 5 mg auf.

Mit dem standardisierten Probenahmegerät wurden pro Holzklötzchen jeweils 4 Bohrungen (Bohrtiefe: 5 mm; Bohrdurchmesser: 25 mm) durchgeführt. Das aufgefangene Probenmaterial (Mischprobe) wurde homogenisiert und zur Analyse eine entsprechende Teilmenge entnommen. Die Holzproben wurden unter Zugabe interner Standards extrahiert.

Es wurden dotierte Fichten- und Kiefernklötzchen auf Pyrethroide (Cypermethrin, Deltamethrin und Permethrin) sowie auf PCP hin untersucht.

5 Ergebnisse

5.1 Untersuchung von Einzelprüflingen

Geprüft wurde die Inhomogenität der Verteilung eines PCP-/Lindanhaltigen Holzschutzmittels.

5.1.1 Wirkstoffverteilung organischer Holzschutzmittel eines Einzelprüflings

In der Tabelle 20 sind die Ergebnisse der statistischen Datenanalyse zur Probeneinwaage, der Bohrtiefe und der PCP-Gehalte und Lindan-Gehalte dargestellt.

Tabelle 20: Inhomogenität der Wirkstoffverteilung organischer Holzschutzmittel eines Einzelprüflings

Datensätze	Parameter										
	n	\bar{x}	max	min	s	s ²	V	V _r	s _x	s _M	R
Probeneinwaage [g]	50	1,06	1,49	0,75	0,14	0,02	0,13	1,84	0,02	0,10	0,74
Bohrtiefe [mm]	50	5,90	6,90	5,00	0,53	0,29	0,09	1,28	0,08	0,45	1,90
PCP-Gehalt (massenbezogen) [mg/kg]	50	152	284	86	46,37	2151	0,30	4,31	6,56	38,08	198
Lindan-Gehalt [mg/kg]	50	23	39	12	6,73	45,25	0,30	4,22	0,95	5,68	27
Holzdichte (flächenbezogen) [g/cm ³]	50	0,37	0,47	0,29	0,03	0,001	0,09	1,32	0,005	0,02	0,17
PCP-Gehalt [mg/m ²]	50	323	597	184	89,25	7965	0,28	3,91	12,62	69,97	412
Lindan-Gehalt [mg/m ²]	50	48	82	27	13,54	183,37	0,28	3,99	1,92	11,17	55
Verhältnis Lindan-Gehalt zum PCP-Gehalt	50	0,15	0,19	0,11	0,02	0,0003	0,12	1,70	0,003	0,01	0,08

n: Stichprobenumfang; \bar{x} : Mittelwert; max: maximaler Wert; min: minimaler Wert; s: Standardabweichung; s²: Varianz; V: Variationskoeffizient; V_r: relativer Variationskoeffizient; s_x: Standardabweichung des Mittelwertes; s_M: Mittelabweichung; R: Variationsbreite

5.1.2 Wirkstoffverteilung anorganischer Holzschutzmittel eines Einzelprüflings

Geprüft wurde die Inhomogenität der Verteilung eines fluoridhaltigen Holzschutzmittelwirkstoffes.

In der Tabelle 21 sind die Ergebnisse der statistischen Datenanalyse zur Probeneinwaage, der Bohrtiefe und der Fluorid-Gehalte dargestellt.

Tabelle 21: Inhomogenität der Wirkstoffverteilung anorganischer Holzschutzmittel eines Einzelprüflings

Datensätze	Parameter										
	n	\bar{x}	max	min	s	s ²	V	V _r	s \bar{x}	s _M	R
Probeneinwaage [g]	50	1,08	1,27	0,95	0,08	0,01	0,07	1,04	0,01	0,06	0,32
Bohrtiefe [mm]	50	5,86	6,30	5,50	0,20	0,04	0,03	0,48	0,03	0,16	0,80
Fluorid-Gehalt (massenbezogen) [mg/kg]	50	1471	1918	1050	184,81	34156	0,13	1,78	26,14	145,21	868,25
Holzdicke (flächenbezogen) [g/cm ³]	50	0,38	0,45	0,33	0,03	0,001	0,07	1,00	0,004	0,02	0,13
Fluorid-Gehalt [mg/m ²]	50	3226	4014	2572	377,99	142875	0,12	1,66	53,46	298,96	1442

n: Stichprobenumfang; \bar{x} : Mittelwert; max: maximaler Wert; min: minimaler Wert; s: Standardabweichung; s²: Varianz; V: Variationskoeffizient; V_r: relativer Variationskoeffizient; s \bar{x} : Standardabweichung des Mittelwertes; s_M: Mittelabweichung; R: Variationsbreite

5.1.3 Wirkstoffgehalt der Einzelprüflinge des unbehandelten Teilsortimentes

In der Tabelle 22 sind die 90 %-Quantile für die Obergrenzen der Schwermetallkonzentration in naturbelassenen Hölzern angegeben. In den Abbildungen 8-20 sind die Schwankungsbreiten der Wirkstoff-/Elementkonzentration und das dazugehörige 90 %-Quantil für deren Obergrenzen graphisch veranschaulicht.

Tabelle 22: Wirkstoff-/Element-Gehalte naturbelassener Hölzer aus einem inhomogenen Altholzmischsortiment.

Element	Bestimmungsgrenze (mg/kg)	min. Wert (mg/kg)	max. Wert (mg/kg)	Mittelwert (mg/kg)	90%-Quantil (mg/kg)
As	0,05	< 0,05	0,4	0,089	0,29
B	0,1	1,3	5	2,76	4,25
Cd	0,01	< 0,01	0,45	0,11	0,27
Cr	0,01	0,1	1,6	0,43	1,16
Cu	0,01	0,5	4,2	1,44	3,01
F ²⁾	1	1	6,1	1,53	2,74
Hg	0,02	-	-	-	0,02 ¹⁾
Pb	0,01	0,3	9,8	4,07	9,57
Sn	0,1	< 0,1	0,3	0,12	0,24
Zn ²⁾	0,1	2,6	68	13,27	25,20
16 PAK ²⁾ nach EPA	0,63 ³⁾	0,44 ⁴⁾	15,94	3,13	7,57
PCP	0,005	0,02	0,83	0,21	0,46
2,3,4,6-TCP	0,005	<0,005	0,34	0,042	0,09
Lindan	0,005	0,007	0,21	0,06	0,12

Unter der Bestimmungsgrenze (BG) liegende Werte wurden durch das 0,7-fache der Bestimmungsgrenze ersetzt. Das Element Quecksilber konnte nicht ausreichend gewertet werden, da alle Werte unter der Bestimmungsgrenze lagen. 1): unterhalb der Bestimmungsgrenze; 2): 24 untersuchte Proben; 3): BG für die Summe 16 PAK nach EPA; 4): Da nicht alle der 16 Einzelverbindungen nachgewiesen wurden, liegt der Minimalwert unterhalb der BG für die Summe 16 PAK.

Abbildungen 8 bis 20 zeigen die Verteilung der Wirkstoff-Elementgehalte naturbelassener Einzelprüflinge.

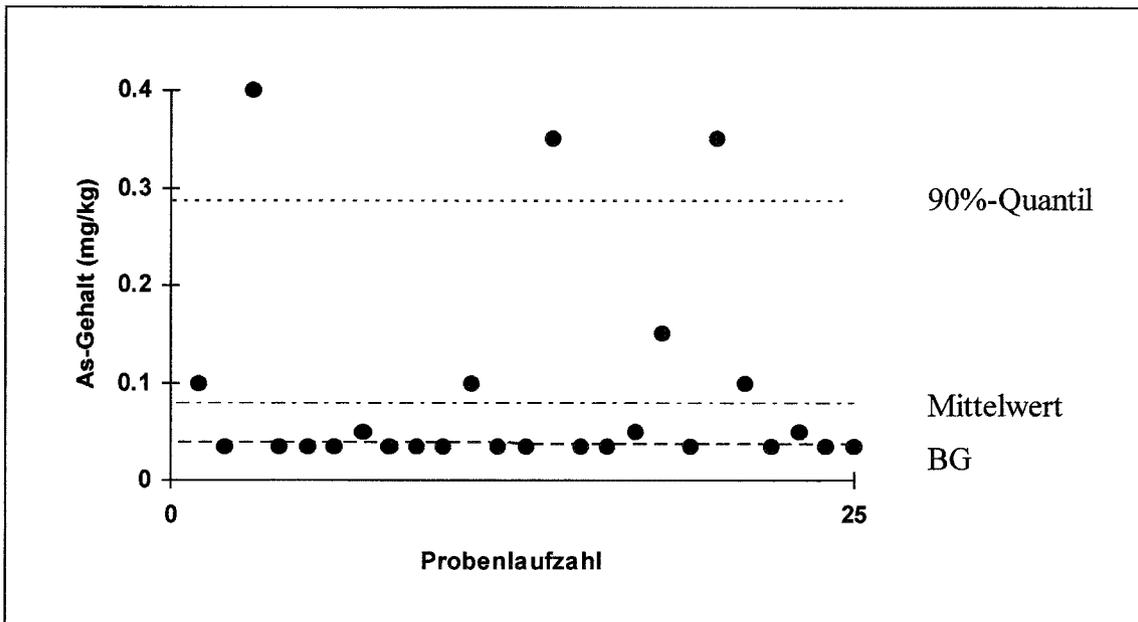


Abbildung 8: Arsen-Gehalte in naturbelassenen Hölzern (n=25)

90%-Quantil: 0,29 mg/kg; BG: 0,05 mg/kg
Arithmetischer Mittelwert: 0,09 mg/kg
Für Werte unterhalb der BG wurde das 0,7 fache der BG eingesetzt.

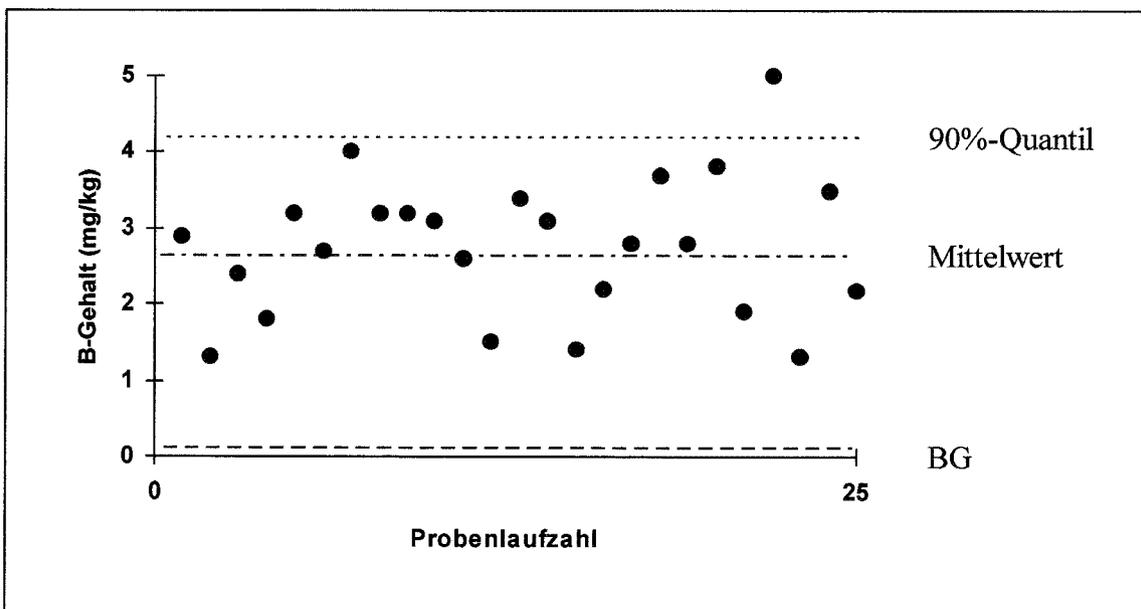


Abbildung 9: Bor-Gehalte in naturbelassenen Hölzern (n=25)

90%-Quantil: 4,25 mg/kg; BG: 0,1 mg/kg
Arithmetischer Mittelwert: 2,76 mg/kg

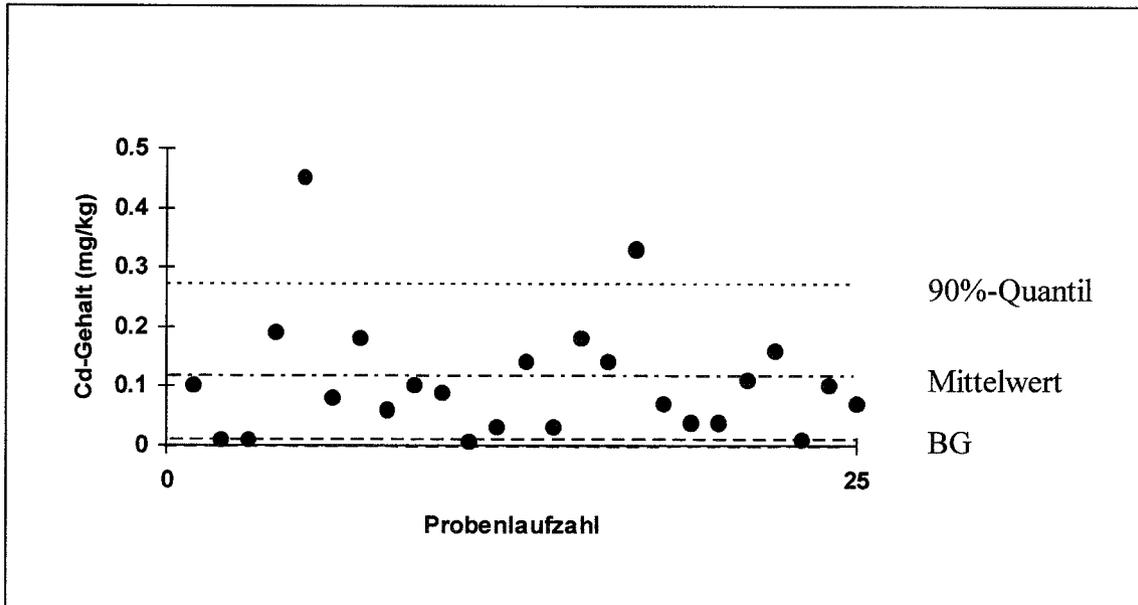


Abbildung 10: Cadmium-Gehalte in naturbelassenen Hölzern (n=25)

90%-Quantil: 0,27 mg/kg; BG: 0,01 mg/kg
Arithmetischer Mittelwert: 0,11 mg/kg
Für Werte unterhalb der BG wurde das 0,7 fache der BG eingesetzt.

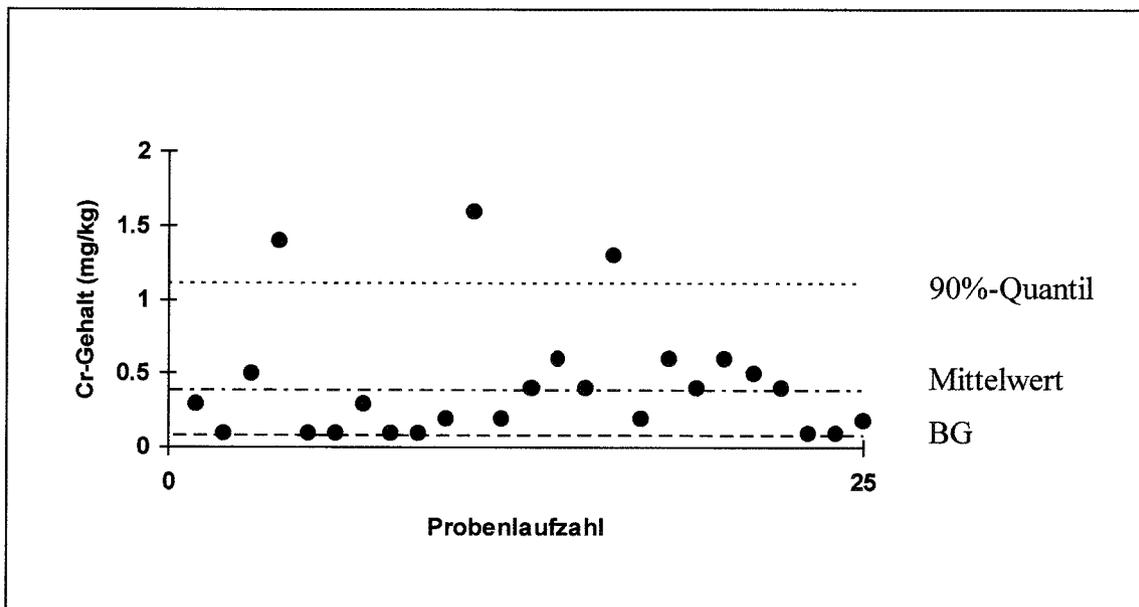


Abbildung 11: Chrom-Gehalte in naturbelassenen Hölzern (n=25)

90%-Quantil: 1,16 mg/kg; BG: 0,01 mg/kg
Arithmetischer Mittelwert: 0,43 mg/kg

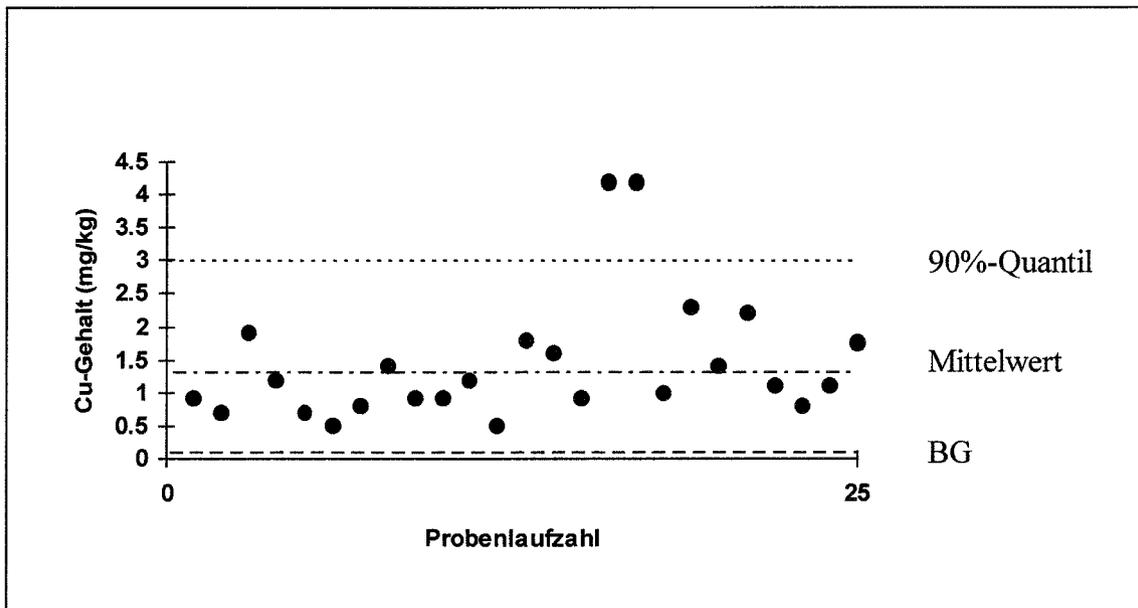


Abbildung 12: Kupfer-Gehalte in naturbelassenen Hölzern (n=25)

90%-Quantil: 3,01 mg/kg; BG: 0,01 mg/kg
Arithmetischer Mittelwert: 1,44 mg/kg

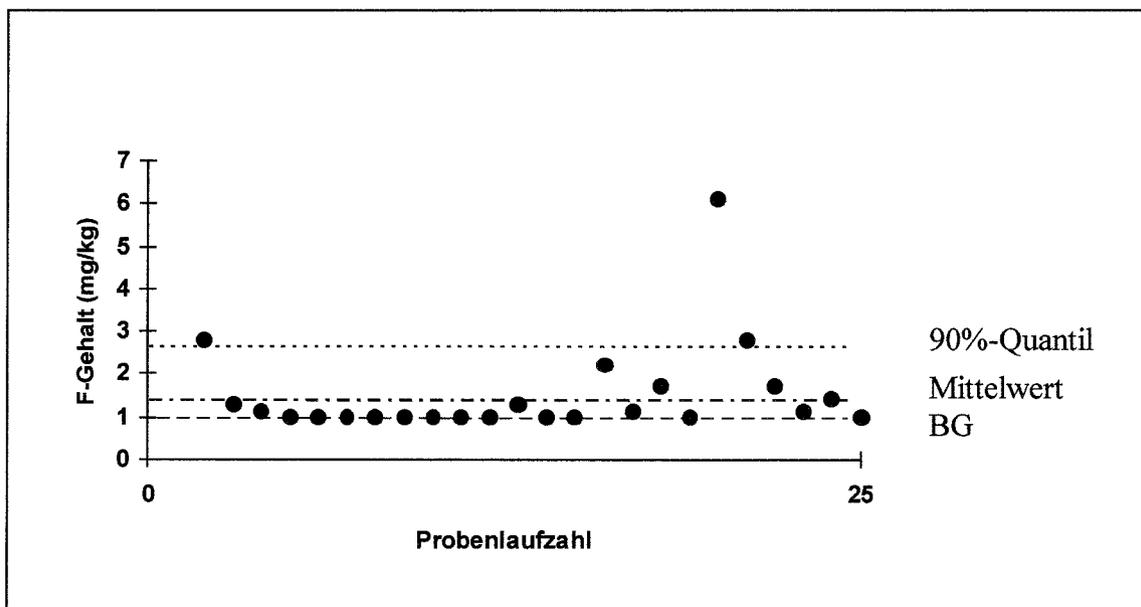


Abbildung 13: Fluorid-Gehalte in naturbelassenen Hölzern (n=24)

90%-Quantil: 2,74 mg/kg; BG: 1 mg/kg
Arithmetischer Mittelwert: 1,53 mg/kg

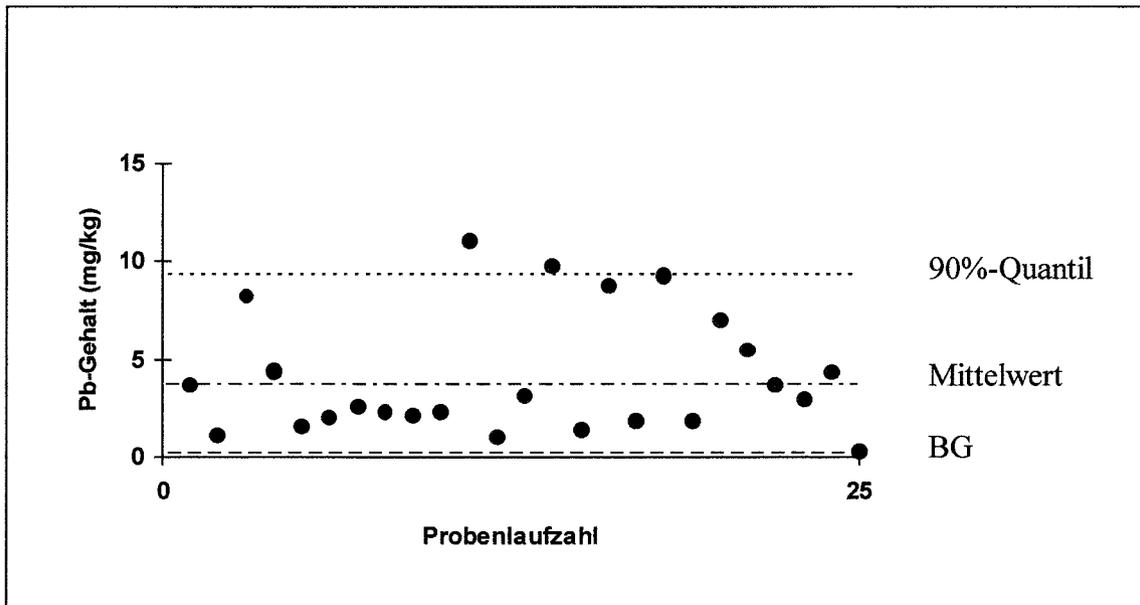


Abbildung 14: Blei-Gehalte in naturbelassenen Hölzern (n=25)

90%-Quantil: 9,57 mg/kg; BG: 0,01 mg/kg
Arithmetischer Mittelwert: 4,07 mg/kg

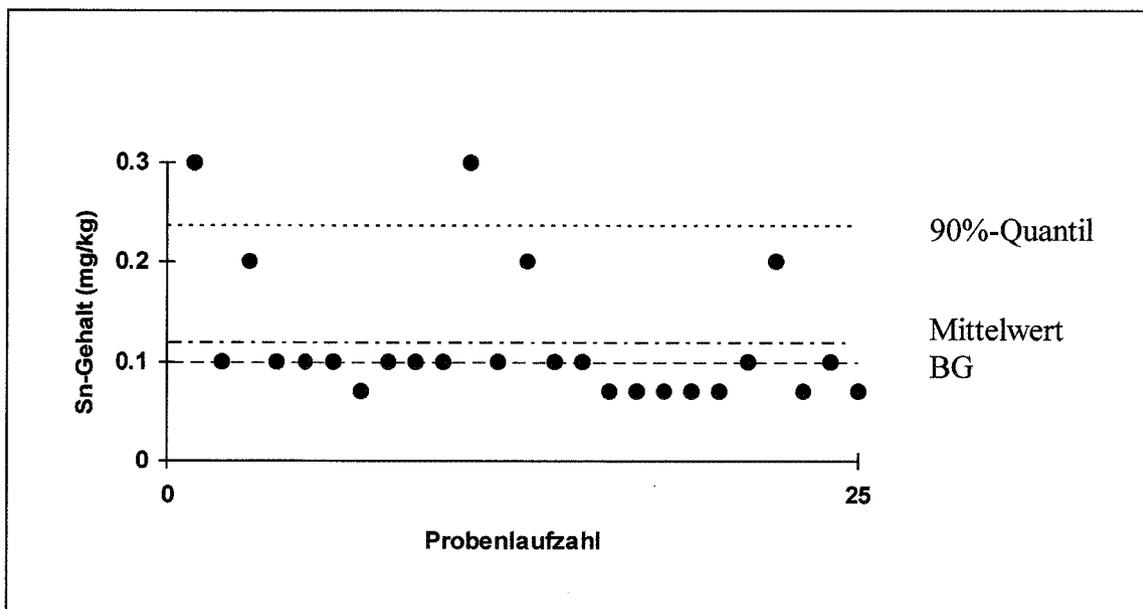


Abbildung 15: Zinn-Gehalte in naturbelassenen Hölzern (n=25)

90%-Quantil: 0,24 mg/kg; BG: 0,1 mg/kg
Arithmetischer Mittelwert: 0,12 mg/kg
Für Werte unterhalb der BG wurde das 0,7 fache der BG eingesetzt.

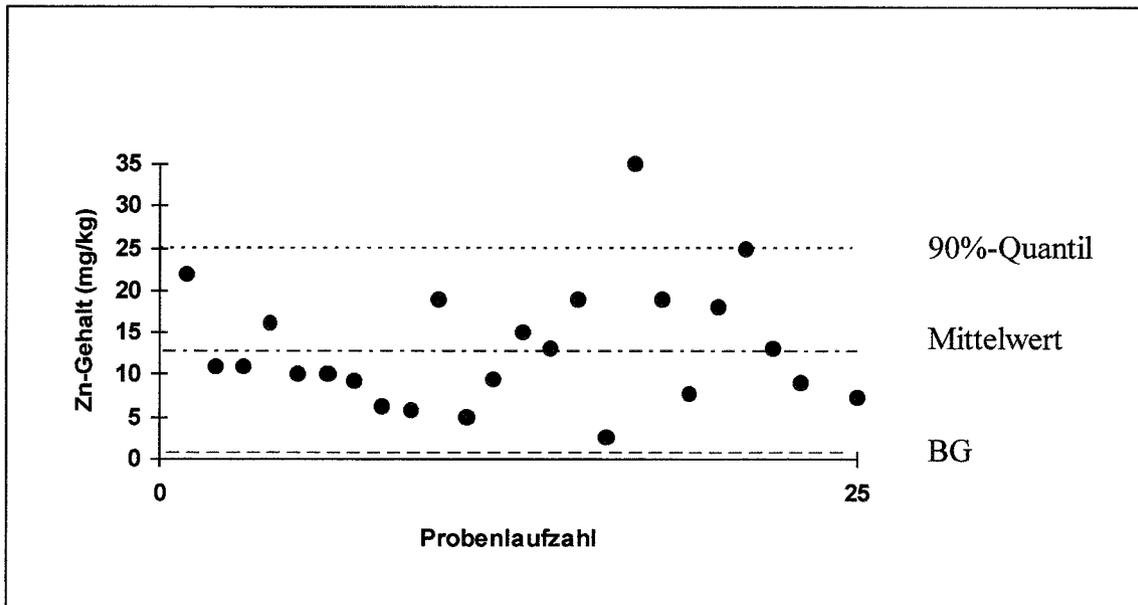


Abbildung 16: Zink-Gehalte in naturbelassenen Hölzern (n=24)

90%-Quantil: 25,20 mg/kg; BG: 0,1 mg/kg
Arithmetischer Mittelwert: 13,27 mg/kg
Ein Einzelprüfung mit Metallhaken wurde bei dieser Auswertung nicht berücksichtigt.

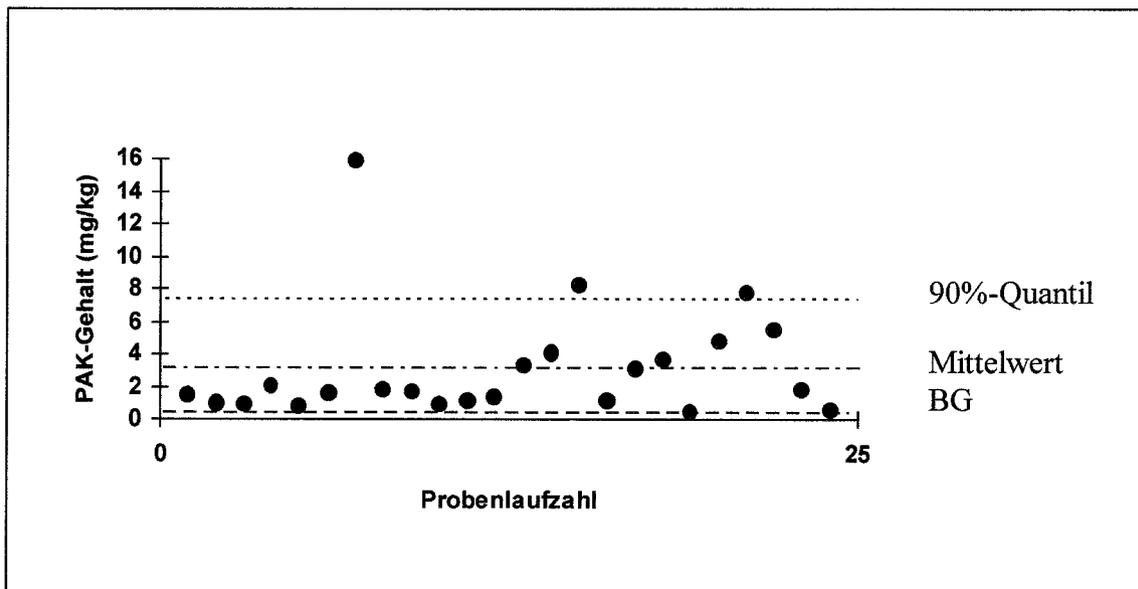


Abbildung 17: PAK-Gehalte [Summe 16 PAK nach EPA] in naturbelassenen Hölzern (n=24)

90%-Quantil: 7,57 mg/kg; BG: 0,63 mg/kg
Arithmetischer Mittelwert: 3,13 mg/kg

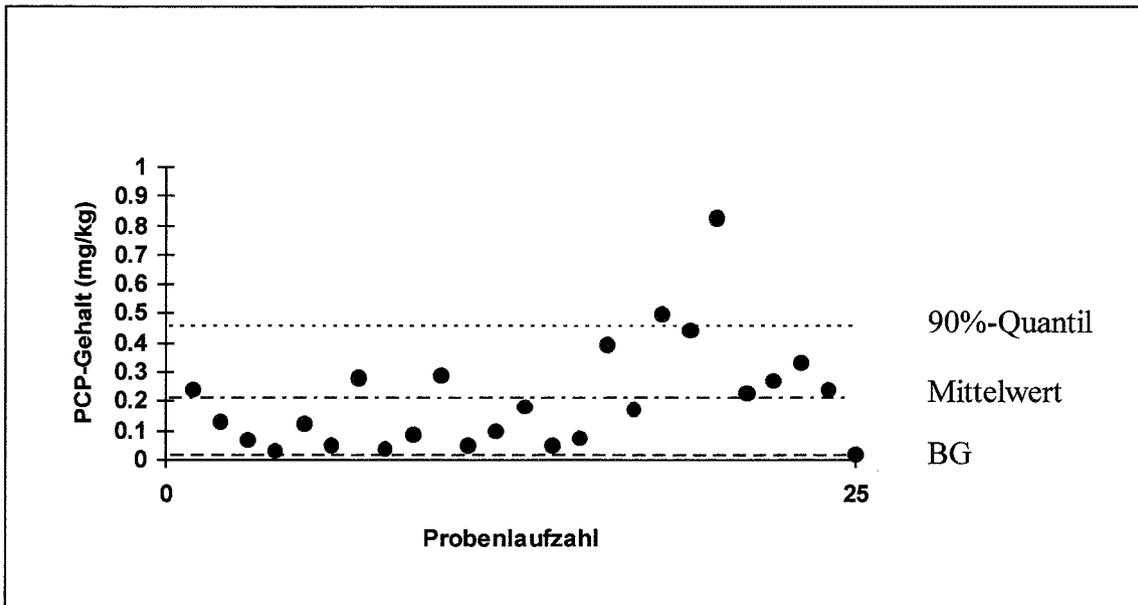


Abbildung 18: PCP-Gehalte in naturbelassenen Hölzern (n=25)

90%-Quantil: 0,46 mg/kg; BG: 0,005 mg/kg
Arithmetischer Mittelwert: 0,21 mg/kg

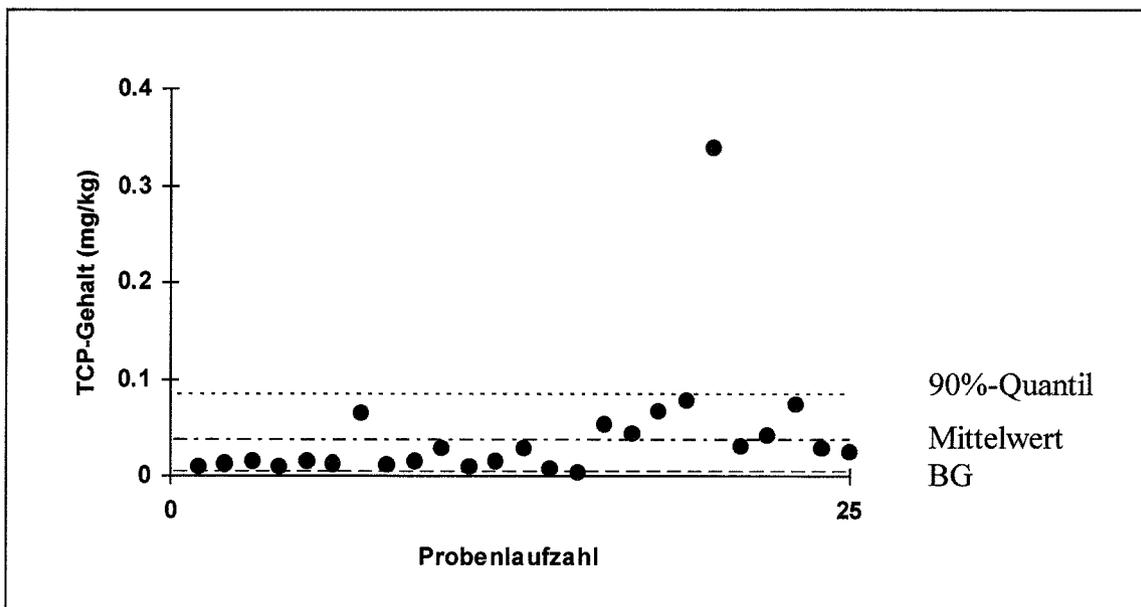


Abbildung 19: 2,3,4,6-TCP-Gehalte in naturbelassenen Hölzern (n=25)

90%-Quantil: 0,09 mg/kg; BG: 0,005 mg/kg
Arithmetischer Mittelwert: 0,042 mg/kg
Für Werte unterhalb der BG wurde das 0,7 fache der BG eingesetzt.

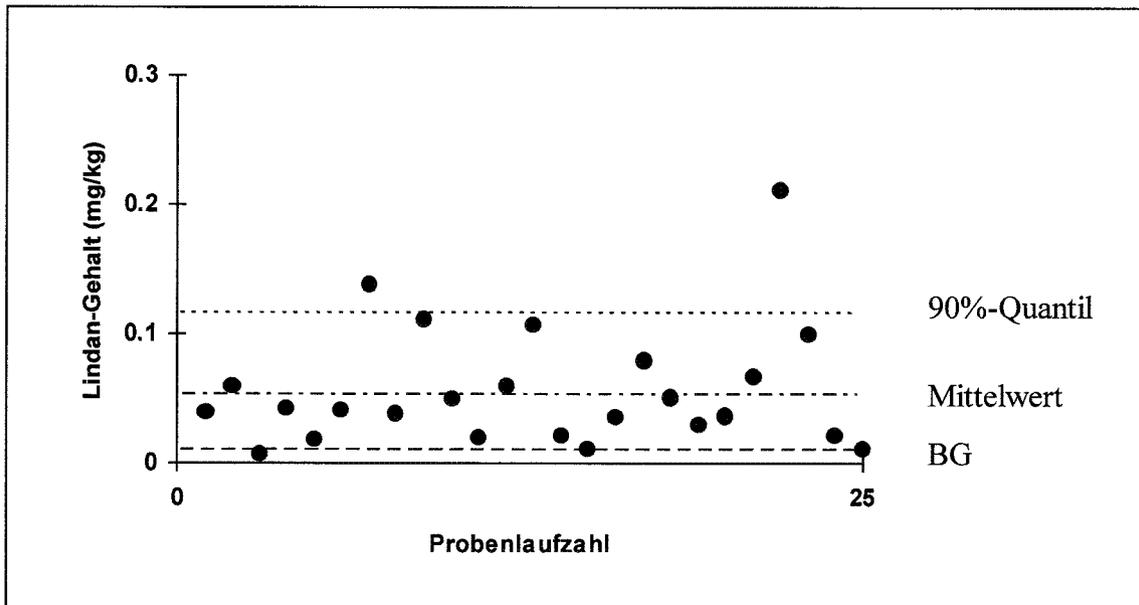


Abbildung 20: Lindan-Gehalte in naturbelassenen Hölzern (n=25)

90%-Quantil: 0,12 mg/kg; BG: 0,005 mg/kg
Arithmetischer Mittelwert: 0,056mg/kg

5.1.4 Wirkstoffgehalte der Einzelprüflinge Gesamtsortiment

Tabelle 23 zeigt eine Zusammenfassung der Ergebnisse der untersuchten Einzelprüflinge. Die vollständigen Ergebnisse sind im Anhang aufgeführt.

Die Abbildungen 21 bis 24 zeigen die Spannweiten der Wirkstoff-/Elementgehalte der Einzelprüflinge im untersuchten Altholzmischsortiment für Bor, Kupfer, PAK und PCP.

Tabelle 23: Ergebniszusammenfassung

Anzahl	Relevante Parameter	Wirkstoffgruppe	BG mg/kg	Probenanzahl unter BG	Spannweite Min. - Max. mg/kg	Probenanzahl über BG	Probenanzahl über 90%-Quantil (über SW 1)	Anzahl der behandelten Proben (über SW 2)
1	As	Schwermetalle	0,05	30	0,05 - 77	86	45 (0,29)	k.a.
2	Cd		0,01	2	0,01 - 100	115	33 (0,27)	k.a.
3	Cr		0,01	-	0,1 - 2600	117	49 (1,16)	15 (110)
4	Cu		0,01	-	0,5 - 1800	117	43 (3,01)	7 (85)
5	Hg		0,02	88	0,02 - 16	29	3 (0,02)	k.a.
6	Pb		0,01	-	0,3 - 80000	117	62 (9,57)	k.a.
7	Sn		0,1	31	0,1 - 11	86	55 (0,24)	k.a.
8	Zn		0,1	-	1,5 - 150000	117	53 (25,20)	k.a.
9	B	Anorg. Verbindungen.	0,1	-	0,8 - 320	117	40 (4,25)	45 (4)
10	F		1	-	1 - 1220	117	35 (2,74)	9 (68)
11	Propoxur	Carbamate	0,013	114	0,02 - 0,27	3		
12	IPBC		0,094	117	n.n.	-		
13	Aldrin	OC	0,5	117	n.n.	-		
14	cis/trans-Chlordan		0,25	117	n.n.	-		
16	Chlorthalonil		0,063	117	n.n.	-		
17	o,p-DDD		0,063	117	n.n.	-		
18	p,p-DDD		0,125	114	0,65 - 15	3		
19	o,p-DDE		0,050	115	0,36 - 3,8	2		
20	p,p-DDE		0,050	112	0,08 - 13	5		
21	o,p-DDT		0,250	113	1,1 - 22	4		
22	p,p-DDT		0,625	115	1,2 - 84	2		
23	6 DDT gesamt		1,17	110	1,2 - 106	7		
24	Dichlofluanid		0,06	116	0,28	1		
25	Dieldrin		0,125	112	0,15 - 131	5		
26	Endosulfan		0,625	116	1,2	1		
27	Endrin		0,75	114	0,55 - 3,8	3		
28	HCB		0,025	117	n.n.	-		
29	α-Heptachlorepoxyd		1,0	117	n.n.	-		
30	alpha-HCH		0,063	111	0,13 - 23	6		
31	beta-HCH		0,063	109	0,09 - 154	8		
32	delta-HCH		0,063	113	0,13 - 6,0	4		
33	epsilon-HCH		0,063	114	0,08 - 3,4	3		
34	5 HCH-Isomere		0,22	102	0,23 - 232	15		
35	Heptachlor		0,25	117	n.n.	-		
36	Heptachlorepoxyd		0,625	116	4,1	1		
37	Lindan	0,063	82	0,06 - 77	35	46 (0,005)		
38	o,p-Methoxychlor	0,25	111	0,5 - 52	6			
39	Pentachlorphenol	0,005	-	0,02 - 890	117	41 (0,46)	k.a.	
40	2,3,4,6-TCP	0,005	14	0,009-120	103	29 (0,09)		
41	Chlorpyrifos	OP	0,025	116	0,16	1		
42	Parathion-ethyl		0,025	112	0,13 - 14	5		
43	Parathion-methyl		0,025	116	0,03	1		
44	Phoxim		0,063	117	n.n.			
45	Furmecycloxy	ohne Halogene	0,006	115	0,02 - 0,04	2		
46	Acenaphthen	PAK	0,025	47	0,03 - 514	70		
47	Acenaphthylen		0,003	19	0,01 - 4,1	98		
48	Anthracen		0,025	31	0,03 - 770	85		
49	Benz(a)anthracen		0,025	21	0,03 - 6240	96		
50	Benzo(b)fluranthen		0,050	55	0,05 - 5240	62		
51	Benzo(k)fluoranthren		0,050	81	0,05 - 1980	34		
52	Benzo(a)pyren		0,050	91	0,05 - 2340	26		
53	Benzo(g,h,i)perylen		0,050	97	0,05 - 2400	20		
54	Chrysen		0,025	37	0,03 - 6130	80		
55	Dibenzo(a,h)-anthracen		0,050	110	0,06 - 320	7		
56	Naphthalin		0,003	59	0,01 - 45	58		
57	Fluoranthren		0,050	6	0,2 - 10630	111		
58	Fluoren		0,025	33	0,03 - 4250	74		
59	Indeno(1,2,3-cd)pyren		0,125	106	0,16 - 920	11		

Fortsetzung Tabelle 23: Ergebniszusammenfassung

Anzahl	Relevante Parameter	Wirkstoffgruppe	BG mg/kg	Probenanzahl unter BG	Spannweite Min. - Max. mg/kg	Probenanzahl über BG	Probenanzahl über 90%-Quantil (über SW 1)	Anzahl der behandelten Proben (über SW 2)
60	Phenanthren	PAK	0,025	7	0,11 - 9100	110	23 (7,57)	k. a.
61	Pyren		0,050	6	0,06 - 18700	111		
62	16 PAK		0,660	10	0,7 - 55800	107		
63	PCB 28	PCB	0,025	114	0,03 - 0,62	3		
64	PCB 52		0,050	116	0,20	1		
65	PCB 101		0,063	110	0,11 - 2,0	7		
66	PCB 138		0,063	105	0,19 - 28	11		
67	PCB 153		0,063	108	0,08 - 42	9		
68	PCB 180		0,063	107	0,09 - 15	10		
69	6 PCB		0,23	104	0,32 - 85	13		
70	1-Chlornaphthalin		PCN	0,003	94	0,01 - 2,6		
71	2-Chlornaphthalin	0,003		110	0,01 - 0,08	7		
72	1,2-Dichlornaphthalin	0,013		113	0,03 - 3,2	4		
73	1,4-Dichlornaphthalin	0,013		96	0,02 - 20	21		
74	1,5-Dichlornaphthalin	0,013		97	0,02 - 6,4	20		
75	1,8-Dichlornaphthalin	0,013		112	0,03 - 8	5		
76	2,3-Dichlornaphthalin	0,013		115	0,07 - 0,14	2		
77	Octachlornaphthalin	0,190		116	4,45	1		
78	1,2,3,4-TCN	0,125		116	0,27	1		
79	8 PCN	0,27		110	0,3 - 40	7		
80	Cyfluthrin	Pyrethroide	0,01	117	n.n.	-		
81	Cypermethrin		0,01	117	n.n.	-		
82	Deltamethrin		0,01	117	n.n.	-		
83	Permethrin		0,02	114	0,02 - 0,18	3		
84	Propiconazol	Triazole	0,125	117	n.n.	-		
85	Tebuconazol		0,125	116	4	-		

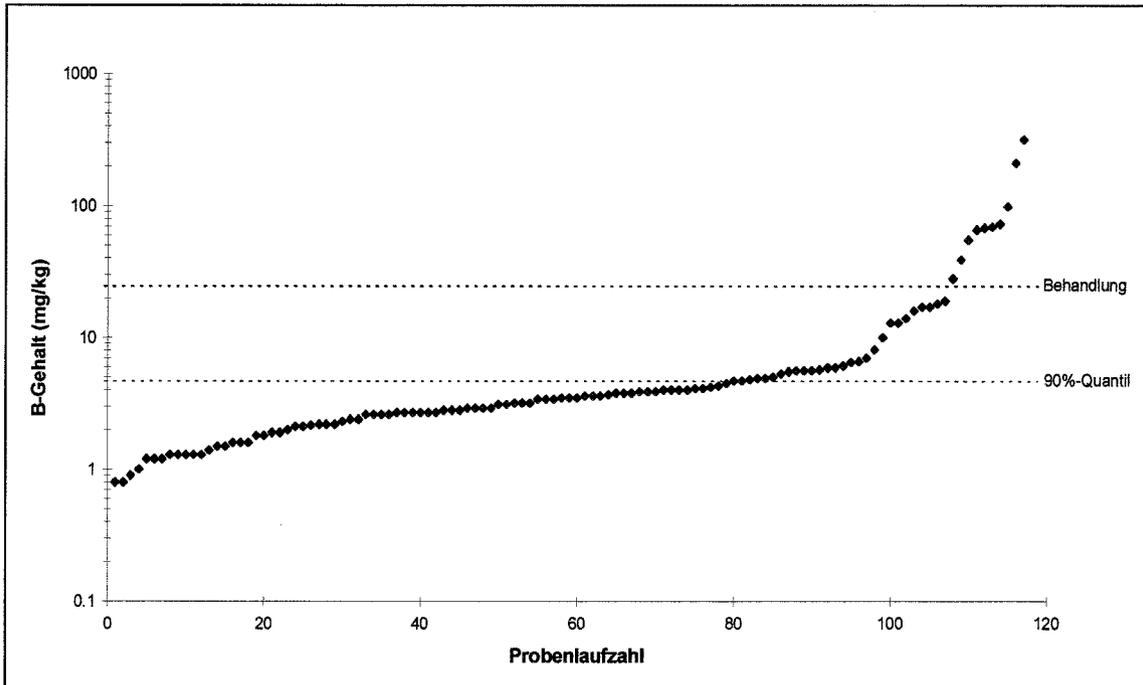


Abbildung 21: Spannweite der Bor-Gehalte (m/kg) im untersuchtem Altholzmischsortiment
naturbelassenes Holz: 1,3 - 4 mg/kg
behandeltes Holz mit Auswaschung: 26 - 430 mg/kg
behandeltes Holz: 39 - 870 mg/kg

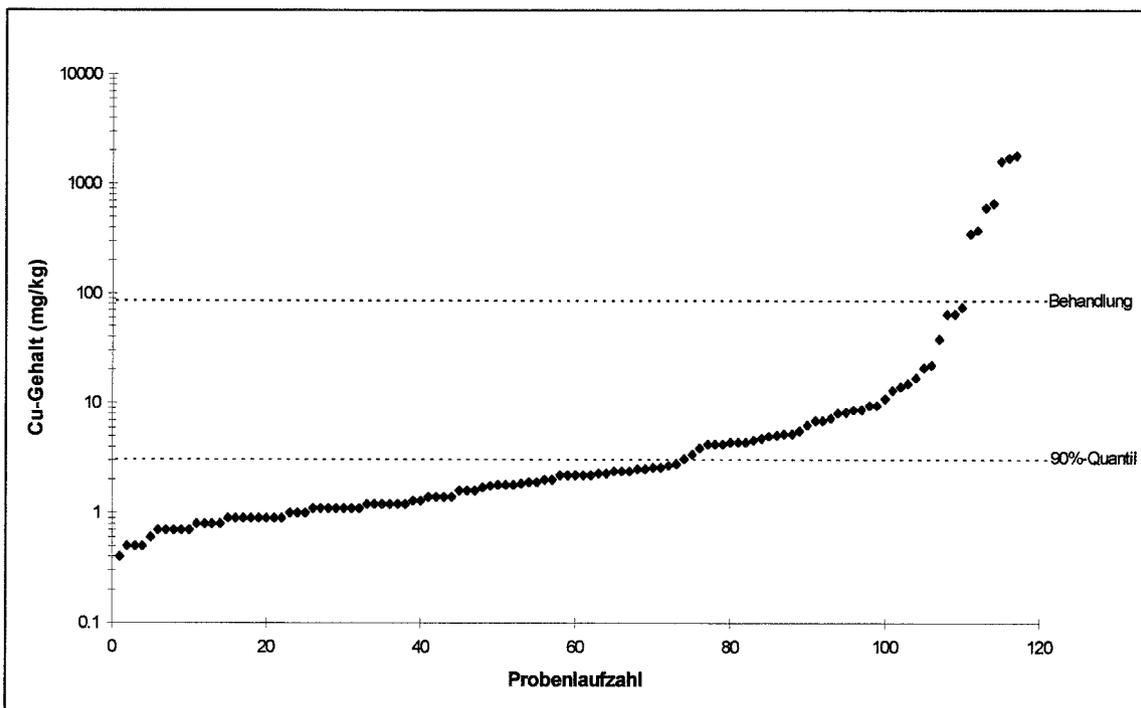


Abbildung 22: Spannweite der Kupfer-Gehalte (mg/kg) im untersuchtem Altholzmischsortiment
naturbelassenes Holz: 0,5 - 3 mg/kg
behandeltes Holz mit Auswaschung: 85 - 3080 mg/kg
behandeltes Holz: 90 - 3240 mg/kg

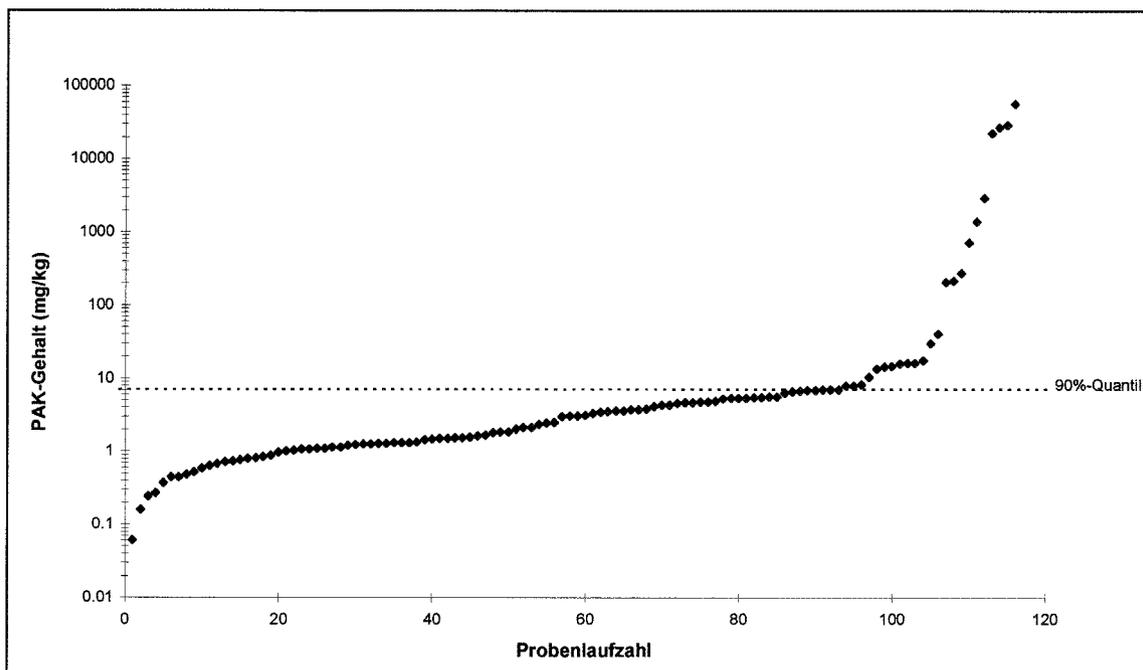


Abbildung 23: Spannweite der Gehalte an 16 PAK nach EPA (mg/kg) im untersuchtem Altholzsortiment
naturbelassenes Holz: 0,44 - 8 mg/kg
behandeltes Holz mit Auswaschung: k.A.
behandeltes Holz: k.A.

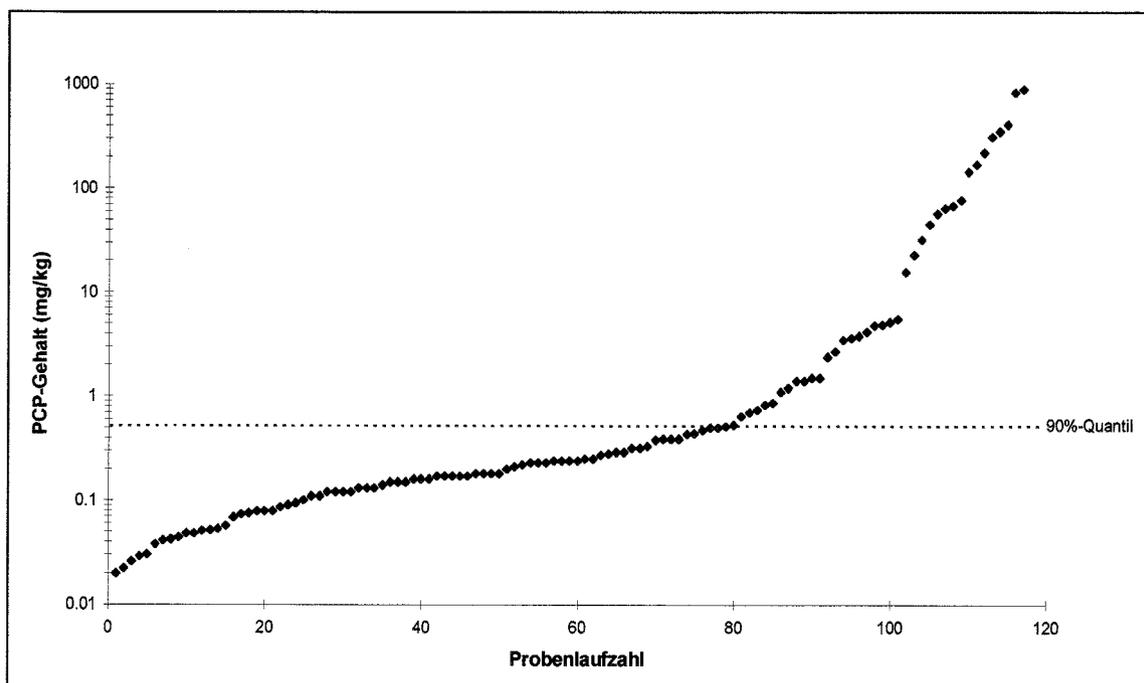


Abbildung 24: Spannweite der PCP-Gehalte (mg/kg) im untersuchtem Altholzsortiment
naturbelassenes Holz: 0,02 - 0,5 mg/kg
behandeltes Holz mit Auswaschung: k.A.
behandeltes Holz: k.A.

5.1.5 Vergleich Oberflächen-/Querschnittsbeprobung von Einzelprüflingen

Tabelle 24: Vergleich Oberflächen-/Querschnittsbeprobungen von ausgewählten Einzelprüflingen

lfd. Proben-Nr.	Proben Kriterium [cm]	Wirkstoff	Oberfläche Gehalt [mg/kg]	Querschnitt Gehalt [mg/kg]	Quotient Gehalt Oberfläche/Querschnitt
7	Latte hellgrüne Färbung 134 (l) × 5,5 (b) × 3,6 (h)	B	320	70	4,57
		Cr	2100	320	6,56
		Cu	1700	220	7,73
61	Zaunlatte 93 (l); r = 4	PAK	29224	19315	1,51
82	Pfahl dunkelbraune Färbung 170 (l) × 10 (b) × 10 (h)	PAK	55794	30130	1,85
88	Balken weißer Farbanstrich 124 (l) × 9 (b) × 12 (h)	Pb	80 000	24 000	3,33
		Zn	150 000	26 000	5,77
106	Konterlatte 75 (l) × 5 (b) × 3 (h)	PCP	890	500	1,78
		Lindan	92	44	2,09
114	Paneele hellbraune Lasur 296 (l) × 9 (b) × 1,5 (h)	PCP	170	75	2,27
		Lindan	16	9	1,78
115	Brett 221 (l) × 9,5 (b) × 3 (h)	F	1219	1030	1,18

5.2 Untersuchung von Schreddergut

5.2.1 Wirkstoff-/Elementgehalte der untersuchten Teilsortimente

Die geschredderten Untersortimente wurden jeweils 3 mal auf ausgewählte Wirkstoff-/Elementgehalte untersucht. Tabelle 25 zeigt die Ergebnisse dieser Untersuchung.

5.2.2 Wirkstoff-/Elementgehalte der untersuchten Teilsortimente

Tabelle 25: Wirkstoff-/Elementgehalte der geschredderten Teilsortimente

Verbindung	Mittelwert			U	s	V	Mittelwert			A	s	V	Mittelwert			O	s	V	Mittelwert			F	s	V	
	U.I.	U.II.	U.III.				A.I.	A.II.	A.III.				O.I.	O.II.	O.III.				O	F.I.	F.II.				F.III.
As	0,035	0,035	0,035	0,035	-	-	0,5	0,5	0,5	-	-	0,035	0,1	0,15	0,10	0,058	0,607	0,433	0,433	0,45	0,5	0,35	0,433	0,076	0,176
B	2,2	1,5	0,8	0,70	0,47	13	14	18	15	2,646	0,176	1,9	2,1	2,5	2,17	0,306	0,141	1,9	1,4	1,5	2,8	1,9	0,781	0,411	
Cd	0,08	0,06	0,12	0,03	0,35	0,26	0,32	0,34	0,31	0,042	0,136	0,14	0,11	0,13	0,13	0,015	0,121	0,727	0,68	0,95	0,55	0,727	0,204	0,281	
Cr	0,6	0,4	0,7	0,57	0,15	100	110	100	103	5,774	0,056	1,2	9,7	5,7	5,53	4,252	0,769	22,667	20	24	24	22,667	2,309	0,1	
Cu	1,1	0,8	1,1	1	0,17	30	32	31	31	1	0,032	1,4	7,6	5,3	4,77	3,134	0,658	3,967	3,6	4,8	3,5	3,967	0,723	0,182	
F	3,8	1,5	3,1	2,80	1,18	0,42	133	143	142	5,508	0,04	1,3	1,4	2,3	1,67	0,551	0,33	3,567	4	3,3	3,4	3,567	0,379	0,106	
Hg	0,007	0,007	0,007	0,007	-	-	0,007	0,007	0,007	0,01	-	0,007	0,007	0,02	0,01	0,008	0,662	0,063	0,08	0,04	0,07	0,063	0,021	0,329	
Pb	2,1	1,6	7,6	3,77	0,88	5,1	3,7	4,1	4,3	0,721	0,168	12	24	29	21,67	8,737	0,403	803,333	920	820	670	803,333	125,8	0,157	
Sn	0,07	0,07	0,07	0,07	-	-	0,8	0,07	0,31	0,421	1,345	2,2	4,7	5,9	4,27	1,888	0,442	1,2	1,1	1,6	0,9	1,2	0,361	0,30	
Zn	11	10	14	11,67	2,08	0,18	15	16	22	3,786	0,214	10	13	33	18,6667	12,5	0,67	1150	1200	1250	1000	1150	132,3	0,115	
DDT ges.	n.n.	n.n.	n.n.	-	-	-	n.n.	n.n.	n.n.	-	-	n.n.	n.n.	n.n.	-	-	-	-	n.n.	n.n.	n.n.	-	-	-	
Lindan	0,03	0,02	0,04	0,03	0,01	0,27	0,032	0,032	0,038	0,034	-	0,1	0,89	2	1,93	1,007	0,522	1,567	1,5	1,6	1,6	1,567	0,058	0,037	
PAK	8,82	2,1	2,16	4,36	3,86	0,89	1,47	1,47	1,53	1,49	0,035	50	1462	807	773	706,4	0,91	5,74	7,19	5,04	4,99	5,74	1,256	0,22	
PCN	0,008	0,006	0,027	0,01	0,01	0,85	0,006	0,009	0,006	0,01	0,002	4,65	0,15	0,92	1,91	2,407	1,26	0,033	0,06	0,02	0,02	0,033	0,023	0,69	
PCP	0,21	0,19	0,23	0,21	0,06	0,28	0,21	0,21	0,26	0,029	0,127	11,4	9,8	12	11,0667	1,137	0,103	11,9667	12	13,1	10,8	11,9667	1,15	0,096	
PCB	n.n.	n.n.	n.n.	-	-	-	n.n.	n.n.	n.n.	-	-	n.n.	n.n.	n.n.	-	-	-	-	n.n.	n.n.	n.n.	-	-	-	

5.3 Vergleich Einzelprüfling-Schreddergut

Die Ergebnisse des Vergleichs der über die Einzelprüflingsuntersuchung ermittelten Wirkstoffmengen im Gesamtsortiment mit dem über die Schreddergutuntersuchung ermittelten Wirkstoffmengen ist in Auszügen in Tabelle 29 in Kapitel 6 dargestellt. Die vollständigen Ergebnisse befinden sich im Anhang.

5.4 Sonderverfahren

5.4.1 EOX-Bestimmung

In ausgewählten Proben wurde der EOX-Gehalt mit zwei verschiedenen Extraktionsverfahren ermittelt und verglichen. Neben der Methode nach DIN 38 409 wurde mit einem Methanol/Aceton-Gemisch extrahiert. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 26 dargestellt.

Tabelle 26: EOX-Gehalte (mg/kg) in Abhängigkeit vom Extraktionsmittel

lfd. Proben-Nr.	Extraktion mit MeOH/Aceton [12:88] nach Bremer Umweltinstitut EOX-Gehalte (mg/kg)	Extraktion mit n-Hexan nach DIN 38 409 EOX-Gehalte (mg/kg)
22	206	78
69	487	109
106	673	92
112	458	153
114	110	30

Der Vergleich aus der Einzelstoffanalytik der Organohalogenverbindungen berechneten EOX-Gehalte mit den nach DIN 38 414 S17 bestimmten EOX-Gehalte ist im Anhang aufgeführt.

5.4.2 Proben-Abgleich

Das von der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft zur Verfügung gestellte standardisierte Probenmaterial wurde in Abhängigkeit von der Schutzmittelbehandlung auf entsprechende Holzschutzmittelwirkstoffe untersucht.

Bei dem Probenmaterial handelt es sich um Kiefern- und Fichtenklötzchen ($70 \times 70 \times 20$ mm), die jeweils mit 0,5 ml gelöstem Wirkstoff (0,1 %ige Wirkstoffkonzentration) behandelt wurden.

Die Proben weisen bei einer Oberfläche von $1/200 \text{ m}^2$ eine Wirkstoffmenge von 0,5 mg auf.

Es wurden jeweils ein Fichten- und Kiefernklötzchen auf ihren Gehalt an Cypermethrin, Deltamethrin und Permethrin untersucht. Die Untersuchung erfolgte nach der im Anhang angeführten Analysenvorschrift. Die Ergebnisse sind dem Anhang zu entnehmen.

6 Diskussion

Die stoffliche Verwertung bzw. sachgerechte Entsorgung von Holzabfällen ist ein vorrangliches Problem geworden. Zum einen ist es sinnvoll, naturbelassenes bzw. unbehandeltes Altholz einer stofflichen Verwertung zuzuführen, z.B. durch anteilige Verwendung bei der Spanplattenproduktion. Zum anderen ist durch das Vermischungs- bzw. Verdünnungsverbot die Ermittlung von Werten notwendig, welche eine Unterscheidung von naturbelassenem und belastetem Altholz ermöglicht.

Eine visuelle Einteilung von Holzabfällen am Anfallort in behandelte oder unbehandelte Hölzer ist nur begrenzt möglich und reicht für eine verwertungs- bzw. entsorgungsgerechte Sortierung nicht aus. Eine entsprechende Sortierung bleibt daher auf bestimmte Monosortimente begrenzt, da es auch keine allgemeine Kennzeichnungspflicht für Holzschutzmittelwirkstoffe in Holz gab oder gibt (Peek et al. 1994; Voß 1995).

Besonders wichtig erscheint die Tatsache, daß das KrW-/AbfG nur unbelastete/naturbelassene Holzabfälle für die Weiterverwendung in den Stoffkreislauf zuläßt. Alle anderen Holzabfälle müssen entweder - wenn schadstofffrei bzw. schadstoffarm möglich - thermisch verwertet oder thermisch entsorgt werden. Daraus ergibt sich der dringende Bedarf für ein standardisiertes Probenahme- und Analysenverfahren zur Bestimmung der Holzschutzmittelwirkstoffgehalte in Altholz.

Innerhalb dieses Vorhabens wurde von uns ein Probenahme- und Analysenverfahren angewandt, daß folgenden Anforderungen genügt:

- sichere Identifizierung von Wirkstoffen mit ausreichenden Bestimmungsgrenzen
- die Reproduzierbarkeit der Verfahren
- Qualitätssicherung des Verfahrens

6.1 Im Vorhaben ermittelte Ergebnisse

Für die definierte und reproduzierbare Probenahme aus Holzoberflächen wurde ein geeignetes Gerät entwickelt und validiert.

Dieses von uns entwickelte Probenahmegerät hat sich in der Praxis bewährt. In Abstimmung mit der BfH und dem UBA wurde eine Probenahmetiefe von 5 mm festgelegt. Ausgegangen wurde dabei von der Überlegung, daß eine Bohrtiefe von 5 mm zur Ermittlung der durchschnittlichen Holzschutzmittelbelastung eines Einzelprüflings ausreicht und zwar unabhängig vom Einbringverfahren. Bei oberflächenbehandelten Hölzern (z.B. mit PCP/Lindan) ist davon auszugehen, daß durch Untersuchung einer 5 mm dicken Oberflächenschicht in der Regel über 95 % der im Einzelprüfling vorhandenen Wirkstoffe erfaßt werden. Bei Eindringverfahren, durch die sich der Wirkstoff weiter über den gesamten Holzquerschnitt verteilt, kann von einer deutlich über 50 % liegenden Erfassung ausgegangen werden. Ein möglicher Wirkstoffverlust z.B. durch Auswaschung wird somit weitgehend berücksichtigt und kann nicht zu einer Fehleinstufung eines Einzelprüflings führen.

Der neue LAGA-Entwurf zur Anforderung an die Entsorgung von Holzabfällen (LAGA 1998) gibt in Anlehnung an die DIN 52 161 vor, Proben mit einer Eindringtiefe von 3 mm zu entnehmen. Bei nicht oberflächenbehandelten Hölzern könnte die Sicherheit mit der die Belastungen im Holz erfaßt werden, deutlich abnehmen. Nach unserer Auffassung ist eine Probenahmetiefe von 5 mm vorzuziehen.

In entsprechenden Vorversuchen wurde ermittelt, wieviele Einzelproben erforderlich sind, um eine ausreichend genaue Aussage über die durchschnittliche Belastung eines Einzelprüflings machen zu können. Durch statistische Auswertung wurde eine Probenzahl von 10 Einzelproben ermittelt. Somit wurden zur Feststellung der durchschnittlichen Belastung eines stückigen Einzelprüflings jeweils 10 Einzelproben (Bohrtiefe 5 mm) zu einem Homogenat verarbeitet und für die einzelnen Analysenverfahren der ausgewählten

Holzschutzmittel proportioniert. Diese Art der Probenahme ist praxisgerecht und ausreichend genau. Es ist gewährleistet, dass eventuell vorhandene Holzschutzmittelbelastungen in Holzabfällen für die hier untersuchten Substanzen sicher nachgewiesen werden. Mit dem angewandten Verfahren ist aus einem Einzelprüfling eine repräsentative Laborprobe gewinnbar, durch deren analytische Untersuchung eine sichere Aussage möglich ist, ob dieser Einzelprüfling als naturbelassen, kontaminiert oder behandelt einzustufen ist.

Von den 117 Einzelstücken des im Rahmen des Vorhabens untersuchten real anfallenden Altholzsortiments waren optisch 25 als unbelastet/naturbelassen einzustufen. Somit sind ca. 80 % der Hölzer als nicht naturbelassen einzustufen.

Folgende anorganische Wirkstoffe bzw. Elemente wurden in dem hier untersuchten Sortiment bei der Untersuchung der Einzelprüflinge nachgewiesen: Arsen (As); Bor (B); Blei (Pb); Cadmium (Cd); Chrom (Cr); Kupfer (Cu); Fluor (F); Quecksilber (Hg); Zink (Zn) und Zinn (Sn). Cadmium wurde nur in zwei Proben nachgewiesen.

Von den organischen Holzschutzmitteln wurden folgende Wirkstoffe nachgewiesen: PCP; Lindan und andere HCH-Isomere; PAK; Chlornaphthaline; Parathionethyl; DDT; Methoxychlor; Heptachlorepoxyd und Dieldrin. Parathion-ethyl wurde in zwei, Methoxychlor, Dieldrin und Heptachlorepoxyd in einer Probe nachgewiesen.

Pyrethroide waren nur in Spuren nachweisbar, Carbamate, Troysan Polyphase, Fumecycloxyd und die Triazole konnten im Rahmen dieser Untersuchung nicht nachgewiesen werden. Dies liegt vermutlich daran, dass diese Wirkstoffe (z.B. Pyrethroide und Triazole) erst seit ca. 10 bis 15 Jahren auf dem Markt sind und die Nutzungszeiten der mit solchen Wirkstoffen behandelten Hölzer noch nicht beendet sind. Diese Wirkstoffe werden erst wohl in absehbarer Zukunft in größeren Mengen in den Holzabfällen zu finden sein.

In Tabelle 27 ist die Zusammensetzung des untersuchten Altholzsortimentes nach der ermittelten Belastung dargestellt.

Tabelle 27: Zusammenstellung des hier untersuchten Altholzsortimentes nach ausgesuchten Belastungsarten (n = 117)

Art der Belastung	Probenanzahl	Prozent
unbelastet/naturbelassen	25	ca. 21 %
Schwermetallbelastungen > 90 Perzentilwert	78	ca. 67 %
Schwermetallbelastungen durch Pigmente	29	ca. 25 %
Bor-, Fluor- und Schwermetallbelastungen durch entsprechende HSM	14	ca. 12 %
PAK-Belastung (Summe PAK-EPA > 90 Perz.)	23	ca. 20 %
PCP-Belastung (> 0,5 mg/kg)	27	ca. 23 %
Mehrfachbelastungen	16	ca. 13 %

Mehr als 50 % der Hölzer weisen Schwermetallkonzentrationen auf, die oberhalb der von uns statistisch ermittelten Hintergrundkonzentrationen für Schwermetallgehalte naturbelassener Hölzer liegen. Der größere Teil dieser Schwermetallbelastungen ist durch Pigmente und nicht durch entsprechende Holzschutzmittel verursacht.

Arsen wurde praktisch nur im Außenbereich angewendet und ist vor allem in Hölzern mit Erdkontakt zu erwarten. Im Innenbereich kann Arsen in Form von CKA-Salzen besonders in Fertighäusern, speziell aus Skandinavien eingesetzt worden sein (Voß, Willeitner 1994). Normalerweise ist Arsen im Hochbaubereich allerdings nicht zu erwarten. Hier wurde Arsen meist im Zusammenhang mit Farbanstrichen nachgewiesen, z.T. in deutlichen Konzentrationen (bis 42 mg/kg). Von uns wurde Arsen relativ häufig gefunden, meistens im Bereich bis 3 mg/kg (insgesamt in 14 Proben nachgewiesen).

Für quecksilberhaltige Holzschutzmittel ist normalerweise davon auszugehen, daß sich das Vorkommen in Hölzern auf Masten, Rebpfähle und Hopfenstangen vor allem in Süddeutschland beschränkt (Voß, Willeitner 1994). Auch Quecksilber wurde hier mehrfach in 5 Proben mit Gehalten zwischen 1,2 bis 16 mg/kg nachgewiesen. Da beim Nachweis von Quecksilber immer auch stark erhöhte Gehalte von Cadmium und insbesondere Zink

vorliegen, ist mit hoher Wahrscheinlichkeit davon auszugehen, daß die Quecksilber- und Cadmium-Belastung durch Verunreinigung in Zinkpigmenten hervorgerufen wird.

Es ist nicht ganz klar, ob Parathion, Methoxychlor und Dieldrin als Holzschutzmittelwirkstoffe eingesetzt worden sind. Voß und Willeitner (1994) gehen davon aus, daß diese Substanzen als Wirkstoffe in Frage kommen, vermutlich aber nicht eingesetzt wurden. Heptachlorepid wurde als Holzschutzmittelwirkstoff nicht eingesetzt, kann aber durch Abbau des Wirkstoffes Heptachlor entstehen.

Man kann davon ausgehen, daß es sich bei dem von uns untersuchten Altholzmischsortiment um ein typisches Sortiment aus Bauabrissholz handelt. Die in diesem Altholzsortiment nachgewiesenen Belastungen sind nach unserer Auffassung durchaus typisch in ihrer Zusammenstellung. Die Art der Holzschutzmittelbelastungen dürfte bei anderen Altholzsortimenten zwar differieren, insgesamt werden aber immer bestimmte Leitparameter vorkommen (Arsen, Quecksilber, Chrom, Zink, Blei, PCP, Lindan, DDT und PAK). Die neueren Holzschutzmittelwirkstoffe werden erst in absehbarer Zeit eine Rolle in Holzabfällen spielen.

Nach der Beprobung der stückigen Einzelprüflinge und nach Abschluß der entsprechenden Analytik wurde das vorliegende inhomogene Altholzsortiment optisch vorsortiert (siehe unter 4.2.2.1) und nachfolgend geschreddert (Korngröße 30 mm). Die Altholzhaufen wurden optisch nach folgenden Kategorien sortiert:

- U unbehandelte Hölzer
- O organisch belastete Hölzer
- A anorganisch belastet Hölzer
- F Hölzer mit Farbanstrich

Die nach dem Kegelverfahren geteilten Schredderfraktionen wurden in weitere Teilmengen geviertelt, deren letzte Fraktion (ca. 10 l) dann auf eine Korngröße von 3 mm zerkleinert und homogenisiert wurden. Diese Homogenate wurden dann analysiert. Von jedem der vier Teilsortimente wurden jeweils drei Proben untersucht.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse auf, daß das Herstellen von Homogenaten bis zu einer Menge von ca. 150 l geschreddertem Altholzes mit dem angewandten Verfahren bis auf einige Ausnahmen in einem akzeptablen Bereich liegen.

Als Güte für die Qualität der Homogenisierung bzw. den Grad der Inhomogenität einer Schredderfraktion ist der Variationskoeffizient der Standardabweichung des Mittelwertes der je Teilsortiment ermittelten Untersuchungsergebnisse zu betrachten. Die gefundenen Variationskoeffizienten liegen zwischen 0,02 und 1,35. Die vollständigen Ergebnisse sind in Tabelle 25 dargestellt. Variationskoeffizienten von bis zu 0,3 liegen in dem Bereich, der für die Inhomogenität der Wirkstoffgehalte im Einzelprüfling gefunden wurden.

In niedrigen Konzentrationen also im Bereich der Bestimmungsgrenze weisen die angewandten Analysenverfahren zum Teil Variationskoeffizienten bis zu 0,5 auf, so daß in niedrigen Konzentrationsbereichen verfahrensbedingt keine darunter liegenden Variationskoeffizienten sicher zu bestimmen sind. Variationskoeffizienten von oberhalb 0,5 deuten auf eine Inhomogenität im Schreddergut hin. Der Wert von 1,35 für Zinn im Sortiment A ist durch einen Ausreißer von 0,8 mg/kg (A II) bedingt. Die Werte liegen im Bereich der Bestimmungsgrenze, so das hier auch mit einem relativ hohen analytisch bedingten Variationskoeffizient zu rechnen ist. Im Sortiment O liegt für PCN mit 1,26 ein relativ hoher Variationskoeffizient vor. Die Gehalte liegen auch hier im unteren ppm Bereich, somit ist auch hier mit einem relativ hohen analytisch bedingten Variationskoeffizienten zu rechnen. Der Variationskoeffizient von 0,91 bei PAK im Sortiment O zeigt Schwächen des angewandten Verfahrens auf, da 1. die zugrunde liegenden Meßwerte im gut erfaßbaren Bereich liegen, 2. das Sortiment O mit ca. 500 kg mit den vorhandenen Mitteln nicht in einem Durchgang geschreddert werden konnte, 3. die durch

die im Vergleich zu anderen Wirkstoffen bei den PAK besonders hohen Einbringmengen einen erhöhten Aufwand bei der Homogenisierung erfordern.

Hier besteht offensichtlicher Forschungsbedarf, da in der Praxis normalerweise erheblich größere Alt- und Restholzsortimente anfallen, deren evtl. Belastung mit Schadstoffen statistisch abgesichert ermittelt werden muß.

6.2 Vergleich mit Literatur

6.2.1 Gehalte unbehauelter Hölzer

Ein Problem, daß sich vor allem durch das Inkrafttreten des KrW-/AbfG darstellt, ist die Einhaltung des Vermischungsverbotes. Für Holzabfälle heißt das, zu beurteilen ob es naturbelassen bzw. ob es belastet ist (unabhängig ob durch Behandlung oder Kontamination), denn nur unbelastetes Holz kann der stofflichen Verwertung zugeführt werden. Als Folge einer stofflichen Verwertung von Holzprodukten nach Gebrauch dürfen keine vorausschaubaren zukünftigen Entsorgungsprobleme entstehen (Willeitner, Bucki 1994).

Nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz wird naturbelassenes Holz folgendermaßen definiert: als Holz, das nur mechanischer Bearbeitung ausgesetzt war und bei seiner Verwendung nicht mehr als unerheblich mit Verunreinigungen kontaminiert wurde (Mair, Frieß 1995; LUA NRW 1997).

Die Frage, was eine unerhebliche Kontamination ist, wird vom LUA NRW (1997) wie folgt beantwortet: organische und anorganische Stoffe im Holz, die in entsprechenden Konzentrationen nicht in naturbelassenem Holz zu finden sind.

In der letzten Zeit sind von einigen Autoren entsprechende Werte veröffentlicht worden (z.B. Marutzky et al. 1993; Deppe 1994; Bünemann et al. 1994; Strecker, Marutzky 1994; Nussbaumer 1994; Marutzky 1995; Bockelmann 1995; Swaboda, Aehlig 1996; Hoffmann 1996; Vogt 1996; LAGA 1997; Peck 1998).

Die Werte, die jeweils zur Diskussion stehen, differieren z.T. deutlich, jedoch ist nicht ersichtlich, nach welchen Kriterien die Zuordnungen getroffen wurden. Da es zur Zeit noch keine verbindliche Regelung gibt, die den Eintrag von Verunreinigungen in Holzwerkstoffprodukte begrenzt (Ausnahme PCP-V), müssen Grenzwerte festgelegt werden, die dafür sorgen, daß nur naturbelassenes Holz zur stofflichen Verwertung eingesetzt wird. Alle belasteten Alt- und Resthölzer müssen anderen Verwertungs- bzw. Entsorgungswegen zugeführt werden.

Marutzky (1995) geht davon aus, daß naturbelassenes Holz Elemente enthält, die auch in Holzschutzmitteln enthalten sein können und daß sich mit moderner Analysetechnik auch in nachweislich unbehandelten Hölzern Spuren von persistenten chlororganischen Verbindungen nachweisen lassen. Bei strenger Auslegung der 4. BImSchV würde das bedeuten, daß praktisch alle Holzreste als Brennstoffe eingestuft werden könnten (Marutzky 1995).

Unabhängig davon, welche Grenzwerte zur Klassifizierung herangezogen werden, sind behandelte Hölzer von lediglich verschmutzten oder kontaminierten und diese wiederum von völlig naturbelassenen Hölzern zu unterscheiden. Aufgrund dieser Notwendigkeit haben wir im Rahmen dieses Projektes Werte vorgestellt, die wir als eine weitere Diskussionsgrundlage betrachten (Stolz, Krooß 1997; Krooß et al. 1998). Dabei wurden statistisch die 90-Perzentilwerte für 25 Althölzer ermittelt, die sich augenscheinlich als naturbelassen erwiesen hatten.

Die statistische Auswertung hat sich als objektives Kriterium für die Klassifizierung von Schadstoffgehalten in Umweltmedien erwiesen. Im Rahmen des sogenannten Umweltsurveys wurden derartige Auswertungen vom Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des ehemaligen Bundesgesundheitsamtes (jetzt UBA) für verschiedene Matrices vorgelegt (z.B. Krause et al. 1991). Die Überschreitung des sogenannten 90-Perzentilwertes wird dabei als Maß für eine erhöhte Belastung angesehen. Die vorliegenden Ergebnisse (siehe Tabelle 27) zeigen eine derartige statistische Auswertung für die

Ableitung von Richtwerten als Beurteilungsmaßstab für holzschutzmittelrelevante Schwermetalle, Bor, F, PCP, Lindan, PAK und TCP in naturbelassenem Holz. Die statistischen Methoden sind unter 3.4 dargestellt.

6.2.2 Einteilung in Belastungsniveaus

Inhomogene Altholzmischsortimente können mittels des hier vorgestellten Probenahme- und Analysenverfahrens auf ihre Wirkstoff-/Elementbelastung hin untersucht werden. Da bei chemischen Analysen als Information in den meisten Fällen nur eine Konzentrationsbestimmung des jeweiligen Analyten ohne direkte Rückschlußmöglichkeit auf die Herkunft des nachgewiesenen Stoffes gewonnen wird, muß zur sinnvollen Auswertung der Ergebnisse eine Klassifizierung erfolgen. Bisher sind aus der Literatur keine systematischen Einteilungen zur Beurteilung von Belastungsniveaus bekannt. Die in der LAGA (1998) diskutierten Werte sind nicht statistisch begründet.

Für die einzelnen relevanten Holzschutzmittelbestandteile lassen sich folgende drei Konzentrationsniveaus ermitteln, deren Abgrenzung mittels folgender Schwellenwerte ermöglicht wird:

Konzentrationsniveau I soll für Elemente bzw. Bestandteile von Holzschutzsalzen dem Gehalt naturbelassenen Holzes entsprechen. Dabei sind sowohl erhöhte Schwermetallgehalte über entsprechend belastete Böden, als auch die ubiquitäre Verteilung von persistenten organischen Holzschutzmittelwirkstoffen zu berücksichtigen. Als Schwellenwert für den Übergang von Niveau I zu Niveau II wird der 90 %-Quantilwert des jeweiligen Elementes/Wirkstoffes festgelegt (Schwellenwert I).

Das Konzentrationsniveau II soll zur Einordnung der Konzentrationsbereiche dienen, die oberhalb des üblichen Gehaltes naturbelassenen Holzes liegen, jedoch unterhalb des Niveaus, welches auf eine Belastung hindeutet.

Das Konzentrationsniveau III wird in der Regel durch eine direkte Behandlung von Hölzern mit entsprechenden Holzschutzmittelwirkstoffen verursacht. Die vom Hersteller empfohlene Wirkstoffmenge ist jeweils im Konzentrationsniveau III angesetzt. Durch Auswaschung oder Ausgasung bzw. sonstige Wirkstoffverluste kann die Konzentration in behandeltem Holz mit der Zeit deutlich abnehmen. Um auch behandeltes Holz mitzufassen, bei dem solche Effekte wahrscheinlich sind, wird die untere Grenze des Bereichs entsprechend angepaßt. Als Schwellenwert der Niveau II von Niveau III abgrenzt, wird aus Literaturdaten derjenige Wert ermittelt, bei dem unter Berücksichtigung einer möglichen Auswaschung oder Ausgasung während der Nutzung von einer Behandlung ausgegangen werden kann (Schwellenwert II).

Für Stoffe, die nicht zu den natürlichen Holzbestandteilen zählen (z.B. Organochlorpestizide wie PCP und Lindan) wird der Wert der ubiquitären Konzentration naturbelassenen Holzes in der Regel unter der in der vorliegenden Studie gewählten Bestimmungsgrenze liegen. Eine Differenzierung innerhalb dieses Bereiches kann daher nicht erfolgen. Bei den Schwermetallen, die zu den natürlichen Holzbestandteilen gehören, werden die Gehalte oberhalb der Bestimmungsgrenze liegen. Bei diesen Stoffen können daher differenzierte Angaben erfolgen.

In Abbildung 25 ist die Einteilung in Belastungsniveaus in Altholzsortimenten dargestellt.

6.3 Diskussion der Relevanz der Ergebnisse für die Altholzentsorgung

Die hier untersuchten Hölzer stammen aus einem real anfallenden Sortiment, die Werte wurden mit einem aufwendigen Probenahme- und Analysenverfahren ermittelt. Ein solches Verfahren wird schon aus Kostengründen in der Praxis nicht umsetzbar sein. Nach unserer Auffassung geht die Tendenz zur optischen Vorsortierung und anschließender Untersuchung von Schredderfraktionen. Bei Einhaltung der von uns vorgeschlagenen Werte in solchen Schredderfraktionen ist davon auszugehen, daß die homogenisierten Sortimente keine belasteten Hölzer enthalten haben. Somit würde einer stofflichen Verwertung nichts im Wege stehen.

Die in Tabelle 28 dargestellten Werte von Bünemann et al. (1994) stellen beispielhaft dar, wie groß das Spektrum für die Richtwerte bzw. Richtwertvorschläge ist. Würden diese Werte als Grenzwerte akzeptiert, könnte das Vermischungsverbot nicht mehr eingehalten werden. Letztlich wäre die ganze Problematik eine Frage des Verdünnungsfaktors. Es wäre kein Problem, hochbelastete Alt- und Resthölzer mit unbelastetem Holz zu schreddern und dann weiterzuverarbeiten.

Insgesamt liegen die hier ermittelten Werte im Bereich der LAGA-Werte für die Kategorie H1 (LAGA 1997), mit Ausnahme des PCP-Wertes. Nach unserer Auffassung sollte der PCP-Wert nicht so hoch (1 mg/kg) sein. Der von uns vorgeschlagene Wert (0,5 mg/kg), der an einem real anfallenden Altholzsortiment ermittelt wurde, würde zusätzliche Einträge durch PCP-belastete Hölzer verhindern. Bei großen Mengen geschredderter Altholzes würde selbst ein größerer Fehlwurf möglicherweise nicht zur Überschreitung des 1 mg/kg-Wertes für PCP führen.

Insgesamt bleibt festzustellen, daß die meisten Vorschläge für Grenzwerte deutlich über denen liegen, die von uns ermittelt wurden. Durch unsere Werte wäre allerdings gesichert, daß das Vermischungsverbot eingehalten wird, es würden dadurch aber auch erheblich weniger Holzabfälle in die stoffliche Verwertung gehen.

Die Diskussion über Eingangswerte für PCP von 5 mg/kg zur stofflichen Verwertung (siehe z.B. Bünemann et al. 1994) oder 3 mg/kg Grenzwerte für Spanplatten (Anonym 1997) braucht in diesem Kontext nicht geführt werden. Diese können nach dem Text der Verordnung auch nur für den jeweiligen behandelten Anteil, also die oberen Millimeter eines Holzstückes, nicht jedoch nach Vermischung mit unbehandelten Anteilen des Holzstückes nach dem Schreddern gelten. Wichtig ist allerdings die statistisch gesicherte Probenahme aus großen Schreddersortimenten, hier besteht noch Forschungsbedarf.

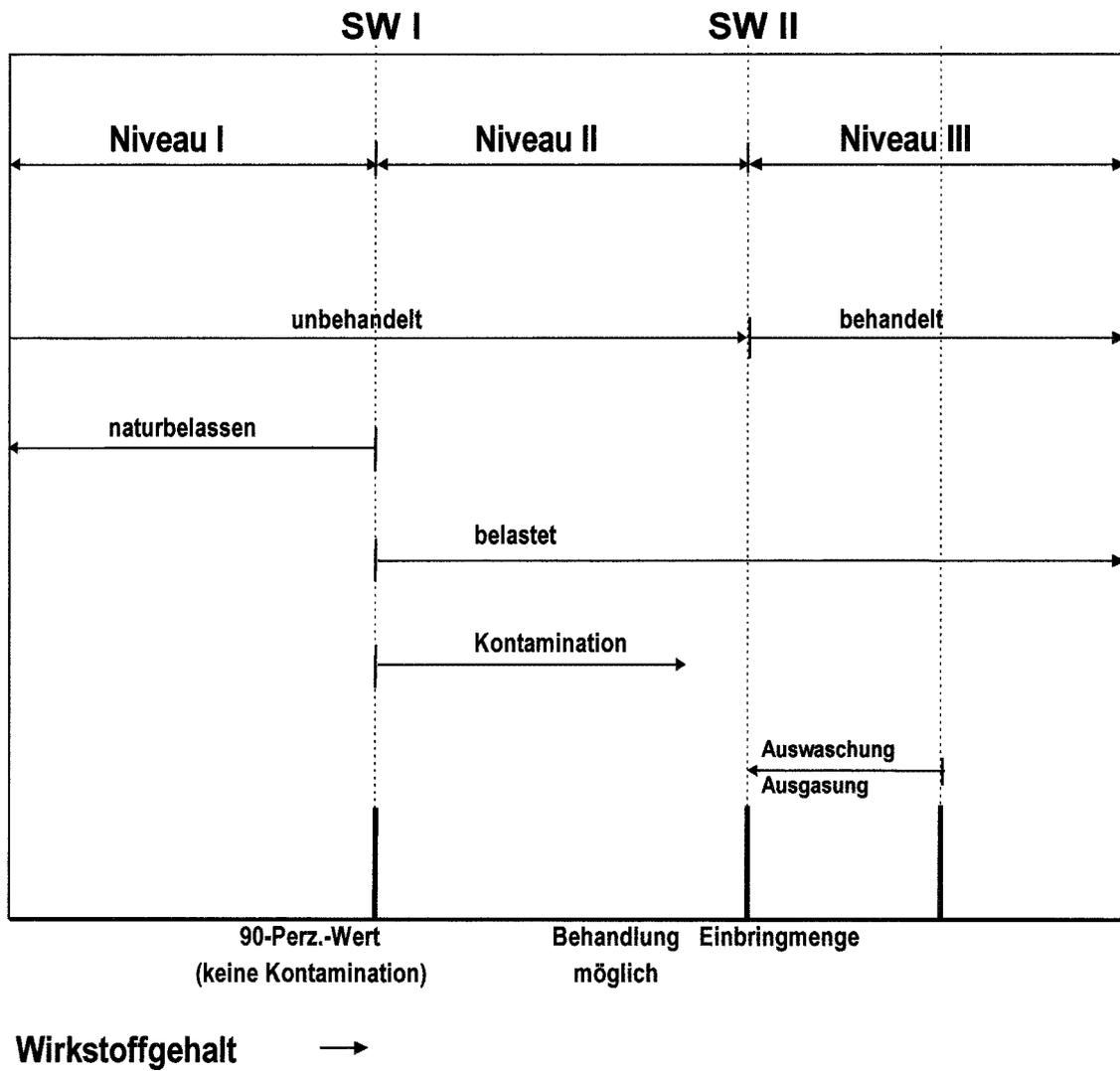


Abbildung 25: Einteilung von Altholzsortimenten in Belastungsniveaus

Tabelle 28: Richtwertvorschläge des Bremer Umweltinstituts für die stoffliche Verwertung von Alt- und Resthölzern

Element/ Wirkstoff	Bremer Umweltinstitut 1998	Bünemann et al. 1994	Deppe 1994	LAGA 1998	Marutzky 1995	Marutzky, Peek, Willeit- ner 1993	Vogt 1996
	Empfehlung von Höchstwerten für unbelastetes Altholz mg/kg	Höchstzulässige Grenzwerte in Verpackungsholz [Annahmekriterien für die stoffliche Verwertung] mg/kg	Vorschläge für Grenzwerte für möglichst vertretbare Verunreinigungen in Altholz mg/kg	Zuordnungs- kriterien Maximalwerte für naturbelas- senes Holz (Gruppe 1) mg/kg	Höchstwerte, bei denen Holzreste als nicht oder nur geringfügig mit Holzschutzmitteln kontaminiert gelten können mg/kg	Empfehlungen für Richtwerte, bei denen Holz als unbehandelt bzw. geringfügig verun- reinigt gelten könnte mg/kg	Empfehlun- gen des Ar- beitskreises Fremd-stoff- bestimmung in Recy- clingholz 1995 mg/kg
As	0,3	25	≤ 25	≤ 4	2	100	2
B	4	-	-	≤ 70	30	250	30
Cd	0,3	75	10	-	-	-	-
Cr	1,2	60	100	≤ 40	-	100	-
Cu	3	-	100	≤ 30	50	250	50
F	3	-	20	≤ 50	50	150	50
Hg	0,02	60	1	≤ 0,3	0,5	5	0,5
Pb	10	90	20	-	-	-	-
Sn	0,3	-	50	-	-	10 ¹⁾	-
Zn	25	-	500	-	-	250	-
PAK	8*	-	-	-	noch offen	100	-
BaP	0,05	-	-	≤ 0,5 (BaP)	-	-	-
PCP	0,5	5	≤ 5	1	1	(5) ³⁾	5
Lindan ²⁾	0,2	2	≤ 2	-	-	(5) ³⁾	-

¹⁾ : Als Bestandteil zinnorganischer Verbindungen; ²⁾ : gamma-HCH; ³⁾ organische Wirkstoffe in Lösemitteln; - : keine Angaben; * : 16 PAK nach EPA; BaP : Benzo(a)pyren

6.3.1 Einzelbeprobung

Im Rahmen dieses Vorhabens wurde ein Probenahme- und Analysenverfahren für Holzschutzmittelwirkstoffe in Alt- und Restholz entwickelt. Dabei wurde die Probenahme und Analytik am stückigen Einzelprüfling validiert und statistisch abgesichert. Somit ist es möglich, am Einzelprüfling eines inhomogenen Mischsortimentes für die hier untersuchten Substanzen eine Belastung festzustellen. Die Analytik für die hier untersuchten 80 Substanzen wurde validiert und statistisch abgesichert. Die angewandten Verfahren erfüllen folgende wichtige Voraussetzungen:

- sichere und genaue Probenahme und Analytik,
- die Analysenverfahren sind nachweisstark,
- Probenahme- und Analysenverfahren sind reproduzierbar,
- die Analytik kann jederzeit um zusätzliche Verfahren erweitert werden,
- die Verfahren sind justiziabel.

Praxisbezogen ist dieses Probenahmeverfahren nur für Einzelprüflinge oder kleinere Sortimente anwendbar. Die Analytik kann uneingeschränkt auch zur Untersuchung von geschreddertem Material etc. angewandt werden. Eine gute praxisnahe Anwendung wäre der sogenannte „organisierte Rückbau“, also zur Untersuchung von Althölzern z.B. in zum Abriß anstehenden Häusern. Nach einer solchen Untersuchung könnten belastete Alt- und Resthölzer direkt nach Abriß des Hauses der entsprechenden Verwertung bzw. Entsorgung zugeführt werden.

Neben der hier durchgeführten herkömmlichen „naßchemischen“ Analytik gibt es aufwendige Forschungsbestrebungen, Analysenverfahren zu etablieren, die technologisch zur sekundenschnellen Analyse direkt an der Sortieranlage führen sollen. Mehrere dieser Verfahren sind von Peylo (1997) dargestellt worden (z.B. künstliche Nase-HRK-System; Nah-IR-Spektroskopie; IR-Spektroskopie; Kopplung von GC mit Ionenmobilitätsspek-

trooskopie; Laserplasma-/Laserfluoreszenzspektroskopie; Laserfluoreszenz und Röntgenfluoreszenz).

Solche Technologien sind bisher nicht in der Lage, die geforderten Lösungen zu erbringen und sind somit auf absehbare Zeit noch nicht routinemäßig anwendbar. Ein Problem stellt die große Zahl von über 70 organischen und ca. 10 anorganischen Holzschutzmittelwirkstoffen dar, die in Althölzern enthalten sein können. Außerdem spielen vielfältige Wechselwirkungen zwischen Wirkstoffen und der organischen Matrix Holz eine Rolle, die z.B. durch unterschiedliche Behandlungsverfahren und Holzart bereits die Probenahme erschweren (Peylo 1997). Häufig sind diese Verfahren nur selektiv für bestimmte Substanzen bzw. Substanzgruppen, es werden z.T. nur eine geringe Anzahl der möglichen Holzschutzmittelwirkstoffe überhaupt bestimmt. Auch stellt sich bei einigen Verfahren das Problem der Nachweisgrenzen, die häufig zu hoch sind.

6.3.2 Hackschnitzel

Die Analytik stellt bei der Untersuchung von Hackschnitzeln kein Problem dar. Durch die niedrigen Nachweisgrenzen der Verfahren ist es ohne weiteres möglich, im geschredderten Sortiment Wirkstoffbelastungen nachzuweisen. Dabei könnten die von uns vorgeschlagenen Richtwerte den Grenzbereich zwischen belastet und unbelastet darstellen. Selbst Fehlwürfe von 3 % , die in unbelastetes Holz untergemischt werden, könnten so im Homogenat ermittelt werden.

Das Problem bei der Untersuchung von Hackschnitzeln ist die Probenahme. Im Bereich kleinerer Mengen (s.o.) gelingt die Homogenisierung relativ gut, bei so großen Mengen, wie sie in der Praxis anfallen, ist dies mit einfachen Mitteln nicht mehr möglich. Es besteht die Notwendigkeit, ein Verfahren zur Probenahme aus großen Mengen Schreddergutes zu entwickeln. Dieses Verfahren muß so validiert und statistisch abgesichert werden, daß die Belastung eines großen Schreddervolumens repräsentativ ermittelt wird und somit eine sachgerechte Verwertung möglich ist.

Ein Nachteil der Untersuchung von Hackschnitzeln sind mögliche Wirkstoffverluste durch das Schreddern, sowohl durch Reibungswärme an den Schredderwalzen, als auch durch Feinstaubverluste. Die Feinstaubfraktion ist in der Regel am höchsten mit Wirkstoffen belastet. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

6.4 Vergleich Schreddergutanalytik mit Analytik am Einzelprüfling

Im vorliegenden Vorhaben wurde der Holzschutzmittelgehalt eines Altholzmischsortimentes auf zwei voneinander unabhängigen Wegen ermittelt. Das erste Verfahren basiert auf der getrennten Untersuchung aller Einzelprüflinge, das zweite Verfahren basiert auf der Untersuchung von geschredderten Teilsortimenten.

Für die Ermittlung der Gesamtwirkstoffgehalte sowie des Vergleiches der mit beiden Verfahren ermittelten Ergebnisse, wurden folgende vereinfachende Annahmen gemacht:

1. Die Eindringtiefe aller angewandten Holzschutzmittel liegt bei 5 mm. Der durch die Behandlung eingebrachte Wirkstoff-/Elementgehalt befindet sich somit vollständig in den oberen 5 mm der Holzoberfläche.
2. Die gesamte Holzoberfläche jedes einzelnen Prüflings weist einen durchschnittlichen Gehalt in Höhe des aus 10 Einzelbohrungen je Prüfling ermittelten Gehaltes auf.
3. Der innere, unbehandelte Kern unterhalb der 5 mm starken Oberflächenschicht weist eine Belastung in Höhe der von uns ermittelten durchschnittlichen Belastung naturbelassener Althölzer auf.

Zum Vergleich der Ergebnisse der beiden Verfahren wurde folgendermaßen vorgegangen: Aus den 117 Proben enthaltendem Gesamtsortiment wurden jeweils durch Untersuchung einer repräsentativen Mischprobe von 10 Bohrungen ein Wert für den durch-

schnittlichen Holzschutzmittelgehalt der 5 mm dicken Oberflächenschicht gewonnen. Aus der abgemessenen Oberfläche jedes Einzelprüflings wurde durch Multiplikation mit dem durchschnittlichen Gehalt der oberen 5 mm dicken Schicht der so erfaßte Gehalt je Einzelprüfling errechnet. Nach Eingruppierung der Einzelprüflinge gemäß ihrem augenscheinlichen Aussehen in die Untersortimente unbehandelter Hölzer (U), Hölzer mit Farbstrich (F), Hölzer mit organischen Holzschutzmitteln (O) und anorganischen Holzschutzmitteln (A) wurden die Werte der jeweils zugeordneten Einzelprüflinge aufsummiert (Summe Einzelprüflinge). Die Holzsortimente wurden zerkleinert und gemahlen und daraus jeweils 3 Proben zur Untersuchung entnommen (Schredderuntersortimente). Die Ergebnisse sind in Tabelle 54 aufgeführt. Es soll verglichen werden „Summe Einzelprüflinge“ mit „Schredderuntersortimente“. In der ersten Spalte ist jeweils der Wert für den Gehalt des Untersortimentes in absoluter Substanzmenge im Untersortiment in „mg“ angegeben, in Klammern sind die jeweiligen Gehalte in „mg je Kilogramm Holz“ angegeben.

Somit ergibt sich z.B. für den Wirkstoff PCP von dem 45 kg schweren, aus 15 Einzelprüflingen bestehenden anorganisch behandeltem Teilsortiment, in den 18,4 kg der Oberflächenschicht, eine aus den Wirkstoffmengen der Einzelprüflinge aufsummierte Menge von 2,58 mg PCP. Daraus kann der durchschnittliche Gehalt von 0,14 mg/kg errechnet werden. Für die restlichen 24,6 kg schweren Kernstücke wird, nach der oben genannten Annahme, eine durchschnittliche Belastung von 0,21 mg/kg angesetzt. Daraus ergibt sich für den Kernbereich des Teilsortimentes eine PCP-Belastung von 5,17 mg. Durch Aufsummierung beider Teilmengen ergibt sich aus dem Verfahren der Aufsummierung der Ergebnisse der Einzelprüflinguntersuchung für das augenscheinlich anorganisch behandelte Teilsortiment eine Absolutmenge von 7,75 mg PCP und ein durchschnittlicher PCP-Gehalt 0,18 mg/kg. Durch Schreddern dieses Sortimentes wurde als durchschnittlicher Wert dreier Untersuchungen ein PCP-Gehalt von 0,23 mg/kg ermittelt. Daraus ergibt sich als Absolutmenge für das anorganisch behandelte Teilsortiment nach dem zweiten Verfahren der Wert von 9,79 mg PCP. Die aus der Summe der Einzelproben ermittelten Werte betragen somit 79 % derjenigen aus dem Schredderuntersortiment

ermittelten Werte. Durch diese gute Übereinstimmung bestätigen sich beide Verfahren gegenseitig, außerdem zeigt sich, daß die für das Verfahren gemachten Annahmen plausibel sind. Die über die Summe der Einzelprüflinge ermittelten PCP-Absolutmengen im anorganisch behandelten Teilsortiment betrug 0,22 % der mit diesem Verfahren für das Gesamtverfahren ermittelten Menge.

Im 96 kg schweren, 26 Prüflingen umfassenden Teilsortiment mit Farbanstrich wurde aus der Summe Einzelprüflinge eine Absolutmenge von 475 mg PCP ermittelt, was einem Anteil von 13,49 % der mit diesem Verfahren für das Gesamtsortiment ermittelten Menge entspricht. Die übrigen Werte, sowie die Werte für das organisch behandelte und das unbehandelte Teilsortiment sind in der Tabelle 54 angeführt. Bei dem Vergleich der Summenwerte fällt auf, daß über die Summe der Einzelwerte nur 53 % der Mengen der Schredderuntersortimente gefunden wurden.

Insgesamt ergab der Vergleich der aus der Summe der Einzelproben mit dem Schredderuntersortiment ermittelten Gesamtwerte für die verschiedenen Wirkstoffe/Elemente eine Spanne von 22 % für Zinn bzw. 32 % für PAK bis 238 % für Zink bzw. 241 % für Arsen. Auch diese relativ gleichmäßige Streuung bestätigt insgesamt die Qualität der durchgeführten Untersuchungen und die Plausibilität der gemachten Annahmen.

Für PAK liegen diese Unterschätzung bei der Summenbildung über die Einzelprüflinge vermutlich an der deutlich größeren Eindringtiefe PAK-haltiger Holzschutzmittel, als mit 5 mm für die Bilanzierung angenommen. Bei Zink wurden bei der Summenbildung über die Einzelprüflinge 238 % des bei der Schredderuntersuchung ermittelten Gehaltes gefunden. Hier liegt vermutlich ein Zinkverlust durch Staubverdriftung während des Schredderns vor, da bei Zerkleinerung dieses Sortimentes eine starke Staubeentwicklung zu beobachten war. Allgemein werden höhere Eindringtiefen als angenommen sowie mögliche Zusatzeinträge durch Kontaminationen beim Schreddern und starke Auswaschung der Wirkstoffe aus der oberen Schicht einen geringeren Wert bei der Summierung über die Einzelprüflinge ergeben. Verluste beim Schreddern sowie geringere Eindring-

tiefen als angenommen ergeben dagegen einen hohen Wert für die Summierung der Einzelprüflinge gegenüber der Schredderuntersuchung. Insgesamt zeigt die Schwankung der Werte des Vergleiches von 22 % bis 241 % im Rahmen der Fehlergrenze eine vergleichsweise gute Übereinstimmung der beiden Verfahren. Somit läßt sich durch Festlegung sinnvoll vereinfachter Randbedingungen bei der Probenahme ein standardisierbares Probenahme- und Analysenverfahren schaffen, mit dessen Hilfe eine sichere und reproduzierbare Erkennung einer Holzschutzmittelbelastung sowohl am Einzelprüfling als auch am Schreddersortiment möglich ist.

Tabelle 29: Vergleich der Wirkstoffgehalte aus der Summe der Oberflächenproben-Einzelwerte mit dem geschredderten Untersortiment

Sortiment	Ort	M (kg)	PCP		B		Cu	
			E	S	E	S	E	S
A (43 kg) 43 % Oberfl. A.d.P. 15	Oberfläche (beprobt)	18,4	2,58 (0,14)		329 (17,90)		649 (35,27)	
	Kern (Grundbel.)	24,6	5,17 (0,21)		67,90 (2,76)		35,42 (1,44)	
	Summe		7,75 (0,18)	9,79 (0,23)	397 (9,23)	648 (15,00)	684 (15,91)	1339 (31,00)
	Anteil Gesamtbel.		0,22	0,15	14,75	32,37	31,96	34,31
F (96 kg) 45 % Oberfl. A.d.P. 26	Oberfläche (beprobt)	43,6	464 (10,54)		210 (4,77)		222 (5,04)	
	Kern (Grundbel.)	52,4	11,01 (0,21)		145 (2,76)		75,51 (1,44)	
	Summe		475 (4,95)	1149 (11,97)	355 (3,70)	182 (1,90)	298 (3,10)	381 (3,97)
	Anteil Gesamtbel.		13,49	17,29	13,19	9,09	13,93	9,19
O (494 kg) 22 % Oberfl. A.d.P. 51	Oberfläche (beprobt)	110	2966 (26,96)		707 (6,43)		508 (4,62)	
	Kern (Grundbel.)	384	80,64 (0,21)		1060 (2,76)		553 (1,44)	
	Summe		3047 (6,17)	5471 (11,07)	1767 (3,58)	1071 (2,17)	1061 (2,15)	2357 (4,77)
	Anteil Gesamtbel.		85,93	82,34	65,66	53,50	49,58	56,88
U (67 kg) 42 % Oberfl. A.d.P. 25	Oberfläche (beprobt)	28,2	8,50 (0,30)		64,39 (2,28)		41,37 (1,47)	
	Kern (Grundbel.)	38,8	8,15 (0,21)		107 (2,76)		55,87 (1,44)	
	Summe		16,65 (0,25)	14,71 (0,22)	171 (2,55)	101 (1,50)	97,24 (1,45)	67,20 (1,00)
	Anteil Gesamtbel.		0,47	0,22	6,35	5,04	4,54	1,62
Summe (700 kg) 28 % Oberfl.	Oberfläche (beprobt)	200	3441 (17,20)		1311 (6,56)		1420 (7,1)	
	Kern (Grundbel.)	500	105 (0,21)		1380 (2,76)		720 (1,44)	
	Summe		3546 (5,07)	6644 (9,49)	2691 (3,84)	2002 (2,86)	2140 (3,06)	4144 (5,92)
				53 %		134 %		52 %

E: Summe Einzelproben; Werte ohne Klammern: Absolutmenge in mg; M: Massenanteile (kg); S: Schredder-Untersortiment; Werte in Klammern: Gehalt in mg/kg; A.d.P.: Anzahl der Prüflinge im jeweiligen Sortiment; A: anorganisch belastetes Schreddersortiment; F: Schreddersortiment mit Farbanstrich; O: organisch belastetes Schreddersortiment; U: unbelastetes Schreddersortiment

7 Zusammenfassung

Zur Zeit stehen jährlich ca. 8 - 10 Mio. t Holzabfälle zur Entsorgung an. Der größere Teil davon ist vermutlich mit Holzschutzmitteln belastet, die eingebrachten Schutzmittelmengen können je nach Einbringungsart und -intensität unterschiedlich hoch sein bzw. durch Auswaschungs- und Ausgasungsprozesse unterschiedlich stark verringert worden sein. Die Gehalte an Holzschutzmittelwirkstoffen in Holzabfällen können somit stark schwanken.

Holzschutzmittelwirkstoffe können bei der Entsorgung Probleme bereiten, beispielhaft seien hier PCP-, arsen- und chromathaltige Schutzmittel genannt. Das Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz und die Anforderungen der TA-Siedlungsabfall fordern Getrennthaltung und Verwertung von Holzabfällen. Das Vermischungsverbot besagt, daß es - um eine sachgerechte Verwertung bzw. Entsorgung von Holzabfällen zu gewährleisten -, verboten ist, durch Vermischung mit geringer oder unbelasteten Proben die Entsorgung zu beeinflussen.

Zur Ermittlung der Belastung von Holzabfällen mit Holzschutzmittelwirkstoffen liegen z.Z. noch keine normierten Verfahren zur Probenahme und Analytik in Alt- und Resthölzern inhomogener Sortimente vor. Ziel des Vorhabens war es, ein Verfahren zur Holzschutzmittelbestimmung und ein entsprechendes Probenahmeprocedere zu entwickeln.

Die Untersuchungen wurden an einem ca. 5 m³ großen real anfallenden Holzabfallhaufen aus einer Bremer Baustoffrecyclinganlage vorgenommen. Bauabrißholz stellt ein besonders inhomogenes Mischsortiment dar.

Mit einem von uns entwickelten Probenahmegerät wurde durch statistische Berechnung ermittelt, daß mit 10 Einzelproben am stückigen Einzelprüfling die durchschnittliche Belastung eines mit Schutzmitteln belasteten Holzes sicher erfaßt wird. Die Probenahmetiefe wurde auf 5 mm festgelegt. Auf diese Weise wird sowohl die Verteilung von Holz-

schutzmitteln über den gesamten Holzquerschnitt, als auch eine mögliche Auswaschung an der Oberfläche ausreichend berücksichtigt.

Im Rahmen dieses Vorhabens wurden 80 Wirkstoffkomponenten analysiert, dabei wurde besonderer Wert auf niedrige Bestimmungsgrenzen gelegt. Die Analytik wurde validiert und statistisch abgesichert. In dem hier vorliegenden Sortiment wurden bei der Untersuchung der Einzelprüflinge die anorganischen Wirkstoffe/Elemente Arsen, Bor, Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Fluor, Quecksilber, Zink, Zinn und die organischen Wirkstoffe PCP, Lindan und andere HCH-Isomere, PAK, PCN, Parathion-ethyl, DDT, Methoxychlor, Heptachlorepoxyd und Dieldrin nachgewiesen. Pyrethroide konnten nur in Spuren, Chlorthalonil, Carbamate, Troysan Polyphase, Furmecycloxyd und Triazolverbindungen konnten nicht nachgewiesen werden. Vermutlich ist der Nutzungszeitraum für die nicht nachgewiesenen Wirkstoffe noch nicht beendet, da sie z.T. erst wenige Jahre auf dem Markt sind.

Im Rahmen des Projektes wurden Vorschlagswerte für die Belastung von naturbelassenem Holz mit Wirkstoffen/Elementen vorgestellt. Dabei wurden die 90 Perzentilwerte von unbelasteten Hölzern des Sortimentes (n = 25) mittels des „Bootstrap-Verfahrens“ statistisch ermittelt. Die Wirkstoff- und Elementgehalte in naturbelassenen Hölzern unterliegen einer natürlichen Schwankungsbreite.

Da derzeit keine statistisch abgesicherten Einordnungskriterien für Holzschutzmittelbelastungen existieren, wurden diese durch Kombination der ermittelten Untersuchungsergebnisse mit Literaturwerten ermittelt. Dabei wurde auf ein Verfahren zurückgegriffen, das bereits vom Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des BGA (jetzt UBA) für andere Matrices angewandt wurde. Differenziert wird zwischen dem Konzentrationsniveau I mit Schutzmittelgehalten in Höhe der ubiquitären Verteilung entsprechend naturbelassener bzw. unbehandelter Hölzer, dem Niveau II mit Gehalten, die oberhalb üblicher Gehalte naturbelassener Hölzer liegen und dem Niveau III mit entsprechend behandelten Hölzern unter Berücksichtigung von Auswaschungs- und Ausgasungsprozessen.

Die Wirkstoffgehalte des untersuchten inhomogenen Alholzmischsortimentes wurden mit zwei voneinander unabhängigen Verfahren - einerseits über die Untersuchung von Einzelprüflingen, andererseits über die Untersuchung geschredderter Teilsortimente - bestimmt. Ein Vergleich der Ergebnisse beider Verfahren zeigt eine vergleichsweise gute Übereinstimmung. Die im Rahmen des Forschungsvorhabens erzielten Ergebnisse zeigen auf, daß durch Festlegung sinnvoll vereinfachter Randbedingungen bei der Probenahme ein standardisiertes Probenahme- und Analysenverfahren entwickelt wurde, mit dessen Hilfe eine sichere und reproduzierbare Erkennung einer Holzschutzmittelbelastung sowohl am Einzelprüfling als auch im Schreddersortiment möglich ist.

8 Literatur

- Aehlig, K.; Swaboda, C.; Scheithauer, M., 1996: Möglichkeiten der Schnellerkennung und halbquantitativen Bestimmung von Holzschutzmittelwirkstoffen in Alt- und Restholz. Vortragsmanuskript Informationsveranstaltung „Schnellerkennung von Holzschutzmitteln als Grundlage zur Verwertung von Rest- und Altholz.“ 7.02.1996 in Dresden (ihd): 56-88
- Alef, K., 1994: Biologische Bodensanierung. Methodenbuch. VCH-Verlag, Weinheim
- Anonym, 1996: Gebrauchtholzverwertung in der Holzwerkstoffindustrie. Qualitätsbestimmung für die Annahme zur stofflichen Verwertung. Holz-Zentralblatt 75: 1213, 1218
- Anonym, 1997: Spanplatten mit RAL-Gütezeichen halten auch PCP-Grenzwert ein. Holz-Zentralbl. Nr. 116: 1673
- Antoine, R.; Giot-Wirgot, P.; 1997: Untersuchungen über die Eindringung von Holzschutzmitteln durch die energiedispersive Röntgenmikroanalyse (EDXA) der Zellwände. Holz als Roh- und Werkstoff 35: 59-61
- Arbeitsgemeinschaft Altholzkonzept Kanton Zürich (Hrsg.), 1990: Altholzkonzept Kanton Zürich
- Amt für Gewässerschutz und Wasserbau, Amt für Technische Anlagen und Lufthygiene (Hrsg.)
- ASMW, 1988: Verzeichnis der vom Amt für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung (ASMW) zugelassenen Holzschutzmittel, holzschützenden Anstrichstoffe und holzpflegende Anstrichstoffe-Holzschutzmittelverzeichnis 1989. Holztechnologie, Leipzig 29, 5: 251-254
- Baes, C., F.; McLaughlin, S., B., 1984: Trace metal uptake and accumulation in trees as affected by environmental pollution: 1-20

- Baes, C., F.; McLaughlin, S. B., 1983: Multielemental analysis of tree rings: Temporal accumulation patterns and relationships with air pollution. Symposium on air pollution and the productivity of the forest, Oct. 4-5: 273-286
- Ballschmiter, K., M., 1980: Analysis polychlorinated biphenyls (PCBs) by glass capillary gas chromatography. *Fres. Zeit. Anal. Chem.* 302: 20
- Bamberg, K.; Knavina, M., 1954: Content of mineral substances and microelements in healthy and inner-rotten trees. *Latvijas PSR Zinatnu Akad. Vestis* 1950, (8): 21-30
- Barnes, D.; Hamadah, M., A.; Ottaway, J., M., 1976: The lead, copper and zinc content of tree rings and bark. *The Science of the total Environment*: 63-67
- Bavendamm, W.; Ehlers, W., 1954: Praxisnahe Untersuchungen über die Imprägnierung von Bauholz durch Streichen und Spritzen. *Holz als Roh- und Werkstoff* 5: 183-185
- Bavendamm, W., 1962: Kleine Geschichte des Holzschutzes. *Holz-Zentralblatt* 60: 982-983
- Berish, C., W.; Ragsdale, H., L., 1985: Chronological sequence of element concentration in wood of *Carya spp.* in the southern Appalachian Mountains. *Can. J. For. Res.*, Vol. 15: 477-482
- Becker, G., 1959: Die Verteilung des Fluors von Schutzsalzen in Nadelholz nach Streichen, Sprühen und Tauchen. *Mitteilungen der deutschen Gesellschaft für Holzforschung* 46: 53-58
- Becker, G., 1961: Abhängigkeit der Eindringtiefe öligler Holzschutzmittel in Kiefern-splintholz von der aufgetragenen Flüssigkeitsmenge. *Holz als Roh- und Werkstoff* 19: 202-207

- Becker, H., 1967: Über den Nachweis und die Bestimmung von Holzschutzmitteln im Holz. Seifen-Öle-Fette-Wachse, 93. Jg., Nr. 29: 1009-1015
- Becker, G., 1978: Situation und Tendenzen der Holzschutzmittel-Anwendung. Holz als Roh- und Werkstoff: 255-260
- Becker, G., 1991: Abhängigkeit der Eindringtiefe öliger Holzschutzmittel in Kiefern-splintholz von der aufgetragenen Flüssigkeitsmenge. Holz als Roh- und Werkstoff 19: 202-207
- Becker, G.; Starfinger, K., 1971: Über die Reichweite der fungiziden und insektiziden Wirksamkeit Pigment-haltiger öliger Schutzmittel im Holz. Holz als Roh- und Werkstoff 9: 344-348
- Berghoff, W., 1957: Beiträge zur Verfahrenstechnik einer quantitativen Bestimmung von Fluor im Holz. Holzforschung 11: 80-85
- Blessing, R.; Derra, R., 1992: Holzschutzmittelbelastungen durch Pentachlorphenol und Lindan in Wohn- und Aufenthaltsräumen. Staub-Reinhaltung der Luft 52: 265-271
- Bockelmann, C., 1990: Erkennungs- und Aufbereitungsstrategien bei Altholz. In: Marktorientiert, schlank und umweltgerecht, Recycling und ökologische Aspekte. 9. Holztechnisches Kolloquium, Vulkan Verlag
- Bockelmann, C., 1996: Zusammensetzung, Sortierung und Verwertung von Altholz in der Bundesrepublik Deutschland. Diss. Universität Braunschweig 1996
- Born, M.; Hofmann, F., 1986: Der Nachweis von Schwermetallen in Jahrringen von Bäumen als biologisches Monitoring-Verfahren zur Erstellung einer Chronologie der Umweltbelastung. Diplomarbeit, Universität Bremen

- Bringezu, S., 1989: Zur Prüfung und Bewertung der Umweltverträglichkeit von Holzschutzmitteln. Holzschutz und Umweltschutz haben gemeinsame Ziele. Holz als Roh- und Werkstoff 47: 521-525
- Bringezu, S., 1990a: Arsen im Holzschutz. Holz als Roh- und Werkstoff 48: 237-243
- Bringezu, S., 1990b: Arsen im Holzschutz. Rechtliche Situation, arsenhaltiger Holzschutzmitteln, Produktion und Verbrauch, Import und Export. Holz als Roh- und Werkstoff 48: 169-172
- Bringezu, S., 1992a: Konzept für die Prüfung und Bewertung der Umweltverträglichkeit von Holzschutzmitteln. UBA-Texte 13/92
- Bringezu, S., 1992b: Die wichtigsten Umwelt- und Gesundheitsprobleme durch chemischen Holzschutz und die Aktivitäten des Umweltbundesamtes: Ein Überblick. In: Bringezu, S. und Schenke, H., D. (Hrsg.): Probleme und Perspektiven eines umweltverträglichen Holzschutzes. Reihe Schadstoffe und Umwelt 8: 5-32, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- Bringezu, S.; Voß, A., 1993: Hinweise zur Entsorgung von holzschutzmittelbehandeltem Altholz. Müll und Abfall 10: 727-738
- Brückner, G.; Willeitner, H., 1992: Einsatz von Holzschutzmitteln und damit behandelten Produkten in der Bundesrepublik Deutschland. Forschungsbericht 106 04 033, UBA - FB 92-046, Umweltbundesamt Berlin
- Bünemann, A.; Rachut, G; Sitterz, S., 1994: Recyclingmöglichkeiten in Niedersachsen für Holz und Textilien. Teil 1: Holz. Im Auftrag der Fachkoordinierungsstelle Umwelttechnik des Landes Niedersachsen. Cyclos GmbH, Osnabrück
- Bodner, J.; Pekny, G., 1991: Distribution of wood preservatives within the cell wall. Holzforschung und Holzverwertung 2: 46-48

- Burger, T.; Raff, P.; Reuther, W., 1983: Zum Eindring- und Fixierverhalten organischer Wirkstoffe. Holz als Roh- und Werkstoff 41: 277-280
- Buro, A., 1957: Beitrag zum Nachweis von öligen Schutzmitteln im Holz. Holz als Roh- und Werkstoff 15: 437-443
- Chemikalien Verbotsverordnung, 1996: Verordnung über Verbote und Beschränkungen des Inverkehrbringens gefährlicher Stoffe, Zubereitungen und Erzeugnisse nach dem Chemikaliengesetz (Chemikalienverbotsverordnung). In: Weinmann, W.; Thomas, H.-P.; Klein, H. A., Gefahrstoffverordnung mit Chemikaliengesetz, Teil 1. Carl Heymanns Verlag, Köln, Berlin, Bonn, München, 1986
- Clausnitzer, K.-D.; 1990: Historischer Holzschutz im Hochbau. Ökobuch Verlag Freiburg
- Dans, J.; Lax, E., 1943: Taschenbuch für Chemiker und Physiker. Springer-Verlag, Berlin
- Deppe, H.-J.; Kottlors, Ch., 1973: Verteilung von Holzschutzmitteln in Holzspan- und Baufunierplatten. Holz als Roh- und Werkstoff 31: 11-115
- Deppe, H.-J., 1992: Zur Umsetzung des Abfallgesetzes in der holzindustriellen Fertigung. Informationsdienst Holzbau Technik
- Deppe, H.-J., 1994: Zur Verwertung kontaminierter Althölzer. Holz-Zentralbl. Nr. 100/101: 1539-1545
- DESOWAG, 1992: Antwort auf eine Verbraucheranfrage zum Gehalt an PCP in Carbo-lineum der Firma Desowag Materialschutz GmbH Düsseldorf
- DFG-Methodensammlung, 1991: Rückstandsanalytik von Pflanzenschutzmitteln. Mitteilung VI der Senatskommission für Pflanzenschutz-, Pflanzenbehandlungs- und Vorratsschutzmittel. Methodensammlung der Arbeitsgruppe „Analytik“, VCH-Verlag, Weinheim. 1.-11. Lieferung

- DFG-Methode XI, 1991: Statistische Beurteilung von Analysenverfahren und Analyseergebnissen. Rückstandsanalytik von Pflanzenschutzmitteln. Mitteilung VI der Senatskommission für Pflanzenschutz-, Pflanzenbehandlungs- und Vorratsschutzmittel. Methodensammlung der Arbeitsgruppe „Analytik“, VCH-Verlag, Weinheim. 1.-11. Lieferung: 1-14
- DGfH, 1996: Merkblatt „Energetische Verwertung von Holz“. DGfH e.V., München, 9/1996
- DIN 52 161, Teil 1, 1967: Prüfung von Holzschutzmitteln. Nachweis von Holzschutzmitteln im Holz. Beuth Verlag, Berlin
- DIN 32 645, 1994: Nachweis-, Erfassungs- und Bestimmungsgrenze. Ermittlung unter Wiederholbedingungen. Begriffe, Verfahren und Auswertung. Beuth Verlag, Berlin
- DIN 38 402, Teil 51, 1986: Kalibrierung von Analysenverfahren, Auswertung von Analyseergebnissen und lineare Kalibrierfunktionen für die Bestimmung von Verfahrenskenngrößen (A 51). Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser und Schlammuntersuchung. Beuth Verlag, Berlin
- DIN 38 405, Teil 4, 1985: Bestimmung von Fluorid (D4). Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung. Anionen (Gruppe D). Beuth Verlag, Berlin
- DIN 38 405, Teil 17, 1981: Bestimmung von Borat-Ionen (D 17). Anionen (Gruppe D). Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung. Beuth Verlag, Berlin
- DIN 38 405, Teil 19, 1988: Bestimmung der Anionen Fluorid, Chlorid, Nitrit, Phosphat (ortho-), Bromid, Nitrat und Sulfat in wenig belasteten Wässern mit der Ionenchromatographie. Anionen (Gruppe D). Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung. Beuth Verlag, Berlin

- DIN 38 406, Teil 22, 1988: Bestimmung der 33 Elemente Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Si, Sn, Sr, Ti, V, W, Zn und Zr über Atomemissionsspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES). Beuth Verlag, Berlin
- DIN 38 414, S 4, 1984: Bestimmung der Eluierbarkeit mit Wasser (S 4). Schlamm und Sedimente (Gruppe S). Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung. Beuth Verlag, Berlin
- DIN 38 414, Teil 7, 1983: Aufschluß mit Königswasser zur nachfolgenden Bestimmung des säurelöslichen Anteils von Metallen (S 7). Schlamm und Sedimente (Gruppe S). Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung. Beuth Verlag, Berlin
- DIN 52 161, Teil 3, 1979: Bestimmung der Eindringtiefe von fluoridhaltigen Holzschutzmitteln. Nachweis von Holzschutzmitteln im Holz. Prüfung von Holzschutzmitteln. Beuth Verlag, Berlin
- DIN 52 161, Teil 4, 1979: Bestimmung der Menge von fluorhaltigen Holzschutzmitteln. Nachweis von Holzschutzmitteln im Holz. Prüfung von Holzschutzmitteln. Beuth Verlag, Berlin
- DIN 52 161, Blatt 5, 1970: Qualitativer Nachweis von insektiziden und fungiziden Wirkstoffen öliger Holzschutzmittel. Nachweis von Holzschutzmitteln im Holz. Prüfung von Holzschutzmitteln. Beuth Verlag, Berlin
- DIN 52 161, Teil 6, 1979: Analyse von Steinkohlenteer-Imprägnierölen. Nachweis von Holzschutzmitteln im Holz. Prüfung von Holzschutzmitteln. Beuth Verlag, Berlin
- DIN EN 351-2, 1995: Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten. Mit Holzschutzmitteln behandeltes Vollholz. Teil 2: Leitfaden zur Probenahme für die Untersuchung des mit Holzschutzmitteln behandelten Holzes. Beuth Verlag, Berlin

DIN 68 800, Teil 3., April 1990: Holzschutz. Vorbeugender chemischer Holzschutz.
Deutsche Norm. Beuth Verlag, Berlin

Düszeln, J von; Flügger, J.; Heinrich, W., 1987: Lindan und Pentachlorphenol in Hausstaub. Analyse und Bewertung von Ergebnissen. Forum-Städte-Hygiene 38: 93-95

Efron, B.; Tibshirani, R., J., 1993: An introduction to the bootstrap. Chapman and Hall, London

Funk, W.; Dammann, V.; Donnevert, G., 1992: Qualitätssicherung in der analytischen Chemie. VCH-Verlag, Weinheim.

Gefahrstoffverordnung (GefStoffV), 1993: Verordnung zum Schutz vor gefährlichen Stoffen In: Weinmann, W.; Thomas, H.-P.; Klein, H., A., Gefahrstoffverordnung mit Chemikaliengesetz, Teil 1. Carl Heymanns Verlag, Köln, Berlin, Bonn, München

Gersonde, M.; Becker, G., 1965: Verteilung eines Chrom-Fluor-Arsen-Schutzsalzgemisches in Fichten- und Kiefernmasten nach Kesseldruckimprägnierung. Holz als Roh- und Werkstoff 23: 369-381

Gersonde, M.; Becker, G., 1965: Aufnahme, Eindringtiefe und quantitative Verteilung eines Chrom-, Fluor-, Arsen-Schutzsalzgemisches in Fichten- und Kiefernmasten nach Kesseldrucktränkung. Holz als Roh- und Werkstoff 23: 369-381

Gersonde, M.; Kottlors, C., 1970: Tränkvorgang bei Saftverdrängungs-Verfahren für Fichtenmaste. Mitteilungen der deutschen Gesellschaft für Holzforschung, 57: 77-86

Gersonde, M.; Kottlors, Ch., 1977: Verteilung von Steinkohlenteeröl in Kiefernmasten nach Kesseldrucktränkung. Holz als Roh- und Werkstoff 35: 113-116

- Giese, H., 1992: Rechtliche Regelungen für die Entsorgung schutzbehandelter Hölzer und Konsequenzen für die Bewertung neuer Schutzmittelformulierungen. Vortrag 19. Holzschutzmitteltagung der DGfH am 7./8. Okt. 1992 in Rosenheim: 267
- Glattes, F., 1983: Rückstände von Lindan und Hexachlorbenzol in Sägemehl, Hackgut und Rindenstücken. Cbl. ges. Forstwesen 100, 4: 221-226
- Göttsche, R.; Marx, H. N., 1989: Kupfer-HDO - ein vielseitiger Wirkstoff im Holzschutz. Holz als Roh- und Werkstoff 47: 509-513
- Graf, E., 1990: Probleme beim Verbrennen von Holz. Vortrag, gehalten beim Seminar der Interessengemeinschaft Holzschutz (IGH), 15.5.1990, Bern
- Graf, E., 1991: Zur Problematik der Verbrennung von mit Schutzmitteln behandeltem Holz. Holz als Roh- und Werkstoff 49: 291-297
- Gutwasser, F.; 1994: Zur Analytik anorganischer Substanzen in Rest- und Altholz. Holz-Zentralblatt 84: 1365-1366
- Hamp, R.; Höll, W., 1974: Radial and axial gradients of lead concentration in bark and xylem of hardwoods. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, Vol. 2: 143-151
- Herbell, J. D.; Neumann, P.; Brill, S.; Senger, W., 1997: Konzept einer Anlage zur energetischen Verwertung von Alt- und Resthölzern im Rahmen geschlossener Produktkreisläufe. Vortrag UTECH-Seminar „Einstufen, Aufbereiten und Verwerten von Holz und Holzabfällen.“ am 18./19.02.1997 in Berlin
- Hincemann, Ph., S.; Giuffre, G.; Litman, R., 1978: Trace element analysis of pine trees by the tree-ring method. Radiochem. Radioanal., Letters 33(5-6): 361-372
- Hock, B.; Elstner, E., 1988: Schadwirkungen auf Pflanzen: Lehrbuch der Pflanzentoxikologie. 2. Auflage, BI-Wiss.-Verlag., Mannheim, Wien, Zürich

- Hofmann, F., 1995: Prüfung der Elementzusammensetzung von Eichenspäne mittels der Energiedispersive Röntgenfluoreszenzanalyse. Ökologiebüro Hofmann, Bremen
- Hofmann, F., 1996: Jahresringuntersuchungen 1996 (unveröffentlicht). Ökologiebüro Hofmann, Bremen
- Hoffmann, V., 1996: Zuordnungskriterien für Rest- und Altholz zur energetischen Verwertung oder thermischen Behandlung. VDI-Seminar Alt- und Restholz, Logistik, energetische und stoffliche Verwertung-Beseitigung-Verfahrenstechnik. 20./21. Mai 1996, Düsseldorf
- Hüttl, K.R., 1996: Aktuelle Fragen der Verwertung von Altholz aus der Sicht des Bundesverbandes der Altholzaufbereiter und -Verwerter. Seminarband „Aufbereitung und Verwertung von Altholz“ des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz am 3.12.1996 in Wackersdorf: 3-18
- Jahnke, F.; Kirk, H., 1992: Sanierungsprobleme im Bauwesen in den neuen Bundesländern. Vortrag 19. Holzschutztagung der DGfH am 7./8. Oktober 1992 in Rosenheim
- Keller, Th.; Preis, H., 1967: Der Bleigehalt von Fichtennadeln als Indikator einer verkehrsbedingten Luftverunreinigung. Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 3: 143-162
- Kern, F., 1996: Anwendungsmöglichkeiten der Vor-Ort-Analytik. Ergebnisse des ersten Teils des Vor-Ort-Analytik-Programms der LfU BW. Tagung „Schnellanalytische Methoden zur Beurteilung von Abfällen“, Veranstalter Institut für Umwelttechnologie und Umweltanalytik (IUTA), 13./ 14. Juni 1996, Duisburg
- Kirk, H., 1990: Verzeichnis der vom Amt für Standardisierung, Meßwesen und Warenprüfung (ASMW) zugelassenen und approbierten Holzschutzmittel, holzschützenden Anstrichstoffen und holzpflegenden Anstrichstoffe Holzschutzmittelverzeichnis 1991. Holztechnologie-Leipzig 30: 251-254

- Klärschlammverordnung (AbfKlärV), 1992: In Hösel, G.; Lindner, K.-H.; Kumpf, W.,
Technische Vorschriften für die Abfallbeseitigung, Erich Schmidt Verlag
- Kluge, R., 1991: Quecksilber(Hg)-Gehalt kyanisierter Hopfenstangen - Grundlagen für
ein Entsorgungskonzept. VDLUFA-Schriftenreihe 33, Kongreßband.
- Kottlors, C.; Petrowitz, H.-J., 1993: Probenahme aus Holz und Holzwerkstoffen zur
Klärung von Fragen des Holzschutzes durch chemische Untersuchungen. Holz
als Roh- und Werkstoff 51: 126-134
- Kottlors, C.; Wegner, R., 1997: Probenahme und Analysenverfahren für Holzabfälle.
Vortrag UTECH-Seminar „Einstufen, Aufbereiten und Verwerten von Holz und
Holzabfällen.“ am 18./19.02.1997 in Berlin
- Kovalevski, A. L.; Tomskii, I. V., 1980: Determination of zinc in tree bark using field
x-ray analysers. Dokl. Akad Nauk USSR 251, (1): 173-176
- Krah, M., 1996: Umweltdelikte - schnelle Einschätzung durch Analytik vor Ort. Tagung „
Schnellanalytische Methoden zur Beurteilung von Abfällen“, Veranstalter Insti-
tut für Umwelttechnologie und Umweltanalytik (IUTA), 13./ 14. Juni 1996,
Duisburg
- Krause, C.; Chutsch, M.; Henke, M.; Kliem, C.; Leiske, M.; Schutzl C.; Schwarze, E.,
1991: Umweltsurvey Band IIIa, Wohn-Innenraum: Spurenelementgehalte im
Wohnstaub. WaBoLu Hefte, Bd. 2, Institut für Wasser-, Boden und Lufthygie-
ne des BGA, Berlin
- Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG), 1994: Ausgabe vom 27. September
1994 (BGBl. I S. 2705), geänderte Fassung vom 12. September 1996 (BGBl. I
S. 1354). Aus: Deutsche Umweltschutzgesetze, Verlag R.S. Schulz Starnberg

- Kretschmer, U., 1996: Anforderungen an die Errichtung und den Betrieb von Altholz-Aufbereitungsanlagen aus der Sicht des Immissionsschutzes. Seminarband „Aufbereitung und Verwertung von Altholz“ des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz am 3.12.1996 in Wackersdorf: 33-58
- Krooß, J., 1992: Gift im Kindergarten. Der Gemeinderat 2, 43
- Krooß, J.; Stolz, P.; Thurmann, U.; Wosniok, W.; Peek, R., D.; Giese, H., 1998: Statistisch ermittelte Hintergrundkonzentrationen für Schwermetall- und Holzschutzmittelwirkstoffgehalte naturbelassener Althölzer. Holz-Zentralblatt Nr. 46/ 1998, 689-95
- Lamersdorf, N., 1988: Verteilung und Akkumulation von Spurenstoffen in Waldökosystemen. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme/ Waldsterben, Reihe A, Bd. 36, 1988
- Lämmke, A., 1966: Die Phosphatbestimmung in Holzschutzmitteln und behandeltem Holz und ihre Bedeutung zur Bestimmung der Aufbringmenge von Flammenschutzmitteln. Mitteilungen der deutschen Gesellschaft für Holzforschung 53: 16-22
- Lämmke, A., 1974: Die Borbestimmung in Holzschutzmitteln und in behandeltem Holz. Holz als Roh- und Werkstoff 32: 450-454
- Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen (Hrsg.), 1997: Schadstoffströme bei der Gebrauchtholzverwertung für ausgewählte Abfallarten. Materialien Nr. 37
- Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA), 1983: Richtlinie SM 2/79: Richtlinien für das Vorgehen bei physikalischen und chemischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Beseitigung von Abfällen. Bestimmung von Schwermetallen in festen und schlammigen Abfällen

- Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA), 1983: Richtlinie PN 2/78 K: Richtlinie für das Vorgehen bei physikalischen und chemischen Untersuchungen im Zusammenhang mit der Beseitigung von Abfällen. Grundregeln für die Entnahme von Proben aus Abfällen und abgelagerten Stoffen
- Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA), 1998: Anforderung an die Entsorgung von Holzabfällen
- Leiß, B., 1992: Holzschutzmittel im Einsatz: Bestandteile, Anwendungen, Umweltbelastungen. Bauverlag GmbH, Wiesbaden, Berlin
- Liese, W., 1956: Die Feinstruktur des Holzes und ihr Einfluß auf die Imprägnierung. Die Holzindustrie 8/56
- Link, M.; Lange, B., 1996: Biotests in der Praxis am Beispiel des Leuchtbakterientests. Tagung „Schnellanalytische Methoden zur Beurteilung von Abfällen“, Veranstalter Institut für Umwelttechnologie und Umweltanalytik (IUTA), 13./ 14. Juni 1996, Duisburg
- Lohmann, U., 1990: Holz Handbuch. 4. Auflage. DRW-Verlag
- Lohwag, K., 1967: Zeittafel zur Geschichte des Holzschutzes. Internationaler Holzmarkt 16/17: 45-54
- Mair, K.; Frieß, H., 1995: Das immissionsschutzrechtliche Genehmigungsverfahren - Anforderungen zur Luftreinhaltung bei thermischer Nutzung von Rest- und Altholz. Vortrag Seminar „Alt- und Restholz. Thermische Nutzung und Entsorgung, Anlagenplanung, Energienutzung“ des VDI am 19./20.10. in Salzburg
- Martin, M. H.; Duncan, E. M.; Coughtrey, P. J., 1982: The distribution of heavy metals in a contaminated woodland ecosystem. Environmental Pollution (Series b): 147-157

- Marutzky, R., 1990a: Die thermische Entsorgung von Holzreststoffen in Industrie und Gewerbe. Holz-Zentralblatt Nr. 147
- Marutzky, R., 1990b: Entsorgung von mit Holzschutzmitteln behandelten Hölzern. Holz als Roh- und Werkstoff 48: 19-24
- Marutzky, R., 1990c: Rauchgasemissionen und Ascherückstände bei der Verbrennung von Holzresten aus Industrie und Gewerbe. Holzenergie-Symposium „Energetische Nutzung von Holz, Holzwerkstoffen und Altholz“. Nussbaumer, Th., ENET Tagungsadministration (Hrsg.), Bern
- Marutzky, R., 1991: Kesseldruckimprägnierte Hölzer für Spielplatzgeräte: Auswaschungs- und Entsorgungsprobleme. Holz-Zentralblatt 108: 1806
- Marutzky, R., 1995: Anforderungen an Holzbrennstoffe für den Einsatz in Feuerungsanlagen. VDI-Seminar Alt- und Restholz, Thermische Nutzung und Entsorgung, Anlagenplanung, Energiekonzepte. 19.-20. Oktober, Salzburg
- Marutzky, R., 1996a: Qualitätsanforderungen an die stoffliche und thermische Verwertung von Rest- und Gebrauchthölzern. VDI-Seminar Alt- und Restholz, Logistik, energetische und stoffliche Verwertung-Beseitigung-Verfahrenstechnik. 20. u. 21. Mai 1996, Düsseldorf
- Marutzky, R., 1996b: Sinnvolle Verwertungswege für Alt- und Resthölzer aus wissenschaftlicher Sicht. Tagung „Alternativen künftiger Alt- und Restholznutzung“, 06. März, Duisburg
- Marutzky, R., 1997a: Persönliche Mitteilung
- Marutzky, R., 1997b: Aufbereiten von Holzabfällen zur stofflichen Verwertung. Vortrag UTECH-Seminar „Einstufen, Aufbereiten und Verwerten von Holz und Holzabfällen.“ am 18./19.02.1997 in Berlin

- Marutzky, R.; Peek, R., D.; Willeitner, H., 1993: Entsorgung von schutzmittelhaltigen Hölzern und Reststoffen. Informationsdienst Holz, DGfH, München
- Matusiewicz, H.; Barnes, R., M., 1980: Tree ring wood analysis after Hydrogen peroxid pressure decomposition with inductively coupled plasma atomic emission spectrometry and electrothermal vaporization. *Anal. Chem.* 1985, 5: 406-411
- Mayer, R., 1981: Natürliche und anthropogene Komponenten des Schwermetallhaushalts von Waldökosystemen. *Göttinger Bodenkundliche Berichte* 70: 1-152.
- McClenahan, J.,R.; Vimmerstedt, J., P.; Lathrop, R., C., 1986: History of the chemical environment form elemental analysis of tree rings. *Internat.symp. on. Ecological Aspects of tree-ring Analysis*, 17.-12. August 1986, Palisades, N.Y.
- Mc Mahon, C., K.; Bush, P., B.; Woolson, A., E, 1986: How much arsenic is released when CCA treated wood is burned?. *Forest Products J.* 36: 45-50
- McLaughlin, S. B. , 1985: Effects of air pollution on forest. A critical review. *Journal of the Air Pollution Control Association*, Vol. 35, No. 5, May 1985
- Meiwes, K. J.; Heinrichs, H.; König, N., 1988: Untersuchung zum Haushalt der Schwermetalle und weiterer ausgewählter Elemente in einem Buchenwaldökosystem auf Kalkgestein. *Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe B, Bd. 9*, Ulrich, B, Forschungszentrum Waldökosysteme (Hrsg.), Göttingen: 143-178
- Merian, E., 1984: *Metalle in der Umwelt. Verteilung, Analytik und biologische Relevanz.* Hrsg.: Merian, E. in Gemeinschaft mit Geldmacher- v. Mallinchröd, M.; Machata, G.; Nürnberg, H. W.; Schlipköter, H. W.; Stumm, W., Verlag Chemie, Weinheim

- Minguzzi, C.; Naldoni, K. M., 1950: Supposed traces of arsenic in wood: ist determination in the wood of some trees. *Atti societa toscana di sci. nat. (Pisa), Mem.* 57. A: 38-48
- Morgan, J., W., W.; Purslow, D., F., 1973: Volatile Losses of wood preservatives. *B.W.P.A. Annual Convention*: 173-193
- Müller, K., 1993: *Holzschutz-Praxis: Ein Handbuch in Tabellen*. Bauverlag, Wiesbaden, Berlin
- NRW-Altlastenhinweise, 1991: Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen
- Nussbaumer, T., 1990: Hinweise zur Gestaltung schadstoffarmer Holzfeuerung. *Holz-Zentralblatt* 147
- Nussbaumer, T., 1994: Anforderungen bei der thermischen Verwertung von Holzreststoffen und -abfällen. Marktorientiert, schlank und umweltgerecht, Recycling und ökologische Aspekte. Vortragsband zum 9. Holztechnischen Kolloquium (HTK) am 25.-26.05.1994 in Braunschweig. Westkämper E. (Hrsg.) 1994, Vulkan-Verlag, Essen
- Obernberger, I.; Pölt, P.; Panholzer, F., 1994: Charakterisierung von Holzasche aus Biomassefernhelzwerken. I. Zur chemischen Analytik der Aschefraktionen. *UWSF-Z. Umweltchem. Ökotox.* 6 (6): 319-332
- Orsler, R.; Stone, M., W., 1982: Remedial Spray treatments used against insect attack. Part I: Permanence and distribution. *Material und Organismen* 17/3: 161-180
- PCB-Richtlinie, 1994: Richtlinie für die Bewertung und Sanierung PCB-belasteter Baustoffe und Bauteile in Gebäuden (PCB-Richtlinie). Anlage, Fassung September 1994

- Peek, R., D., 1994: Einschätzung von Schwellenwerten für Holzhackschnitzel. In: Prüfung und Überwachung von Holzhackschnitzeln für Feuerungsanlagen. Fachgespräch 1994. LUA Brandenburg, Kleinmalchow: 110 - 118
- Peek, R., D., 1997: Persönliche Mitteilung
- Peek, R., D.; Voß, A.; Willeitner, H., 1994: Belastungen von Altholzsortimenten durch Holzschutzmittel. In: Prüfung und Überwachung von Holzhackschnitzeln für Feuerungsanlagen. Fachgespräch 1994. LUA Brandenburg, Kleinmalchow
- Perkow, W.; Ploss, H., 1996: Wirksubstanzen der Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittel. 3 Aufl., Losebl.-Ausg., Parey-Buchverlag, Berlin
- Petrowitz, H.-J.; Becker, G., 1974: Aufnahme, quantitative Verteilung und Verbleib eines Kontaktinsektizides in verschieden getrocknetem Holz. Holz als Roh- und Werkstoff 32: 329-334
- Petrowitz, H.-J., 1986: Zur Abgabe von Holzschutz-Wirkstoffen aus behandeltem Holz an die Raumluft. Holz als Roh- und Werkstoff 44: 341-346
- Peylo, A., 1993: Borbestimmung im Holz durch Extraktion mit Mannitol. Holz als Roh- und Werkstoff 51:335-338
- Peylo, A., 1995: Auswaschung von Boraten aus chemisch geschütztem Holz. Dissertation, Universität Hamburg
- Peylo, A., 1997: Schnellerkennungsverfahren für Holzkontaminationen: ein Überblick zu den Möglichkeiten und dem bisherigen Stand der Entwicklung. Vortrag UTECH-Seminar „Einstufen, Aufbereiten und Verwerten von Holz und Holzabfällen.“ am 18./19.02.1997 in Berlin
- Peylo, A.; 1998: Schnellerkennung von Holzkontaminationen. Teil 1: Holzzentralblatt 46/ 98, 690, Teil 2: 54/ 98, 823

- Pillay, K., K., S., 1976: Aktivationsanalyse und Dendrochronologie zur Abschätzung von Schadstoffhistorien. *Journal of Radioanalytical Chemistry*, Vol.32: 151-171
- Pohlandt, K.; Marutzky, R., 1996: Altfenster aus Holz - Aufkommen, Zusammensetzung, Entsorgung. *Holz-Zentralblatt* 87
- Rademacher, P., 1986: Morphologische und physiologische Eigenschaften von Fichten (*Picea abies*(L.) Karst.), Tannen (*Abies alba* Mill.), Kiefern (*Pinus sylvestris* L.) und Buchen (*Fagus sylvatica* L.) gesunder und erkrankter Waldstandorte. Dissertationsschrift, Universität Hamburg, GKSS-Forschungszentrum Geesthacht GmbH, GKSS 86/E/10
- Rastin, N.; Heinrichs, H.; Ulrich, B.; Mayer, R., 1985: Belastung der Landesforsten Hamburg durch Deposition von Schwermetallen. I. Verteilung von Schwermetallen in den Waldökosystemen. *Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme/Waldsterben*, Bd. 10. Bodenzustand und Depositionsbelastung von Waldökosystemen im Forstamt Hamburg. Selbstverlag des Forschungszentrums Waldökosysteme/Waldsterben der Universität Göttingen
- Ruddick, J., N., R.; Doyle, A., K.; 1990: A laboratory method for evaluating the influence of preservative penetration on relative performance. *Material und Organismen* 25/2: 99-113
- Ruh, C.; Gebefügi, I., 1984: Quellen zur Innenraumbelastung: Vorkommen von Pentachlorphenol und Lindan in unbehandelten Holzproben. *Chemosphere*, Vol. 13, No. 8: 919-925
- Rump, H.; Scholz, B., 1995: Untersuchung von Abfällen, Reststoffen und Altlasten. VCH-Verl. Weinheim
- Sachs, L., 1992: *Angewandte Statistik. Anwendung statistischer Methoden*. 7. Aufl., Springer-Verlag Berlin, Heidelberg

- Sahrhage, E.; Hagemeyer, J.; Breckle, S.-W., 1990: Verteilung von Blei im Stammholz von Fichten aus Stolberg/Eifel und Schwaney/Eggegebirge. Poster zur Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie (Freisinger-Weihenstephan 1990), Band 20, 1991: 977- 979
- Schaad, M., 1996: Zuverlässige Vor-Ort-Analytik in Minutenschnelle. Methodik und Anwendung von Immunoassays. Tagung „ Schnellanalytische Methoden zur Beurteilung von Abfällen“, Veranstalter Institut für Umwelttechnologie und Umweltanalytik (IUTA), 13./ 14. Juni 1996, Duisburg
- Schenke, H., D., 1992: Die Entsorgung imprägnierten Holzes - Probleme und Lösungsansätze. In: Bringezu, S; Schenke, H., D. (Hrsg.): Probleme und Perspektiven eines umweltverträglichen Holzschutzes. Reihe Schadstoffe und Umwelt 8: 151-178. Erich Schmidt Verlag Berlin
- Scheithauer, M.; Swaboda, Chr.; Aehlig, C., 1995: Beitrag zur stofflichen Verwertung von nicht naturbelassenen Altholzsortimenten. Tagungsband zur 20. Holzschutz-Tagung 1995 in Rosenheim, DGfH
- Schmidt, A., 1995: Holzverbrennung und -Vergasung für Natur-, Rest- und Altholz. Vortrag Seminar „Alt- und Restholz. Thermische Nutzung und Entsorgung, Anlagenplanung, Energienutzung“ des VDI am 19./20.10. in Salzburg
- Schneider, U., 1997: Aufkommen von Holz- und Holzabfällen -Mengenströme - Zusammensetzung - Besonderheiten in den neuen Bundesländern. Vortrag UTECH-Seminar „Einstufen,Aufbereiten und Verwerten von Holz und Holzabfällen.“ am 18./19.02.1997 in Berlin
- Schönfeld, A., 1997: Holzabfälle aus der Baubranche: Mengen, Zusammensetzung und Verwertungsoptionen. Vortrag UTECH-Seminar „Einstufen,Aufbereiten und Verwerten von Holz und Holzabfällen.“ am 18./19.02.1997 in Berlin

- Schrimpf, 1980: Zur zeitlichen und räumlichen Belastung des Fichtelgebirges mit Spurenmetallen: Analysen von Baumringabschnitten und von Schnee. Natur und Landschaft, 55. Jg., Heft 12: 460-461
- Schulz, W., O., 1971: Radiale Schutzmittelverteilung in der Erd-Luftzone von mit einem CKB- Schutzmittel imprägnierten Masten. Holz als Roh- und Werkstoff 29: 425-431
- Schulz, Becker, 1997: Deutsche Umweltschutzgesetze, Sammlung des gesamten Umweltschutzrechts des Bundes und der Länder mit Europäischen Umweltschutzrecht, 8. Auflage, Verlag R. S. Schulz
- Schultz, R., 1987: Vergleichende Betrachtung des Schwermetallhaushalts verschiedener Waldökosysteme Norddeutschlands. Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme/Waldsterben, Reihe A, Bd. 32
- Schwedt, G., 1992: Taschenatlas der Analytik. Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York
- Seeger, K., 1996: Planung von Kraft-Wärme-Kopplung auf der Basis von Energieholzsortimenten. Vortrag Seminar „Alt- und Restholz. Thermische Nutzung und Entsorgung, Anlagenplanung, Energienutzung“ des VDI am 19./20.10. in Salzburg
- Seeger, K., 1997: Wege zur verstärkten energetischen Nutzung von Holz und Holzresten. Vortrag UTECH-Seminar „Einstufen, Aufbereiten und Verwerten von Holz und Holzabfällen.“ am 18./19.02.1997 in Berlin
- Seekamp, G., 1976: Umsatz von Schwermetallen in Wald-Ökosystemen. Göttinger Bodenkundliche Berichte 56; 1977: 1-129. Im Selbstverlag der Anstalten für Bodenkunde der Universität Göttingen, Hrsg. Meyer, B.; Ulrich, B.

- Silverman, B.W., 1986: Density estimation for statistics and data analysis. Chapman and Hall, London
- Solar, F.; Schedl, Ch.; Silbernagel, H., 1980: Wirksamer chemischer Holzschutz im Hochbau. *Holzforschung und Holzverwertung* 32: 53-64
- Stewart, C.; Norton, D-A.; Fergusson, J.-E., 1991: Historical monitoring of heavy metals in kahikatea ring-wood in Christchurch, New Zealand. *The Science of the total Environment* 105: 171-190
- Stolz, P.; Krooß, J., 1993: Vorkommen pyrethroidhaltiger Insektizide in Innenräumen. *Forum Städte-Hygiene*, 44: 205-209
- Stolz, P.; Krooß, J., 1997: Aktuelle Daten zu Schwermetallgehalten inhomogener Altholzsortimente. Vortragsmanuskript UTECH-Seminar „Einstufen, Aufbereiten und Verwerten von Holz und Holzabfällen.“ am 18./19.02.1997 in Berlin
- Stolz, P.; Krooß, J.; Thurmann, U.; Peek, R.D.; Giese, H. 1998: Determination procedure for wood preservatives - Statistics of sampling and analysis in waste wood. Stockholm: Int. Res. Group Wood Pres. Doc. No. IRG/ WP 98-50121
- Strecker, M.; Marutzky, R., 1992: Verbrennung von Holzresten. In: Ist die thermische Behandlung von Abfallstoffen vermeidbar? Zentrum für Abfallforschung (ZAF), Eigenverlag, Braunschweig
- Strecker, M.; Marutzky, R., 1994: Untersuchungen von Holz und Holzwerkstoffen auf Holzschutzmitteln und deren Emission bei der Verbrennung. *Forschungsvorhaben* 76- 104 03 513
- Streubing, L.; Grobecker, K., H.; Hancke, J., 1991: Quecksilber in Boden und Pflanzen aus geologischer Sicht. *UWSF-Z. Umweltchem. Ökotox.* 3 (6): 332-334, eco-med Verlagsgesellschaft, Landsberg, Zürich

- TA-Abfall, 1991: Zweite allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA-Abfall)
- TASI, 1993: Dritte allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA-Siedlungsabfall)
- Theden, G.; Kottlors, C.; Becker, G., 1964: Versuche zur Beurteilung der Zirkon-Alizarin-Reaktion für den Nachweis Fluor-haltiger Holzschutzmittel. Holz als Roh- und Werkstoff 22: 460-465
- Theden, G.; Kottlors, C., 1965: Verfahren zum Sichtbarmachen von Schutzmitteln im Holz. Mitteilungen der Deutschen Gesellschaft für Holzforschung, (DGfH), Heft-N. 52, München
- Thier, H.-P.; Frehse, H., 1986: Rückstandsanalytik von Pflanzenschutzmitteln. Analytische Chemie für die Praxis. Hrsg.: Hulpke, H.; Hartkamp, H.; Tölg, G., Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York
- Tippkötter, R., 1996: Energetische Rest- und Altholzverwertung durch Hochtemperaturvergasung. Abfalljournal 6/96: 24-27
- VDI 2452, Blatt 1, 1978: Messen der Gesamt-Fluoridionen-Konzentration. Impinger-Verfahren. Messen von Immissionen
- VDI 2452, Blatt 2, 1975: Messen der Fluorionen-Konzentration. Silberkugel- Sorptionsverfahren mit Vorabscheidung und elektrometrischem Nachweis
- VDI 2452, Blatt 3, 1987: Messen der Fluoridionen-Konzentration. Silberkugel- Sorptionsverfahren mit beheiztem Membranfilter. Messen von gasförmigen Immissionen
- VDI 3875, Blatt 1, 1991: Messen von Immissionen. Messen von Innenraumluft- verunreinigungen. Messen von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAH). Gaschromatographische Analyse. VDI-Richtlinie, Entwurf

- VDI 4300, Blatt 2, 1995: Messen von Innenraumluftverunreinigungen. Meßstrategie für polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH), polychlorierte Dibenzofurane (PCDF), polychlorierte Dibenzo-p-dioxine (PCDD) und polychlorierte Bisphenyle (PCB) in der Innenraumluft. Entwurf
- VDI 4300, Blatt 4, 1994: Messen von Innenraumluftverunreinigungen. Meßstrategie für Pentachlorphenol (PCP) und γ -Hexachloreyclohexan (Lindan) in der Innenraumluft. VDI-Richtlinie, Entwurf
- Verbeck, A., A., 1984: Analysis of tree leaves, bark and wood by sequential inductively coupled argon plasma atomic emission spectrometry. *Spectrochimica Acta.*, Vol. 39B, No. 4, Pergamon Press.Ltd., Great Britain: 599-603
- Vogt, M.; Bockelmann, C., 1995: Methoden der Schnellerkennung von Schadstoffen in Holz und ihre Einsatzmöglichkeiten in der Praxis. Vortrag auf dem Workshop „Methoden und Möglichkeiten der stofflichen Nutzung von Altholz und Altholzwerkstoffen“, Dresden, 9./ 10. Nov. 1995
- Vogt, M., 1996a: Holzschutzmittel schnell erkennen. In: Martzky, R. und Schmidt, W. (Hrsg.) (1996): *Alt- und Restholz. Sonderpublikation Umwelt.* VDI-Verlag, Düsseldorf: 47-63
- Vogt, M., 1996b: Möglichkeiten der Erkennung und Sortierung holzschutzmittelhaltiger Hölzer. Fachtagung „Aufbereitung und Verwertung von Altholz“, Bayerisches Landesamt, Wackersdorf, 3. Dez. 1996: 19-31
- Voß, A., 1995: Belastungspotentiale von Altholzsortimenten. In: *Altholzseminar. 1. Abfall- und Altlastenkolloquium* 12. 05.1995, TU Dresden: 42-58
- Voß, A.; Willeitner, H., 1994: Gesamtkonzept für die Entsorgung von schutzmittelhaltigen Hölzern. Abschlußbericht für das Forschungsvorhaben 145 0676 „Entsorgung“

- Voß, A.; Willeitner, H., 1995: Aufkommen und Zusammensetzung schutzmittelbehandelter Althölzer und ihrer Entsorgung. Vortrag 20. Holzschutztagung in Rosenheim 18./19. 10.1995
- Voß, A., 1998: Aufkommen und Zusammensetzung schutzmittelbehandelter Althölzer und ihre Entsorgung. Mitteilung der Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg, Nr. 188
- Vogt, M.; Bockelmann, C., 1995: Methoden der Schnellerkennung von Schadstoffen in Holz und ihre Einsatzmöglichkeiten in der Praxis. Vortrag auf dem Workshop „Methoden und Möglichkeiten der stofflichen Nutzung von Altholz und Altholzwerkstoffen“, Dresden, 9./ 10. Nov. 1995
- Walenczak, Z., 1959: Methodical principles of biogeochemistry explorations in Lower Silesia: Prospecting for nickel, cobalt and chromium. *Archiwum Mineralogiczne* 23: 427- 430
- Warren, H., V.; Delavault, R., E.; Fortescue, J., A., C., 1955: Sampling in biogeochemistry. *Bull. Geol. Soc. Am.* 66: 229-238
- Wehle, H., D.; Swaboda, C.; Aehlig, K., 1996: Holzschutzmittel und ihre Konzentrationen in Altholzsortimenten. Vortragsmanuskript Informationsveranstaltung „Schnellerkennung von Holzschutzmitteln als Grundlage zur Verwertung von Rest- und Altholz.“ 7.02.1996 in Dresden (ihd): 20-34
- Weinmann, W.; Thomas, H.-P.; Klein, H., A., 1986: Gefahrstoffverordnung. Mit Chemikaliengesetz. Teil 1. Verordnungen über gefährliche Stoffe (Gefahrstoffverordnung-GefStoffV) und Gesetz zum Schutz vor gefährlichen Stoffen (Chemikaliengesetz), Losebl.-Ausg., Lfg. 6-8, Carl Heymann Verlag KG, Köln, Berlin, Bonn, München
- Wickern, M; Breckle, S., 1983: Blei im Eichenholz vom Autobahrrand. *Ber. Deutsch. Bot. Ges.*, Bd. 9: 343-350

- Willeitner, H., 1975: Lösemittelhaltige Präparate. Holz als Roh- und Werkstoff 33: 473-477
- Willeitner, H.; Schwab, H., 1981: Holz-Außenanwendung im Hochbau. Verlagsanstalt Alexander Koch GmbH, Stuttgart
- Willeitner, H., 1981: Zeitliche Entwicklung der Holzschutzmittel mit Prüfzeichen in der Bundesrepublik Deutschland. Mitteilungen IfBt 6: 186-190
- Willeitner, H., 1984: Steinkohlenteeröl. Holz als Roh- und Werkstoff 42: 223-232
- Willeitner, H., 1990: Entsorgung von schutzmittelhaltigen Hölzern- eine kritische Übersicht. In: Marutzky, R. (Ed.): Verwertung, Vermeidung und Entsorgung von Rest- und Abfallstoffen in der Forst- und Holzwirtschaft, Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI), Fraunhofer Arbeitsgruppe für Holzforschung, Braunschweig, WKI-Bericht Nr. 22: 235
- Willeitner, H.; Wollenberg, E., 1977: Bohr-Hobelversuch zur Bestimmung des Einflusses von Bindemittelzusätzen auf die Wirkungstiefe von lösemittelhaltigen Präparaten. Holz als Roh- und Werkstoff 35: 227-232
- Willeitner, H.; Brandt, K.; Illner, H., M., 1988: Nachweis von Pentachlorphenol in Holz. Hinweise für die Praxis. Holz-Zentralblatt 19: 265-266
- Willeitner, H.; Bucki, C., 1994: Möglichkeiten und Grenzen der stofflichen Verwertung von Holzprodukten nach Gebrauch. In: IWF u. WKI Braunschweig (Hrsg.). Marktorientiert, schlank und umweltgerecht. Recycling und ökologische Aspekte. Vulkan Verl. Essen
- Wolf, J.; Hartung, M.; Schröder, H.-G.; Schaller, K.-H.; Woeste, W., 1990: Konzentrationen ausgewählter Gefahrstoffe in Materialproben aus der Holzwirtschaft. Staub- Reinhaltung der Luft 50: 23-28

Wulf, A.; Siebers, J.; Kehr, R., 1993: Zur Belastung von Fichtenholz und -rinde mit Cypermethrin und Lindan nach praxisüblicher Borkenkäferbekämpfung. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd., 45 (8): 172-175

Young, H., E.; Guinn, V., P., 1966: Chemical Elements in Complete Mature trees of seven Spezies in Main. Tappi (Technical Association of the Pulp and Paper Industry) 49: 190-197

9 Anhang

9.1 Statistische Begriffe und Definitionen

Variationskoeffizient: v (= relative analytische Unpräzision). Der Variationskoeffizient ist der Quotient aus der relativen Standardabweichung und dem zugehörigen Mittelwert (\bar{x}). Es sind zwei Arten von Angaben möglich: $v = s / \bar{x} \times 100\%$ oder $v = s / \bar{x}$ (Funk et al. 1992).

Analysenprinzip: Das Analysenprinzip bezieht sich nur auf die Messung und die Auswertung der Meßwerte, mit denen die analytische Information gewonnen werden.

Qualitätsmerkmal: Die Qualität mitbestimmendes Merkmal. Es ist damit ein Element der Gesamtheit aller die Qualität eines Gegenstandes charakterisierender Kennzeichen und Eigenschaften.

Präzision: qualitative Bezeichnung für das Ausmaß der gegenseitigen Annäherung voneinander unabhängiger Analysenergebnisse bei mehrfacher Anwendung eines festgelegten Analysenverfahrens unter vorgegebenen Bedingungen (Funk et al. 1992).

Richtigkeit: qualitative Bezeichnung für das Ausmaß der Annäherung des Erwartungswertes des Analysenergebnisses an den Bezugswert, wobei dieser je nach Festlegung oder Vereinbarung der wahre oder richtige Wert sein kann (Funk et al. 1992).

Nachweisgrenze: ist die kleinste Konzentration (Menge) des Analyten in der Probe, die qualitativ noch erfaßt werden kann (Ja/Nein-Entscheidung).

Bestimmungsgrenze: ist die kleinste Konzentration des Analyten in der Probe, die quantitativ bestimmt werden kann.

9.2 Arbeitsvorschriften und Bestimmungsgrenzen für die angewandten Verfahren

9.2.1 Homogenisierung des Probenmaterials

An jedem Einzelprüfling wurden insgesamt 10 Bohrungen vorgenommen. Das gesamte Probenmaterial wurde mit einem modifiziertem Bühler-Homogenisator, bei dem das Holz durch ein schnell rotierendes Messer aus Kohlenstoffstahl, ohne wesentliche Erwärmung, fein zerkleinert und gleichzeitig gut vermischt wird, homogenisiert. Die Bestimmung des Feuchtegehaltes erfolgte in Anlehnung an die DIN 52 183.

9.2.2 Schwermetalle und Bor

Der Totalaufschluß wurde in der Mikrowelle (Druckbombe 110 bar) mit Salpetersäure bei 200 °C, 70 bar durchgeführt. Als interner Standard wurden Yttrium und Rhenium zugegeben.

Die quantitative Bestimmung der Elemente erfolgte nach dem Entwurf zur DIN 38 406-E-29 „Bestimmung von 61 Elementen durch ICP-MS“.

Die Bestimmungsgrenzen sind der folgenden Tabelle (Tabelle A 1) zu entnehmen.

Tabelle A 1: Bestimmungsgrenzen (mg/kg Holz) ausgewählter Elemente (ICP/MS)

Element	BG mg/kg
As	0,05
B	0,1
Cd	0,01
Cr	0,01
Cu	0,01
Hg	0,01
Pb	0,01
Sn	0,1
Zn	0,1

BG: Bestimmungsgrenze

9.2.3 Fluorid

2 g Probenmaterial wurden mit entionisiertem Wasser versetzt, 24 h geschüttelt und anschließend filtriert.

Die Fluoridbestimmung erfolgte nach der DIN 38 405, Teil 4 mittels einer ionenselektiven Elektrode (Fa. Mettler Toledo).

Die Bestimmungsgrenze des Verfahrens beträgt 1 mg/kg Holz.

9.2.4 Organische Verbindungen

9.2.4.1 Organochlorpestizide (OC), Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und polychlorierte Naphthaline (PCN)

1 g Probenmaterial wurde nach Zugabe der internen Standards (2,4,6-Tribromphenol und Isodrin) mit Aceton/Methanol extrahiert (Soxhlet-Extraktion).

Ein Probenaliquot wurde bis zur Trockene aufkonzentriert, in n-Hexan aufgenommen und anschließend zweimal mit K_2CO_3 ausgeschüttelt.

Die beiden Phasen (n-Hexan- und K_2CO_3 -Phase) wurden getrennt.

Das PCP in der K_2CO_3 -Phase wurde mit Essigsäureanhydrid derivatisiert, anschließend mit n-Hexan reextrahiert und über eine Kieselgelsäule aufgereinigt.

Die Bestimmung von PCP erfolgte mit dem GC/ECD unter Einbeziehung der Wiederfindung des internen Standards. Die Bestimmungsgrenze des Analysenverfahrens beträgt 0,005 mg/kg Holz.

Zum Nachweis der weiteren Pestizide wurde die n-Hexan-Phase über eine Kieselgelsäule aufgereinigt. Die Identifizierung und Quantifizierung erfolgte kapillargaschromatographisch mit GC/MS.

Die Bestimmungsgrenzen sind der Tabelle A 2 zu entnehmen.

Bei einzelnen Proben lagen aufgrund von Matrixeffekten die Bestimmungsgrenzen entsprechend höher.

Tabelle A 2: Bestimmungsgrenzen (mg/kg Holz) des Analysenverfahrens von PCN, Organochlorpestiziden, PAK und Chlornaphthalinen und PCB (GC/MS)

Wirkstoffgruppe	Wirkstoff	BG mg/kg
PCN	1-Chlornaphthalin	0,003
	2-Chlornaphthalin	0,003
	1,2-Dichlornaphthalin	0,013
	1,4-Dichlornaphthalin	0,013
	1,5-Dichlornaphthalin	0,013
	1,8-Dichlornaphthalin	0,013
	2,3-Dichlornaphthalin	0,013
	Octachlornaphthalin	0,190
	1,2,3,4-TCN	0,125
OC	Aldrin	0,500
	cis-Chlordan	0,250
	trans-Chlordan	0,250
	Chlorthalonil	0,063
	o,p-DDD	0,063
	p,p-DDD	0,125
	o,p-DDE	0,050
	p,p-DDE	0,050
	o,p-DDT	0,250
	p,p-DDT	0,625
	Dichlofluamid	0,063
	Dieldrin	0,125
	alpha-Endosulfan	0,625
	Endrin	0,750
	HCB	0,025
	alpha-HCH	0,063
	beta-HCH	0,063
	delta-HCH	0,063
	epsilon-HCH	0,063
	Heptachlor	0,250
	a-Heptachlorepoxyd	1,000
	Heptachlorepoxyd	0,625
	Lindan	0,063
o,p-Methoxychlor	0,250	
Pentachlorphenol	0,005	
2,3,4,6-TCP	0,005	
PAK	Acenaphthen	0,025
	Acenaphthylen	0,003
	Anthracen	0,025
	Benz(a)anthracen	0,025
	Benzo(b)fluoranthen	0,050
	Benzo(k)fluoranthen	0,050
	Benzo(a)pyren	0,050
	Benzo(g,h,i)perylene	0,050
	Chrysen	0,025
	Dibenzo(a,h)anthracen	0,050
	Naphthalin	0,003
	Fluoranthen	0,050
	Fluoren	0,025
	Ineno(1,2,3-cd)pyren	0,125
	Phenanthren	0,025
	Pyren	0,050
	PCB	PCB 28
PCB 52		0,050
PCB 101		0,063
PCB 138		0,063
PCB 153		0,063
PCB 180		0,063

9.2.4.2 Organophosphorpestizide und andere Pestizide (Carbamate, Triazole, Fumecycloxyd)

2 g Probenmaterial wurden nach Zugabe der internen Standards (Bromophos-ethyl, Monocrotophos) mit Aceton versetzt und über Nacht auf einem Horizontalschüttler geschüttelt.

Nach Filtrierung der Probenlösung wurde ein Aliquot aufkonzentriert und über eine Kieselgelsäule aufgereinigt.

Die Bestimmung der Organophosphorpestizide erfolgt mittels GC/MS.

Die Bestimmungsgrenzen des Analysenverfahrens sind der Tabelle A.3 zu entnehmen.

Tabelle A 3: Bestimmungsgrenzen (mg/kg Holz) des Analysenverfahrens von Organophosphorpestiziden (Chlorpyrifos, Parathionethyl, Parathionmethyl, Phoxim), Carbamaten (Propoxur, IPBC), Triazolen (Propiconazol, Tebuconazol) und Fumecycloxyd (GC/MS)

Wirkstoffgruppe	Wirkstoff	BG mg/kg
OP	Chlorpyrifos	0,025
	Parathion-ethyl	0,025
	Parathion-methyl	0,025
	Phoxim	0,063
Carbamate	Propoxur	0,013
	IPBC	0,094
Triazole	Propiconazol	0,125
	Tebuconazol	0,125
keine Zuordnung	Fumecycloxyd	0,006

9.2.4.3 Pyrethroide

Zur Bestimmung der Pyrethroid-Gehalte wurden 2 g Probenmaterial nach Zugabe der internen Standards (Fenprothrin, λ -Cyhalothrin, Fenvalerat) mit Essigsäureethylester versetzt und extrahiert (Soxhlet-Extraktion).

Ein Probenaliquot wurde aufkonzentriert und über eine Kieselgelsäule aufgereinigt.

Die Pyrethroid-Bestimmung erfolgte über GC/ECD unter Einbeziehung der internen Standards. Die Bestimmungsgrenzen des Analysenverfahrens sind der Tabelle A 4 zu entnehmen.

Tabelle A 4: Bestimmungsgrenzen (mg/kg Holz) des Analysenverfahrens für Cyfluthrin, Cypermethrin, Deltamethrin und Permethrin (GC/ECD)

Wirkstoff	BG mg/kg
Cyfluthrin	0,01
Cypermethrin	0,01
Deltamethrin	0,01
Permethrin	0,02

9.3 Ergebnisse

9.3.1 Vorversuche

9.3.1.1.1 Wirkstoffverteilung am Einzelprüfling

Tabelle A 5: Pentachlorphenol (PCP) und Lindan

Probe Nr.	Einw. [g]	Bohrtiefe [mm]	Einw. pro mm Bohrtiefe [g/mm]	Holzdicke [g/cm ³]	PCP-Gehalt [mg/kg]	PCP-Gehalt pro Fläche [mg/m ²]	Lindan-Gehalt [mg/kg]	Lindan-Gehalt pro Fläche [mg/m ²]	Verhältnis Lindan zu PCP-Gehalt
1	0.80	5.00	0.16	0.33	185	302	26	42	0.14
2	0.88	5.00	0.18	0.36	158	284	24	43	0.15
3	0.83	5.30	0.16	0.32	187	317	24	41	0.13
4	0.95	5.50	0.17	0.35	165	320	27	52	0.16
5	1.00	5.50	0.18	0.37	230	470	32	64	0.14
6	0.75	5.20	0.14	0.29	245	375	37	56	0.15
7	0.85	5.20	0.16	0.33	176	306	26	46	0.15
8	0.79	5.10	0.15	0.32	250	403	32	52	0.13
9	0.91	5.90	0.15	0.31	166	307	26	48	0.16
10	1.07	5.40	0.20	0.40	168	367	26	57	0.16
11	1.18	6.20	0.19	0.39	172	415	25	60	0.14
12	1.09	6.00	0.18	0.37	113	251	19	43	0.17
13	1.06	6.00	0.18	0.36	127	275	21	44	0.16
14	0.99	5.90	0.17	0.34	131	265	23	46	0.17
15	1.22	6.30	0.19	0.39	207	516	27	67	0.13
16	1.03	6.40	0.16	0.33	284	597	39	82	0.14
17	1.02	6.60	0.15	0.31	168	351	27	57	0.16
18	1.13	6.60	0.17	0.35	136	313	25	57	0.18
19	1.00	5.50	0.18	0.37	119	243	19	38	0.16
20	1.04	6.10	0.17	0.35	208	442	32	68	0.15
21	1.08	5.70	0.19	0.39	225	496	27	59	0.12
22	0.93	5.40	0.17	0.35	129	245	19	37	0.15
23	0.95	5.00	0.19	0.39	181	350	25	49	0.14
24	1.05	6.60	0.16	0.32	128	275	17	36	0.13
25	1.27	5.60	0.23	0.46	146	378	28	73	0.19
26	1.15	6.20	0.19	0.38	211	496	34	79	0.16
27	1.49	6.50	0.23	0.47	145	440	22	67	0.15
28	1.05	6.50	0.16	0.33	148	318	21	45	0.14
29	1.19	5.80	0.21	0.42	118	287	15	37	0.13
30	1.06	5.90	0.18	0.37	155	335	19	41	0.12
31	1.05	5.50	0.19	0.39	86	184	13	27	0.15
32	1.11	5.90	0.19	0.38	94	213	12	27	0.13
33	1.03	5.80	0.18	0.36	113	238	16	34	0.14
34	1.14	6.20	0.18	0.37	100	233	15	34	0.15
35	1.14	6.60	0.17	0.35	113	263	13	29	0.11
36	1.08	6.10	0.18	0.36	120	265	17	38	0.14
37	1.13	6.10	0.19	0.38	111	257	13	31	0.12
38	1.12	6.10	0.18	0.37	103	236	17	39	0.16
39	1.13	6.50	0.17	0.35	127	293	19	43	0.15
40	1.17	6.50	0.18	0.37	110	263	18	42	0.16
41	1.28	6.10	0.21	0.43	92	240	15	39	0.16
42	1.03	5.60	0.18	0.37	199	418	33	70	0.17
43	1.16	6.60	0.18	0.36	108	256	16	39	0.15
44	1.15	6.90	0.17	0.34	99	233	15	34	0.15
45	1.21	6.50	0.19	0.38	138	342	21	51	0.15
46	1.15	6.20	0.19	0.38	113	264	17	39	0.15
47	1.15	6.50	0.18	0.36	126	296	24	56	0.19
48	0.95	5.10	0.19	0.38	164	318	30	58	0.18
49	0.94	5.20	0.18	0.37	194	373	28	53	0.14
50	0.97	5.20	0.19	0.38	114	226	15	30	0.13

9.3.1.1.2 Fluorid

Tabelle A 6: Fluorid

Probe Nr.	Einw. [g]	Bohrtiefe [mm]	Einw. pro mm Bohrtiefe [g/mm]	Holzdicke [g/cm ³]	Fluorid-Gehalt [mg/kg]	Fluorid-Gehalt pro Fläche [mg/m ²]
1	1.09	5.8	0.19	0.38	1733	3856
2	1.05	5.7	0.18	0.38	1865	3997
3	1.01	5.8	0.17	0.35	1817	3744
4	1.14	6.0	0.19	0.39	1466	3412
5	1.00	5.9	0.17	0.35	1807	3687
6	1.15	6.0	0.19	0.39	1312	3079
7	0.95	5.9	0.16	0.33	1616	3133
8	1.04	5.6	0.19	0.38	1550	3289
9	1.06	6.1	0.17	0.35	1549	3350
10	1.15	6.0	0.19	0.39	1416	3323
11	0.98	6.1	0.16	0.33	1621	3241
12	1.25	6.1	0.20	0.42	1320	3366
13	1.05	5.7	0.18	0.38	1513	3241
14	0.97	6.0	0.16	0.33	1548	3064
15	1.20	5.9	0.20	0.41	1430	3501
16	1.01	5.9	0.17	0.35	1395	2876
17	1.04	5.7	0.18	0.37	1317	2795
18	1.09	5.9	0.18	0.38	1282	2852
19	1.07	5.7	0.19	0.38	1518	3316
20	1.06	5.9	0.18	0.37	1504	3253
21	1.18	6.0	0.20	0.40	1539	3707
22	1.02	5.9	0.17	0.35	1250	2601
23	1.08	5.9	0.18	0.37	1257	2771
24	1.20	6.1	0.20	0.40	1050	2572
25	0.98	5.8	0.17	0.34	1554	3108
26	1.07	5.9	0.18	0.37	1504	3284
27	0.96	5.5	0.17	0.36	1530	2998
28	1.10	5.8	0.19	0.39	1516	3402
29	1.24	5.7	0.22	0.44	1586	4014
30	1.01	5.7	0.18	0.36	1282	2642
31	1.13	6.3	0.18	0.37	1272	2933
32	1.03	5.6	0.18	0.37	1800	3783
33	1.07	6.0	0.18	0.36	1428	3117
34	1.15	6.2	0.19	0.38	1409	3306
35	1.03	5.8	0.18	0.36	1455	3058
36	1.08	6.3	0.17	0.35	1277	2814
37	1.11	5.6	0.20	0.40	1632	3698
38	1.07	6.0	0.18	0.36	1380	3014
39	1.06	5.7	0.19	0.38	1558	3371
40	0.99	5.5	0.18	0.37	1537	3105
41	1.01	5.5	0.18	0.37	1918	3954
42	1.13	5.8	0.19	0.40	1617	3728
43	1.02	5.6	0.18	0.37	1455	3029
44	1.06	5.9	0.18	0.37	1429	3092
45	1.00	5.6	0.18	0.36	1289	2631
46	1.06	5.8	0.18	0.37	1444	3124
47	1.08	6.1	0.18	0.36	1234	2719
48	1.14	6.0	0.19	0.39	1217	2832
49	1.24	5.8	0.21	0.44	1272	3220
50	1.27	5.7	0.22	0.45	1274	3302

9.3.1.2 EOX-Bestimmung

9.3.1.2.1 Methodenvergleich

Tabelle A 7: Berechneter Cl-Gehalt pro g Gesamtmolekül PCP, Lindan (gamma-HCH) und 2,3,4,6-TCP, 1- und 2-Chlornaphthalin, 1,2-, 1,4-, 1,5-, 1,8- und 2,3-Dichlornaphthalin, alpha, beta-, delta und epsilon-HCH

Wirkstoff	Molare Masse Gesamtmolekül [g/mol]	Masse Chloratome pro mol Gesamtmolekül [g/mol]	Cl-Gehalt pro g Gesamtmolekül [g]
PCP	266,30	177,27	0,67
Lindan	290,85	212,72	0,73
2,3,4,6-TCP	231,90	141,81	0,61
1-Chlornaphthalin	163,64	35,45	0,22
2-Chlornaphthalin			
1,2-Dichlornaphthalin	199,10	70,91	0,36
1,4-Dichlornaphthalin			
1,5-Dichlornaphthalin			
1,8-Dichlornaphthalin			
2,3-Dichlornaphthalin			
alpha-HCH	290,85	212,72	0,73
beta-HCH			
delta-HCH			
epsilon-HCH			

Tabelle A 8: Vergleich zwischen gefundenem und berechnetem EOX-Wert

Wirkstoff	111		22		69		118		120	
	Gehalt mg/kg	EOX ber. mg/kg								
PCP	890	592	310	206	830	552	350	233	170	113
Lindan	92	67	110	80	13	9,51	20	14,63	16	12
2,3,4,6-TCP	120	73	46	28	84	51	44	27	17	10
1-Chlornaphthalin	1,08	0,23	n.n.	-	n.n.	-	2,63	0,57	n.n.	-
2-Chlornaphthalin	0,08	0,02	n.n.	-	n.n.	-	n.n.	-	n.n.	-
1,2-Dichlornaphthalin	0,58	0,21	n.n.	-	n.n.	-	3,19	1,14	n.n.	-
1,4-Dichlornaphthalin	3,64	1,3	n.n.	-	n.n.	-	20	7,03	n.n.	-
1,5-Dichlornaphthalin	1,09	0,39	n.n.	-	n.n.	-	6,42	2,29	n.n.	-
1,8-Dichlornaphthalin	1,18	0,42	n.n.	-	n.n.	-	8,04	2,86	n.n.	-
2,3-Dichlornaphthalin	0,07	0,02	n.n.	-	n.n.	-	0,14	0,05	n.n.	-
alpha-HCH	23	17	0,16	0,12	n.n.	-	9,46	6,92	n.n.	-
beta-HCH	10	7,43	0,30	0,22	n.n.	-	n.n.	-	n.n.	-
delta-HCH	6,00	4,39	n.n.	-	n.n.	-	n.n.	-	n.n.	-
epsilon-HCH	3,40	2,49	0,08	0,06	n.n.	-	n.n.	-	n.n.	-
Summe EOX gef. (MeOH/Aceton)		673		206		487		458		110
Summe EOX gef. (n-Hexan)		92,45		77,5		109		153		30,48
Summe EOX ber.		766		315		613		295		135
Differenz EOXgef.MeOH/Aceton -EOXber. in % bezogen auf EOX ber.		12		35		21		55		19
Differenz EOXgef.n-Hexan - EOXber. in % bezogen auf EOX ber.		88		75		82		48		77

9.3.2 Ergebnisse des Probenabgleichs

Tabelle A 9: Abgleich der Analytik mit standardisiertem Probenmaterial. Pyrethroid-Gehalte (Cypermethrin, Deltamethrin und Permethrin) standardisierter Fichten- und Kiefernholzproben

Wirkstoff	Gehalt (mg/kg)	
	Fichte	Kiefer
Cypermethrin	14,5	16,2
Deltamethrin	16,7	15,7
Permethrin	36,2	31,6

Soxhlet-Extraktion mit Essigsäureethylester. Identifizierung und Quantifizierung über GC/ECD.

9.3.3 Hauptuntersuchung

9.3.3.1 Einzelprüflinge

Tabelle A 10: Allgemeine Angaben zu den untersuchten Einzelprüflingen

lfd. Proben-Nr.	Holzgegenstand	Anzahl der Bohrungen	Gewicht [g]	Färbung / Farbanstrich	Länge cm	Breite cm	Höhe cm	Volumen cm ³	Fläche cm ²
1	Brett	10	6.66	hellgrün	250	14	7	24500	10696
2	Bett	10	7.07	hellgrün	102	14	3.9	5569	3761
3	Latte	10	9.83	hellgrün	116	5.5	3.5	2233	2127
4	Latte	10	9.84	hellgrün	92	5.5	3.6	1822	1714
5	Latte	10	9.29	hellgrün	102	5.7	3.7	2151	1960
6	Latte	10	8.52	hellgrün	67	5.6	3.6	1351	1273
7	Latte	10	11.34	hellgrün	134	5.5	3.6	2653	2478
8	Spanplatte	10	21.86	hellgrün	71.8	66.5	2	9549	10103
9	Möbelstück	10	13.51	braun, Farbanstrich	110	20	2.5	5500	5050
10	Paneele	10	10.81	braun, Farbanstrich	85	11	2	1870	2254
11	Paneele	10	11.86	hellbraun, Lasur	106	9.5	1.2	1208	2291
12	Möbelbrett	10	18.38	braun, Lasur	108	8	2	1728	2192
13	Möbelstück	10	13.67	weiß, Lack	45	45	2	4050	4410
14	Balken	10	17.74	braun	110	9	9	8910	4122
15	Fensterrahmen	10	18.53	Lasur	110	8	5.5	4840	3058
16	Paneele	10	11.16	braun, Farbanstrich	98	14	2.4	3293	3282
17	Brett	10	13.67	weiß, Farbanstrich	139	6	3	2502	2538
18	Speerholzplatte	10	15.05	weiß, Lack	52	42	1.2	2621	4594
19	Fensterrahmen	10	13.64	braun, Lack	130	5.5	3.5	2503	2379
20	Möbelbrett	10	17.20	braun, Lack	82	9	2.4	1771	1913
21	Paneele	10	12.88	hellbraun, Lack	67	12	9	7236	3030
22	Gartenzaunpfote	10	13.88	grün, Lack	85	7	1.9	3392	4619
23	Paneele	10	11.59	weiß, Lack	120	5	1.5	900	1575
24	Brett	10	10.83	grün, braun, Lack	120	6	2	1440	1944
25	Fensterrahmen	10	18.71	weiß, Farbanstrich	115	5	7	4025	2830
26	Paneele	10	11.01	braun, Lasur	110	6	1.2	792	1598
27	Latte	10	9.62		92	5.5	4	2024	1792
28	Fensterrahmen	10	12.28	weiß, Lack	109	5	6	3270	2458
29	Rolladen	10	17.81	rot, braun, Lasur	119	4	1.3	9282	19077
30	Fensterrahmen	10	13.91	braun, Lasur	84	5.5	4	1848	1640
31	Brett	10	12.18	grün, braun, Lack	175	10	2	3500	4240
32 a	Fensterrahmen	10	14.70	braun, Lack	205	9	4.5	8303	5616
32 b					32	9	4.5	1296	945
33	Balken	10	10.22		80	10	10	8000	3400
34	Balken	10	12.61		100	7	3.5	2450	2149
35	Latte	10	14.48	braun	80	5	2.5	1000	1225
36	Brett	10	10.60		108	7.5	3.5	2835	2429
37	Brett	10	12.75		58	13.5	2	1566	1852
38	Balken	10	15.32	weiß, Lack	220	12	9.5	25080	9688
39	Brett	10	8.76		170	19	3.5	11305	7783
40	Brett	10	12.08		52	8.5	4	1768	1368
41	Balken	10	12.50		64	11.5	11.5	8464	3209
42	Brett	10	13.79		75	14	20	21000	5660
43	Balken	10	13.45	hellbraun, Lasur	102	11.5	9.5	11144	4503
44	Brett	10	12.24		120	10	2	2400	2920
45	Brett	10	16.26		114	9	2.5	2565	2667
46	Balken	10	10.60	hellbraun, Lasur	68	9.5	8.5	5491	2610
47	Balken	10	15.50	hellbraun, Lasur	155	8	7	8680	4762
48	Latte	10	14.66		70	5	3.5	1225	1225
49	Latte	10	14.16		132	9	4	4752	3504
50	Brett	10	14.19		84	11	6.5	6006	3083
51	Brett	10	11.98	dunkelbraun, Lasur	57	10	5	2850	1810
52	Brett	10	13.25		67	14.2	1.8	1713	2195
53	Paneele	10	9.90		95	9	2	1710	2126
54	Brett	10	9.72	Klarlack	94	19	3	5358	4250
55	Latte	10	10.03		99.5	4	3	1194	1417

Fortsetzung Tabelle A 10: Allgemeine Angaben zu den untersuchten Einzelprüflingen

lfd. Proben-Nr.	Holzgegenstand	Anzahl der Bohrungen	Gewicht [g]	Färbung / Farbanstrich	Länge cm	Breite cm	Höhe cm	Volumen cm ³	Fläche cm ²
56	Zaunpfahl	10	15.64	braun	81			3117	1858
57	Latte	10	13.58		94	6	4	2256	1928
58	Latte	11	13.63	Klarlack	65	5.5	4	1430	1279
59	Zaunpfahl	10	13.73	dunkelbraun, Lasur	50			3041	1504
60	Pfahl	10	10.62	braun, Lasur	72			1145	1050
61	Zaunlatte	10	15.56		93			2337	1963
62	Spanplatte	10	17.71		100	60	2.5	15000	12800
63	Spanplatte	10	21.04	weiß, Kunststoff beschichtet	72	57	2	8208	8724
64	Spanplatte	10	21.49	einseitig mit Tapete beklebt	72	34	2	4896	5320
65	Balken	10	17.97	braun, Lasur	73	10	10	7300	3120
66a	Balken	10	11,76	braun	183	24	18	79056	16236
66b	Balken				80	23	18.5	34040	7491
66c	Balken			braun	140	18.4	23.5	60536	12597
67	Paneele	10	11.75	braun, Lasur	118	8.3	1.5	1469	2338
68	Balken	10	20.76	braun, Lasur	110	9	7.3	7227	3717
69	Balken	10	13.90	braun, Lasur	100	11	9.5	10450	4309
70	Latte	10	19.17		100	8	5	4000	2680
71	Latte	10	13.31	Lasur	141	4.9	2.5	1727	2111
72	Dachbalken	10	10.94		113			14999	4880
73	Paneele	10	13.50	braun, Lasur	96	10	1.5	1440	2238
74	Brett	30	22.90	braun	190	36	7	47880	16844
75	Balkenteil	10	17.67		40	22	2.5	2200	2070
76	Balken	30	30.34		190	14	14	37240	11032
77	Paneele	10	11.70	hellbraun, Lasur	234	9.5	1.7	3779	5274
78	Stammstumpf	10	11.03		20	14	10	2800	1240
79	Brett	10	16.86	dunkel, Anstrich	165	17.5	2.5	7219	6688
80	Balken	10	11.58	einseitig schwarz	262	10	6	15720	8504
81	Stalltür	10	18.29	einseitig braun, Farbanstrich	90	82	2	14760	15448
82	Zaunpfahl	10	16.81	dunkelbraun	170	10	10	17000	7000
83	Balken	10	13.26	hellbraun	212	9	12	22896	9120
84 a	Europalette	10	20.48		120	9	2	17280	21408
84 b					76	9	2	4104	5124
84 c					8	9	11	7128	4662
85	Brett	10	16.10	einseitig hellbraun, Lack	307	13	2	7982	9262
86	Brett	10	15.13		146	16	4	9344	5968
87	Dachbalken	10	16.31	braun, Lasur	140	12	10	16800	6400
88	Balken	10	26.00	weiß, Anstrich	124	9	12	13392	5424
89	Balken	10	13.59	braun	170	23.5	18.5	73908	15150
90	Türeinsatz	10	14.97	braun, weiß, Farbanstrich	220	13	12	34320	11312
91	Rauhspund	10	8.36	Lasur	87	10	1.5	1305	2031
92	Balken	10	12.59	braun	245	20	10	49000	15100
93 a	Latte	10	10.37	Lasur	73	8	2.5	1460	1573
93 b					47	8	2.5	940	1027
94 a	Tischbeine	10	18.03	hellbraun, Anstrich	75	5	5	3750	3100
94 b				hellbraun, Anstrich	102	12	2	2448	2904
95 a	Balken	10	13,64	braun	200	23	18	82800	17228
95 b	Balken			braun	190	22	18	75240	15992
95 c	Balken		13.64	braun	127.5	23	18.5	54251	11434
95 d	Balken			braun	133	23	18.5	56592	11890
95 e	Balken				193	12	10	23160	8732
96	Balken	10	10.28	dunkelbraun	230	10	10	23000	9400
97	Brett	10	15.38	hellbraun, Anstrich	266	20	1.5	7980	11498
98	Balken	10	21.46	braun	95.5	9.5	10	9073	3915
99	Bettbrett	10	14.16	weiß	180	17	2	6120	6908
100	Brett	10	9.19		120	9	2	2160	2676

Fortsetzung Tabelle A 10: Allgemeine Angaben zu den untersuchten Einzelprüflingen

lfd. Proben-Nr.	Holz-gegenstand	Anzahl der Bohrungen	Gewicht [g]	Färbung / Farbanstrich	Länge cm	Breite cm	Höhe cm	Volumen cm ³	Fläche cm ²
101	Paneele	10	8.93	Klarlack	133	10	1.5	1995	3089
102	Garderobebrett	10	22.39	einseitig rot, Farbanstrich	74	11	2	1628	1968
103	Brett	10	14.04	braun, Anstrich	79	15	2.5	2963	2840
104	Wandbrett	10	16.27	braun, Anstrich	54	16	2.5	2160	2078
105 a	Fensterrahmen	10	21.87	weiß, braun, Anstrich	55	5	4	1100	1030
105 b				weiß, braun, Farbanstrich	49	4	4	784	816
106	Konterlatte	10	14.29		75	5	3	1125	1230
107	Paneele	10	16.82	weiß, Farbanstrich	208	10	1.5	18720	28884
108	Fenster teil	10	18.82	Lasur	108	8	5	4320	2888
109	Balken	10	16.10		146	12	7	12264	5716
110	Brett	10	16.77	dunkelbraun, Lasur	107	20	3	6420	5042
111	Balken	10	13.48		121	7.5	5	4538	3100
112	Balken	10	17.25		160	14	10	22400	7960
113	Brett, Kantholz	10	12.55		185	5.5	3.5	3561	3369
114	Paneele	10	12.22	hellbraun, Lasur	296	9	1.5	11988	18729
115 a	Brett	10	12.34	hellbraun	221	9.5	3	12597	11164
115 b	Balken				101	8	7.5	6060	3251
116	Bahnschwelle	10	19.14		120	27	15	48600	10890
117	Baumholz	10	10.28		25	6.5	6.5	1056	735

705648 cm²
70.56 m²

gesamtes Holzvolumen: 1459469 cm³
1.46 m³
1459 dm³

Tabelle A 11: Oberflächen und Volumen des Teilsortiments unbehandelte Hölzer

Proben-Nr.	Holz-gegenstand	Anzahl der Bohrungen	Gewicht [g]	Färbung / Farbanstrich	Länge cm	Breite cm	Höhe cm	Volumen cm ³	Fläche cm ²
34	Balken	10	12.61		100	7	3.5	2450	2149
37	Brett	10	12.75		58	13.5	2	1566	1852
40	Brett	10	12.08		52	8.5	4	1768	1368
41	Balken	10	12.50		64	11.5	11.5	8464	3209
42	Brett	10	13.79		75	14	20	21000	5660
45	Brett	10	16.26		114	9	2.5	2565	2667
47	Balken	10	15.50	hellbraun, Lasur	155	8	7	8680	4762
48	Latte	10	14.66		70	5	3.5	1225	1225
49	Latte	10	14.16		132	9	4	4752	3504
50	Brett	10	14.19		84	11	6.5	6006	3083
52	Brett	10	13.25		67	14.2	1.8	1713	2195
53	Paneele	10	9.90		95	9	2	1710	2126
54	Brett	10	9.72	Klarlack	94	19	3	5358	4250
55	Latte	10	10.03		99.5	4	3	1194	1417
58	Latte	11	13.63	Klarlack	65	5.5	4	1430	1279
70	Latte	10	19.17		100	8	5	4000	2680
78	Stammstumpf	10	11.03		20	14	10	2800	1240
83	Balken	10	13.26	hellbraun	212	9	12	22896	9120
84 a	Europalette	10	20.48		120	9	2	17280	21408
84 b					76	9	2	4104	5124
84 c					8	9	11	7128	4662
91	Rauhspund	10	8.36	Lasur	87	10	1.5	1305	2031
93 a	Latte	10	10.37	Lasur	73	8	2.5	1460	1573
93 b					47	8	2.5	940	1027
100	Brett	10	9.19		120	9	2	2160	2676
101	Paneele	10	8.93	Klarlack	133	10	1.5	1995	3089
113	Brett; Kantholz	10	12.55		185	5.5	3.5	3561	3369
117	Baumholz	10	10,28		25	6.5	6.5	1056	735

gesamte Holzfläche:	99479	cm ²	gesamtes Holzvolumen:	140566	cm ³
	9.95	m ²		0.14	m ³
				140	dm ³
% v. d. Gesamtholzfläche:	14.10		% v. d. Gesamtholzvolumen:	9.63	

Tabelle A 12: Oberflächen und Volumen des Teilsortiments organisch belastete Hölzer

Proben-Nr.	Holzgegenstand	Anzahl der Bohrungen	Gewicht [g]	Färbung / Farbanstrich	Länge cm	Breite cm	Höhe cm	Volumen cm ³	Fläche cm ²
9	Möbelstück	10	13.51	braun, Farbanstrich	110	20	2.5	5500	5050
10	Paneele	10	10.81	braun, Farbanstrich	85	11	2	1870	2254
11	Paneele	10	11.86	hellbraun, Lasur	106	9.5	1.2	1208	2291
12	Möbelbrett	10	18.38	braun, Lasur	108	8	2	1728	2192
20	Möbelbrett	10	17.20	braun, Lack	82	9	2.4	1771	1913
21	Paneele	10	12.88	hellbraun, Lack	67	12	9	7236	3030
26	Paneele	10	11.01	braun, Lasur	110	6	1.2	792	1598
29	Rolladen	10	17.81	rot, braun, Lasur	119	4	1.3	9282	19077
30	Fensterrahmen	10	13.91	braun, Lasur	84	5.5	4	1848	1640
33	Balken	10	10.22		80	10	10	8000	3400
35	Latte	10	14.48	braun	80	5	2.5	1000	1225
39	Brett	10	8.76		170	19	3.5	11305	7783
51	Brett	10	11.98	dunkelbraun, Lasur	57	10	5	2850	1810
56	Zaunpfahl	10	15.64	braun	81			3117	1858
57	Latte	10	13.58		94	6	4	2256	1928
59	Zaunpfahl	10	13.73	dunkelbraun, Lasur	50			3041	1504
60	Pfahl	10	10.62	braun, Lasur	72			1145	1050
61	Zaunlatte	10	15.56		93			2337	1963
62	Spanplatte	10	17.71		100	60	2.5	15000	12800
63	Spanplatte	10	21.04	weiß, Kunststoff beschichtet	72	57	2	8208	8724
64	Spanplatte	10	21.49	einseitig mit Tapete beklebt	72	34	2	4896	5320
65	Balken	10	17.97	braun, Lasur	73	10	10	7300	3120
66 a	Balken	10	11,76	braun	183	24	18	79056	16236
66 b	Balken				80	23	18.5	34040	7491
66 c	Balken			braun	140	18.4	23.5	60536	12597
67	Paneele	10	11.75	braun, Lasur	118	8.3	1.5	1469	2338
68	Balken	10	20.76	braun, Lasur	110	9	7.3	7227	3717
69	Balken	10	13.90	braun, Lasur	100	11	9.5	10450	4309
71	Latte	10	13.31	Lasur	141	4.9	2.5	1727	2111
72	Dachbalken	10	10.94		113			14999	4880
73	Paneele	10	13.50	braun, Lasur	96	10	1.5	1440	2238
74	Brett	30	22,90	braun	190	36	7	47880	16844
77	Paneele	10	11.70	hellbraun, Lasur	234	9.5	1.7	3779	5274
80	Balken	10	11.58	einseitig schwarz	262	10	6	15720	8504
82	Zaunpfahl	10	16.81	dunkelbraun	170	10	10	17000	7000
86	Brett	10	15.13		146	16	4	9344	5968
87	Dachbalken	10	16.31	braun, Lasur	140	12	10	16800	6400
89	Balken	10	13.59	braun	170	23.5	18.5	73908	15150
90	Türeinsatz	10	14.97	braun, weiß, Farbanstrich	220	13	12	34320	11312
92	Balken	10	12.59	braun	245	20	10	49000	15100
95 a	Balken	10	13,64	braun	200	23	18	82800	17228
95 b	Balken			braun	190	22	18	75240	15992
95 c	Balken			braun	128	23	18.5	54251	11434
95 d	Balken			braun	133	23	18.5	56592	11890
95 e	Balken				193	12	10	23160	8732
96	Balken	10	10.28	dunkelbraun	230	10	10	23000	9400
97	Brett	10	15.38	hellbraun, Anstrich	266	20	1.5	7980	11498
98	Balken	10	21.46	braun	95.5	9.5	10	9073	3915
103	Brett	10	14.04	braun, Anstrich	79	15	2.5	2963	2840
106	Konterlatte	10	14.29		75	5	3	1125	1230
108	Fensterenteil	10	18.82	Lasur	108	8	5	4320	2888
109	Balken	10	16.10		146	12	7	12264	5716
110	Brett	10	16.77	dunkelbraun, Lasur	107	20	3	6420	5042
111	Balken	10	13.48		121	7.5	5	4538	3100
112	Balken	10	17.25		160	14	10	22400	7960
114	Paneele	10	12.22	hellbraun, Lasur	296	9	1.5	11988	18729
116	Bahnschwelle	10	19.14		120	27	15	48600	10890

gesamte Holzfläche: 387482 cm²
39 m²

gesamtes Holzvolumen: 1027098 cm³
1.03 m³
1027 dm³

% v. d. Gesamtholzfläche: 54.91

% v. d. Gesamtholzvolumen: 70.37

Tabelle A 13: Oberflächen und Volumen des Teilsortiments anorganisch belastete Hölzer

Proben-Nr.	Holz-gegenstand	Anzahl der Bohrungen	Gewicht [g]	Färbung / Farbanstrich	Länge cm	Breite cm	Höhe cm	Volumen cm ³	Fläche cm ²
1	Brett	10	6.66	hellgrün	250	14	7	24500	10696
2	Bett	10	7.07	hellgrün	102	14	3.9	5569	3761
3	Latte	10	9.83	hellgrün	116	5.5	3.5	2233	2127
4	Latte	10	9.84	hellgrün	92	5.5	3.6	1822	1714
5	Latte	10	9.29	hellgrün	102	5.7	3.7	2151	1960
6	Latte	10	8.52	hellgrün	67	5.6	3.6	1351	1273
7	Latte	10	11.34	hellgrün	134	5.5	3.6	2653	2478
8	Spanplatte	10	21.86	hellgrün	72	66.5	2	9549	10103
27	Latte	10	9.62		92	5.5	4	2024	1792
36	Brett	10	10.60		108	7.5	3.5	2835	2429
43	Balken	10	13.45	hellbraun, Lasur	102	11.5	9.5	11144	4503
44	Brett	10	12.24		120	10	2	2400	2920
46	Balken	10	10.60	hellbraun, Lasur	68	9.5	8.5	5491	2610
75	Balkenteil	10	17.67		40	22	2.5	2200	2070
115 a	Brett	10	12.34	hellbraun	221	9.5	3	12597	11164
115 b	Balken				101	8	7.5	6060	3251

gesamte Holzfläche: 64849 cm²
6.48 m²

gesamtes Holzvolumen: 94579 cm³
0.09 m³
95 dm³

% v. d. Gesamtholzfläche: 9.19

% v. d. Gesamtholzvolumen: 6.48

Tabelle A 14: Oberflächen und Volumen des Teilsortiments Hölzer mit Farbanstrich

Proben-Nr.	Holz-gegenstand	Anzahl der Bohrungen	Gewicht [g]	Färbung / Farbanstrich	Länge cm	Breite cm	Höhe cm	Volumen cm ³	Fläche cm ²
13	Möbelstück	10	13.67	weiß, Lack	45	45	2	4050	4410
14	Balken	10	17.74	braun	110	9	9	8910	4122
15	Fensterrahmen	10	18.53	Lasur	110	8	5.5	4840	3058
16	Paneele	10	11.16	braun, Farbanstrich	98	14	2.4	3293	3282
17	Brett	10	13.67	weiß, Farbanstrich	139	6	3	2502	2538
18	Speerholzplatte	10	15.05	weiß, Lack	52	42	1.2	2621	4594
19	Fensterrahmen	10	13.64	braun, Lack	130	5.5	3.5	2503	2379
22	Gartenzaunpforte	10	13.88	grün, Lack	85	7	1.9	3392	4619
23	Paneele	10	11.59	weiß, Lack	120	5	1.5	900	1575
24	Brett	10	10.83	grün, braun, Lack	120	6	2	1440	1944
25	Fensterrahmen	10	18.71	weiß, Farbanstrich	115	5	7	4025	2830
28	Fensterrahmen	10	12.28	weiß, Lack	109	5	6	3270	2458
31	Brett	10	12.18	grün, braun, Lack	175	10	2	3500	4240
32 a	Fensterrahmen	10	14.70	braun, Lack	205	9	4.5	8303	5616
32 b					32	9	4.5	1296	945
38	Balken	10	15.32	weiß, Lack	220	12	9.5	25080	9688
76	Balken	30	30.34		190	14	14	37240	11032
79	Brett	10	16.86	dunkel, Anstrich	165	17.5	2.5	7219	6688
81	Stalltür	10	18.29	einseitig braun, Anstrich	90	82	2	14760	15448
85	Brett	10	16.10	einseitig hellbraun, Lack	307	13	2	7982	9262
88	Balken	10	26.00	weiß, Anstrich	124	9	12	13392	5424
94 a	Tischbeine	10	18.03	hellbraun, Anstrich	75	5	5	3750	3100
94 b				hellbraun, Anstrich	102	12	2	2448	2904
99	Bettbrett	10	14.16	weiß	180	17	2	6120	6908
102	Garderobenbrett	10	22.39	einseitig rot, Farbanstrich	74	11	2	1628	1968
104	Wandbrett	10	16.27	braun,	54	16	2.5	2160	2078
105 a	Fensterrahmen	10	21.87	weiß, braun, Farbanstrich	55	5	4	1100	1030
105 b				weiß, braun, Farbanstrich	49	4	4	784	816
107	Paneele	10	16.82	weiß, Farbanstrich	208	10	1.5	18720	28884

gesamte Holzfläche:	153838	cm ²	gesamtes Holzvolumen:	197226	cm ³
	15.38	m ²		0.20	m ³
				197	dm ³
% v. d. Gesamtholzfläche:	21.80		% v. d. Gesamtholzvolumen:	13.51	

Fortsetzung Tabelle A 16: Gehalte an Organochlorpestizide, PAK, PCN und PCB im Einzelprüfling

Wirkstoff	Gruppe	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
		Konz. [mg/kg]											
1-Chlornaphthalin	CN	0.17	0.01	n.n.	n.n.	n.n.	0.07	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
2-Chlornaphthalin		0.01	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0.01	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
1,2-Dichlornaphthalin		0.03	n.n.										
1,4-Dichlornaphthalin		0.29	0.03	n.n.	0.02	n.n.	0.06	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
1,5-Dichlornaphthalin		0.08	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0.02	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
1,8-Dichlornaphthalin		0.03	n.n.										
2,3-Dichlornaphthalin		n.n.											
Octachlornaphthalin		n.n.											
1,2,3,4-TCN		n.n.											
Summe 9 PCN		0.60	n.n.										
Aldrin	OC	n.n.											
cis-Chlordan		n.n.											
trans-Chlordan		n.n.											
Chlorthalonil		n.n.											
op-DDD		n.n.											
pp-DDD		n.n.											
op-DDE		n.n.											
pp-DDE		n.n.											
op-DDT		n.n.											
pp-DDT		n.n.											
Dichlofuanid		n.n.											
Dieldrin		n.n.											
alpha-Endosulfan		n.n.											
Endrin		n.n.											
HCB		n.n.											
alpha-HCH		n.n.	0.16	n.n.	n.n.								
beta-HCH		n.n.	0.30	n.n.	n.n.								
delta-HCH		n.n.											
epsilon-HCH		n.n.	0.08	n.n.	n.n.								
Heptachlor		n.n.											
alpha-Heptachlorepoxyd		n.n.											
Heptachlorepoxyd		n.n.											
Lindan		0.10	0.14	n.n.	0.13	n.n.	0.09	0.09	n.n.	n.n.	64	n.n.	0.06
op-Methoxychlor		n.n.	0.50	n.n.									
Pentachlorphenol		1.4	0.21	0.15	0.64	0.078	64	410	0.17	16	310	5.5	3.8
2,3,4,6-TCP		0.23	0.063	0.054	0.058	0.009	51	28	0.093	0.40	46	46.4	0.39
Summe 6 DDT			n.n.										
Summe 5 HCH		n.n.	64	n.n.	n.n.	n.n.							
Acenaphthen	PAK	0.16	0.12	0.03	n.n.	n.n.	0.09	n.n.	n.n.	0.04	0.16	n.n.	0.11
Acenaphthylen		0.02	0.01	n.n.									
Anthracen		0.05	n.n.	0.05	0.03	n.n.	0.05	n.n.	n.n.	n.n.	0.20	n.n.	0.06
Benzo(a)anthracen		0.45	1.5	0.03	0.67	n.n.	0.44	n.n.	n.n.	0.13	0.06	0.08	0.04
Benzo(b)fluoranthen		0.09	0.52	0.03	0.42	n.n.	0.14	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Benzo(k)fluoranthen		n.n.	0.11	n.n.	0.10	n.n.							
Benzo(a)pyren		n.n.											
Benzo(ghi)perylene		n.n.	0.06	n.n.	0.05	n.n.							
Chrysen		0.06	0.13	n.n.	0.19	n.n.	0.16	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Dibenzo(ah)anthracen		n.n.											
Naphthalin		0.59	0.11	n.n.	n.n.	n.n.	0.56	n.n.	n.n.	0.03	0.09	n.n.	0.06
Fluoranthen		1.40	2.12	0.44	1.6	0.08	2.3	n.n.	n.n.	0.38	1.1	0.67	0.28
Fluoren		0.22	0.21	0.06	0.06	n.n.	0.13	n.n.	n.n.	0.09	0.71	n.n.	0.18
Indeno(1,2,3-cd)pyren		n.n.											
Phenanthren		2.8	2.8	0.68	1.86	0.16	1.9	n.n.	0.06	0.64	3.5	0.55	0.95
Pyren		0.85	5.7	0.22	1.61	n.n.	0.96	n.n.	n.n.	0.19	0.55	0.23	0.14
Summe 16 PAK		6.7	13	1.6	6.6	n.n.	6.7	n.n.	n.n.	1.5	6.1	1.5	1.8
PCB 28	PCB	n.n.											
PCB 52		n.n.	0.20	n.n.									
PCB 101		n.n.	2.0	n.n.	n.n.	0.11	0.35	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0.40	n.n.
PCB 138		n.n.	4.9	n.n.	n.n.	0.40	0.71	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	2.5	n.n.
PCB 153		n.n.	8.0	n.n.	n.n.	0.58	0.98	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	4.0	n.n.
PCB 180		n.n.	2.1	n.n.	n.n.	0.35	0.53	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	2.9	n.n.
Summe 6 PCB		n.n.	17	n.n.	n.n.	1.4	2.6	n.n.	n.n.	n.n.	9.8	n.n.	n.n.

Fortsetzung Tabelle A 16: Gehalte an Organochlorpestizide, PAK, PCN und PCB im Einzelprüfling

Wirkstoff	Gruppe	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
		Konz. [mg/kg]												
1-Chlornaphthalin	CN	n.n.	n.n.	n.n.	0.02	n.n.	0.04	n.n.	n.n.	0.01	n.n.	n.n.	n.n.	
2-Chlornaphthalin		n.n.												
1,2-Dichlornaphthalin		n.n.												
1,4-Dichlornaphthalin		n.n.	n.n.	n.n.	0.04	n.n.								
1,5-Dichlornaphthalin		n.n.												
1,8-Dichlornaphthalin		n.n.												
2,3-Dichlornaphthalin		n.n.												
Octachlornaphthalin		n.n.												
1,2,3,4-TCN		n.n.												
Summe 9 PCN		n.n.												
Aldrin	OC	n.n.												
cis-Chlordan		n.n.												
trans-Chlordan		n.n.												
Chlorthalonil		n.n.												
op-DDD		n.n.												
pp-DDD		n.n.												
op-DDE		n.n.												
pp-DDE		n.n.												
op-DDT		n.n.												
pp-DDT		n.n.												
Dichlofluamid		n.n.												
Dieldrin		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0.35	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	
alpha-Endosulfan		n.n.												
Endrin		n.n.												
HCB		n.n.												
alpha-HCH		n.n.												
beta-HCH		n.n.												
delta-HCH		n.n.												
epsilon-HCH		n.n.												
Heptachlor		n.n.												
alpha-Heptachlorepoxyd		n.n.												
Heptachlorepoxyd		n.n.												
Lindan		n.n.	n.n.	n.n.	0.17	n.n.	0.14	n.n.	5.6	0.18	0.040	n.n.	n.n.	
op-Methoxychlor		n.n.	30	n.n.	n.n.	n.n.								
Pentachlorphenol		0.13	1.5	0.25	57	77	68	0.39	144	0.86	0.24	0.24	0.16	
2,3,4,6-TCP		0.045	0.090	0.029	1.5	18	4.0	0.092	13	0.11	0.010	0.031	0.040	
Summe 6 DDT		n.n.												
Summe 5 HCH	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	5.6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.		
Acenaphthen	PAK	n.n.	n.n.	0.07	0.04	n.n.	0.24	0.05	n.n.	0.05	n.n.	0.04	0.28	
Acenaphthylen		n.n.												
Anthracen		n.n.	n.n.	0.08	0.03	n.n.	0.03	0.04	n.n.	0.15	0.03	0.05	0.15	
Benzo(a)anthracen		0.03	0.03	0.06	0.10	0.05	0.06	n.n.	0.12	0.27	0.07	0.07	0.07	
Benzo(b)fluoranthren		n.n.	n.n.	0.06	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0.19	n.n.	0.13	0.05	
Benzo(k)fluoranthren		n.n.	0.08	n.n.	n.n.	n.n.								
Benzo(a)pyren		n.n.												
Benzo(ghi)perylene		n.n.												
Chrysen		0.03	n.n.	0.03	n.n.	0.03	n.n.	n.n.	0.03	0.22	n.n.	0.04	0.06	
Dibenzo(ab)anthracen		n.n.												
Naphthalin		n.n.	n.n.	n.n.	0.01	n.n.	0.10	0.01	n.n.	n.n.	n.n.	0.02	0.06	
Fluoranthren		0.20	0.20	0.81	0.52	0.34	0.45	0.38	0.50	1.2	0.56	0.30	1.4	
Fluoren		n.n.	n.n.	0.20	0.09	n.n.	0.24	0.10	n.n.	0.15	n.n.	0.05	0.30	
Indeno(1,2,3-cd)pyren		n.n.												
Phenaanthren		0.24	0.18	1.3	1.1	0.18	1.1	0.67	0.35	2.3	0.57	0.37	1.5	
Pyren		0.14	0.11	0.41	0.22	0.19	0.17	0.16	0.24	0.74	0.28	0.18	0.84	
Summe 16 PAK		0.65	n.n.	3.0	2.1	0.79	2.4	1.4	1.2	5.3	1.5	1.2	4.7	
PCB 28		PCB	n.n.											
PCB 52			n.n.											
PCB 101	n.n.		n.n.	n.n.	0.12	n.n.								
PCB 138	n.n.		n.n.	n.n.	0.16	n.n.	n.n.	n.n.	0.19	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	
PCB 153	n.n.		n.n.	n.n.	0.21	n.n.	n.n.	n.n.	0.27	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	
PCB 180	n.n.		n.n.	n.n.	0.09	n.n.	n.n.	n.n.	0.15	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	
Summe 6 PCB	n.n.	n.n.	n.n.	0.58	n.n.	n.n.	n.n.	0.62	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.		

Fortsetzung Tabelle A 16: Gehalte an Organochlorpestizide, PAK, PCN und PCB im Einzelprüfling

Wirkstoff	Gruppe	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	
		Konz. [mg/kg]												
1-Chlornaphthalin	CN	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0.01	0.03	n.n.	n.n.	n.n.	0.01	n.n.	
2-Chlornaphthalin		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0.02	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	
1,2-Dichlornaphthalin		n.n.												
1,4-Dichlornaphthalin		n.n.	0.12	n.n.										
1,5-Dichlornaphthalin		n.n.	0.02	n.n.										
1,8-Dichlornaphthalin		n.n.												
2,3-Dichlornaphthalin		n.n.												
Octachlornaphthalin		4.4	n.n.											
1,2,3,4-TCN		n.n.												
Summe 9 PCN		4.4	n.n.											
Aldrin		OC	n.n.	n.n.										
cis-Chlordan	n.n.		n.n.											
trans-Chlordan	n.n.		n.n.											
Chlorthalonil	n.n.		n.n.											
op-DDD	n.n.		n.n.											
pp-DDD	n.n.		n.n.	0.65										
op-DDE	n.n.		n.n.											
pp-DDE	n.n.		n.n.	n.n.	0.08	n.n.	n.n.	0.10	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	
op-DDT	n.n.		n.n.	1.1										
pp-DDT	n.n.		n.n.											
Dichlfluamid	n.n.		n.n.											
Dieldrin	n.n.		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0.40	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	
alpha-Endosulfan	n.n.		n.n.											
Endrin	n.n.		n.n.											
HCB	n.n.		n.n.											
alpha-HCH	n.n.		n.n.	n.n.	n.n.	3.8	n.n.							
beta-HCH	n.n.		n.n.	n.n.	n.n.	9.4	n.n.	12	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	
delta-HCH	n.n.		n.n.	n.n.	n.n.	3.4	n.n.							
epsilon-HCH	n.n.		n.n.											
Heptachlor	n.n.		n.n.											
alpha-Heptachlorepoxyd	n.n.		n.n.											
Heptachlorepoxyd	n.n.		n.n.											
Lindan	n.n.		n.n.	0.23	n.n.	8.0	n.n.	11	n.n.	3.9	0.036	n.n.	n.n.	
op-Methoxychlor	n.n.		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0.07	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	
Pentachlorphenol	0.16		4.2	4.9	4.8	220	0.051	0.32	1.5	830	0.39	0.38	0.18	
2,3,4,6-TCP	<0,1		<0,005	2.3	<0,005	10	0.021	0.033	0.12	84	0.054	0.39	0.034	
Summe 6 DDT	n.n.		n.n.	n.n.	0.08	n.n.	1.8							
Summe 5 HCH	n.n.	n.n.	0.23	n.n.	25	n.n.	23	n.n.	3.9	n.n.	n.n.	n.n.		
Acenaphthen	PAK	514	n.n.	0.39	0.56	n.n.	0.14	0.71	0.13	0.05	0.03	0.07	n.n.	
Acenaphthylen		4.0	n.n.	0.01	0.01	n.n.	0.02	0.01	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	
Anthracen		454	0.22	0.10	0.63	34	0.17	0.53	0.06	0.10	0.05	0.04	0.03	
Benzo(a)anthracen		1708	1.3	0.09	2.7	11	0.31	0.76	0.06	0.11	0.04	0.06	0.04	
Benzo(b)fluoranthen		1413	1.1	n.n.	1.41	7.6	0.18	0.24	0.05	0.07	n.n.	n.n.	n.n.	
Benzo(k)fluoranthen		484	0.38	n.n.	0.71	2.4	0.06	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	
Benzo(a)pyren		647	0.35	n.n.	0.41	0.88	0.06	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	
Benzo(ghi)perylene		216	0.11	n.n.	0.15	0.37	n.n.							
Chrysen		1353	3.7	0.09	2.1	6.4	0.24	0.25	0.05	0.06	n.n.	0.04	n.n.	
Dibenzo(ah)anthracen		83	0.06	n.n.	0.06	n.n.								
Naphthalin		2.29	n.n.	0.09	0.09	n.n.	0.03	0.18	0.01	0.01	n.n.	0.04	n.n.	
Fluoranthen		7415	12	0.76	13	79	0.81	4.6	0.29	1.8	0.29	0.35	0.51	
Fluoren		1614	n.n.	0.43	1.09	n.n.	0.18	1.33	0.18	0.09	0.10	0.11	n.n.	
Indeno(1,2,3-cd)pyren		273	0.17	n.n.	0.16	0.79	n.n.							
Phenanthren		9129	3.0	2.2	8.4	33	1.5	4.9	0.66	2.6	0.52	0.61	0.56	
Pyren		4000	7.7	0.39	8.6	29	0.60	2.5	0.17	0.50	0.15	0.16	0.18	
Summe 16 PAK		29308	30	4.5	40	204	4.3	16	1.7	5.44	1.2	1.5	1.3	
PCB 28		PCB	n.n.	0.62	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.						
PCB 52			n.n.	n.n.										
PCB 101			n.n.	n.n.										
PCB 138	n.n.		n.n.											
PCB 153	n.n.		n.n.											
PCB 180	4.6		n.n.											
Summe 6 PCB	4.6	n.n.	0.62	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.							

Fortsetzung Tabelle A 16: Gehalte an Organochlorpestizide, PAK, PCN und PCB im Einzelprüfling

Wirkstoff	Gruppe	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	
		Konz. [mg/kg]												
1-Chlornaphthalin	CN	0.01	0.02	n.n.	n.n.	n.n.	0.01	n.n.	0.01	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	
2-Chlornaphthalin		n.n.	n.n.	n.n.	0.01	n.n.								
1,2-Dichlornaphthalin		n.n.												
1,4-Dichlornaphthalin		n.n.	0.03	n.n.	0.03	n.n.	n.n.	n.n.	0.02	n.n.	12	n.n.	n.n.	
1,5-Dichlornaphthalin		n.n.	3.4	n.n.	n.n.									
1,8-Dichlornaphthalin		n.n.												
2,3-Dichlornaphthalin		n.n.												
Octachlornaphthalin		n.n.												
1,2,3,4-TCN		n.n.												
Summe 9 PCN			n.n.	15	n.n.	n.n.								
Aldrin		OC	n.n.											
cis-Chlordan	n.n.		n.n.											
trans-Chlordan	n.n.		n.n.											
Chlorthalonil	n.n.		n.n.											
op-DDD	n.n.		n.n.											
pp-DDD	n.n.		n.n.											
op-DDE	n.n.		n.n.											
pp-DDE	n.n.		n.n.											
op-DDT	n.n.		n.n.	22	n.n.									
pp-DDT	n.n.		n.n.	84	n.n.									
Dichlofluanid	n.n.		n.n.											
Dieldrin	n.n.		n.n.											
alpha-Endosulfan	n.n.		n.n.											
Endrin	n.n.		n.n.											
HCB	n.n.		n.n.											
alpha-HCH	n.n.		n.n.	0.13	n.n.	n.n.	n.n.							
beta-HCH	n.n.		n.n.	154	n.n.	n.n.	n.n.							
delta-HCH	n.n.		n.n.	0.13	n.n.	n.n.	n.n.							
epsilon-HCH	n.n.		n.n.											
Heptachlor	n.n.		n.n.											
alpha-Heptachlorepoxyd	n.n.		n.n.											
Heptachlorepoxyd	n.n.		n.n.											
Lindan	n.n.		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0.12	0.037	77	0.061	n.n.	n.n.	
op-Methoxychlor	n.n.		n.n.	31	n.n.									
Pentachlorphenol	0.18		1.1	0.16	23	0.022	0.12	0.83	3.5	0.23	0.12	0.11	0.026	
2,3,4,6-TCP	0.049		0.031	0.040	2.8	<0,005	0.051	0.34	0.19	0.030	0.023	0.034	0.028	
Summe 6 DDT			n.n.	106	n.n.	n.n.								
Summe 5 HCH			n.n.	231	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.						
Acenaphthen	PAK		0.04	0.23	n.n.	0.09	n.n.	0.09	0.10	0.17	0.11	18	n.n.	n.n.
Acenaphthylen			n.n.	0.01	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0.01	0.01	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Anthracen			n.n.	0.06	n.n.	0.04	0.04	0.07	0.07	0.32	0.25	17	0.17	0.18
Benzo(a)anthracen			0.11	0.06	0.11	n.n.	0.38	0.39	0.38	0.08	0.16	162	0.32	0.54
Benzo(b)fluoranthen			n.n.	n.n.	0.10	n.n.	0.27	0.20	0.19	0.05	0.07	34	n.n.	0.34
Benzo(k)fluoranthen		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0.09	0.07	0.07	n.n.	n.n.	9.0	n.n.	0.12	
Benzo(a)pyren		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0.09	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0.10	
Benzo(ghi)perylene		n.n.	0.07											
Chrysen		n.n.	0.04	0.06	0.15	0.29	0.20	0.19	0.05	0.08	49	0.16	0.35	
Dibenzo(ah)anthracen		n.n.												
Naphthalin		0.03	0.01	n.n.	0.04	n.n.	0.01	0.02	0.03	n.n.	2.4	n.n.	n.n.	
Fluoranthen		0.29	0.41	0.33	1.1	1.1	1.2	1.2	0.57	2.0	409	0.79	2.3	
Fluoren		0.06	0.23	n.n.	0.15	n.n.	0.15	0.16	0.28	0.54	32	n.n.	0.11	
Indeno(1,2,3-cd)pyren		n.n.												
Phenanthren		0.41	1.13	n.n.	2.9	0.66	1.5	1.6	3.7	3.6	440	1.3	1.5	
Pyren		0.13	0.23	0.17	0.91	0.62	0.72	0.71	0.31	0.88	190	0.37	1.3	
Summe 16 PAK			1.1	2.4	0.78	5.5	3.5	4.7	4.7	5.5	7.8	1363	3.1	7.0
PCB 28		PCB	n.n.	0.03	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.						
PCB 52			n.n.											
PCB 101			n.n.											
PCB 138	n.n.		n.n.	28	n.n.									
PCB 153	n.n.		n.n.	42	n.n.									
PCB 180	n.n.		n.n.	15	n.n.									
Summe 6 PCB		n.n.	0.03	n.n.	85	n.n.	n.n.							

Fortsetzung Tabelle A 16: Gehalte an Organochlorpestizide, PAK, PCN und PCB im Einzelprüfling

Wirkstoff	Gruppe	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	
		Konz. [mg/kg]												
1-Chlornaphthalin	CN	n.n.	1.08	n.n.	n.n.									
2-Chlornaphthalin		n.n.	0.08	n.n.	n.n.									
1,2-Dichlornaphthalin		n.n.	0.58	n.n.	n.n.									
1,4-Dichlornaphthalin		n.n.	n.n.	n.n.	0.03	n.n.	n.n.	0.03	0.02	n.n.	n.n.	3.6	n.n.	n.n.
1,5-Dichlornaphthalin		n.n.	0.03	1.1	n.n.	n.n.								
1,8-Dichlornaphthalin		n.n.	1.2	n.n.	n.n.									
2,3-Dichlornaphthalin		n.n.	0.07	n.n.	n.n.									
Octachlornaphthalin		n.n.	n.n.											
1,2,3,4-TCN		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0.27	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Summe 9 PCN		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0.27	n.n.	n.n.	n.n.	7.7	n.n.	n.n.
Aldrin	OC	n.n.												
cis-Chlordan		n.n.	n.n.											
trans-Chlordan		n.n.	n.n.											
Chlorthalonil		n.n.	n.n.											
op-DDD		n.n.	n.n.											
pp-DDD		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	15	n.n.	n.n.	1.8	n.n.	n.n.	n.n.
op-DDE		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	3.8	n.n.	n.n.	0.36	n.n.	n.n.	n.n.
pp-DDE		n.n.	n.n.											
op-DDT		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	8.7	n.n.	n.n.	2.2	n.n.	n.n.	n.n.
pp-DDT		n.n.	n.n.											
Dichlofluuanid		n.n.	n.n.											
Dieldrin		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0.39	n.n.	n.n.	0.15	n.n.	n.n.	n.n.
alpha-Endosulfan		n.n.	n.n.											
Endrin		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	3.8	n.n.	n.n.	0.55	n.n.	n.n.	n.n.
HCB		n.n.	n.n.											
alpha-HCH		n.n.	23	n.n.	n.n.									
beta-HCH		n.n.	0.88	n.n.	10	n.n.	n.n.							
delta-HCH		n.n.	6.0	n.n.	n.n.									
epsilon-HCH		n.n.	3.4	n.n.	n.n.									
Heptachlor		n.n.	n.n.											
alpha-Heptachlorepoxyd		n.n.	n.n.											
Heptachlorepoxyd		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	4.1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Lindan		n.n.	0.64	0.20	0.21	0.10	2.0	0.09	0.36	0.51	52	n.n.	n.n.	n.n.
op-Methoxychlor		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0.98	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Pentachlorphenol		0.053	45	2.4	0.27	0.33	0.20	0.51	0.70	0.53	890	0.088	0.25	
2,3,4,6-TCP		0.023	2.4	0.13	0.041	0.074	0.020	0.10	0.043	0.067	120	0.16	0.060	
Summe 6 DDT		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	27	n.n.	n.n.	4.4	n.n.	n.n.	n.n.
Summe 5 HCH		n.n.	0.64	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	2.0	n.n.	1.2	0.51	94	n.n.	n.n.
Acenaphthen		PAK	0.06	n.n.	n.n.	0.05	n.n.	n.n.	0.18	n.n.	n.n.	0.09	n.n.	0.05
Acenaphthylen			n.n.	0.70	n.n.	n.n.								
Anthracen	0.10		2.8	0.10	0.28	0.10	n.n.	0.10	0.04	n.n.	0.07	n.n.	0.11	
Benzo(a)anthracen	0.46		19	0.17	0.15	0.03	n.n.	0.24	0.64	n.n.	0.13	0.03	0.12	
Benzo(b)fluoranthen	0.40		9.9	0.05	0.08	n.n.	1.7	0.14	0.40	n.n.	0.22	n.n.	0.11	
Benzo(k)fluoranthen	0.11		2.7	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0.09	n.n.	0.19	n.n.	n.n.	
Benzo(a)pyren	0.05		2.0	n.n.	0.10	n.n.	0.05							
Benzo(ghi)perylene	0.07		1.3	n.n.										
Chrysen	0.19		6.5	0.04	0.09	n.n.	14	0.06	0.12	2.5	0.04	n.n.	0.09	
Dibenzo(ah)anthracen	n.n.		n.n.											
Naphthalin	0.01		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0.01	0.01	n.n.	0.05	0.01	0.02	
Fluoranthen	1.1		76	1.1	1.62	0.53	n.n.	2.1	1.6	n.n.	0.84	0.12	0.44	
Fluoren	0.12		0.18	0.06	0.23	0.07	n.n.	0.23	0.06	n.n.	0.18	0.06	0.12	
Indeno(1,2,3-cd)pyren	n.n.		1.5	n.n.										
Phenanthren	1.4		44	1.7	2.1	0.82	n.n.	3.0	1.6	n.n.	5.6	0.29	0.77	
Pyren	0.64		47	0.51	0.76	0.25	0.16	0.72	0.68	n.n.	0.34	0.07	0.24	
Summe 16 PAK	4.6	214	3.8	5.4	1.8	16	6.8	5.2	2.5	7.8	n.n.	2.1		
PCB 28	PCB	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0.45	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	
PCB 52		n.n.												
PCB 101		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1.3	n.n.	n.n.	0.14	n.n.	n.n.	
PCB 138		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	23	n.n.	0.07	3.4	n.n.	n.n.	
PCB 153		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0.20	n.n.	0.08	n.n.	n.n.	n.n.	
PCB 180		n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0.34	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	
Summe 6 PCB	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	26	n.n.	n.n.	3.6	n.n.	n.n.		

9.3.3.1.3 Spannweiten der Gehalte an As, Cd, Cr, F, Hg, Pb, Sn, Zn, TCP und Lindan

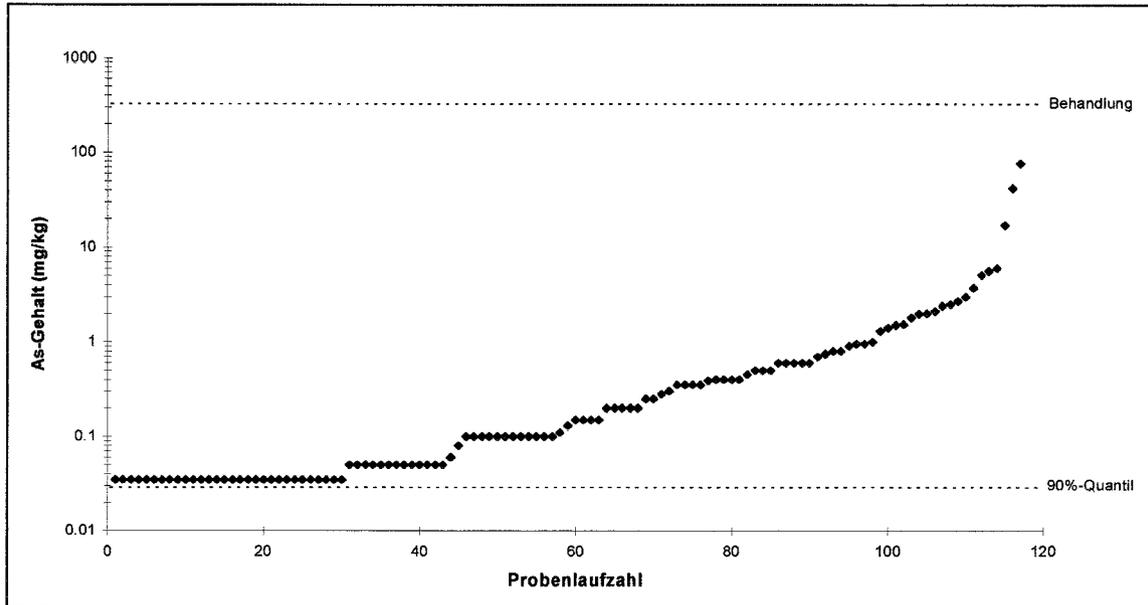


Abbildung A 1: Spannweite der Arsen-Gehalte des untersuchten Altholzmischsortiments
naturbelassenes Holz: < 0,05 - 0,3 mg/kg
behandeltes Holz mit Auswaschung: 340 - 4760 mg/kg
behandeltes Holz: 430 - 5950 mg/kg

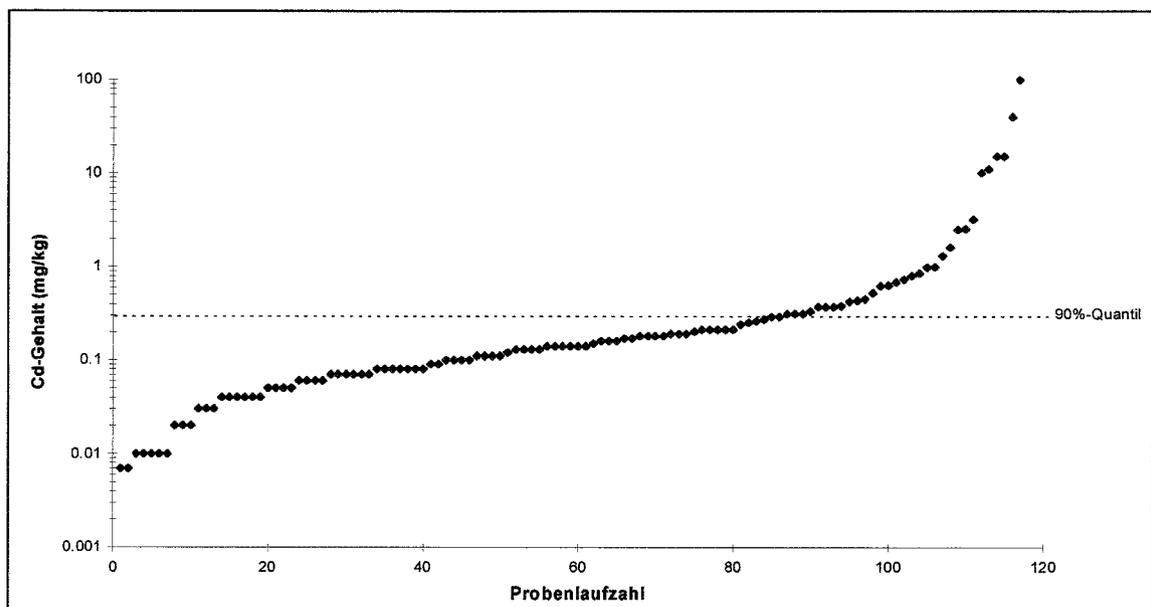


Abbildung A 2: Spannweite der Cadmium-Gehalte des untersuchten Altholzmischsortiments
naturbelassenes Holz: < 0,01 - 0,3 mg/kg
behandeltes Holz mit Auswaschung: k.A.
behandeltes Holz: k.A.

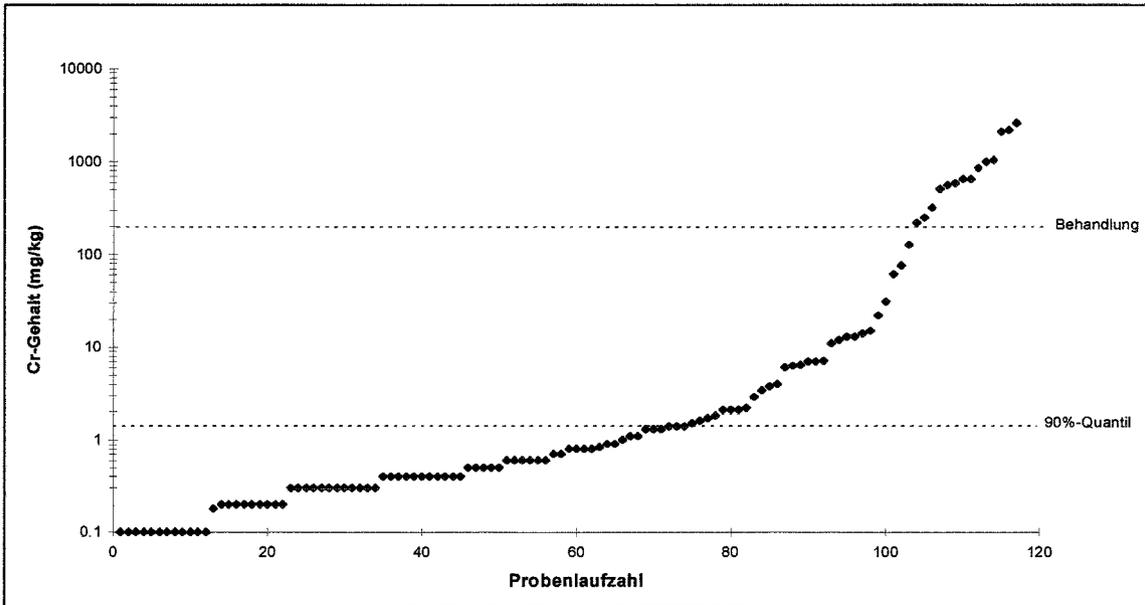


Abbildung A 3: Spannweite der Chrom-Gehalte des untersuchten Altholzmischsortiments

naturbelassener Holz: 0,1 - 1,2 mg/kg
behandeltes Holz mit Auswaschung: 110 - 5750 mg/kg
behandeltes Holz: 120 - 6050 mg/kg

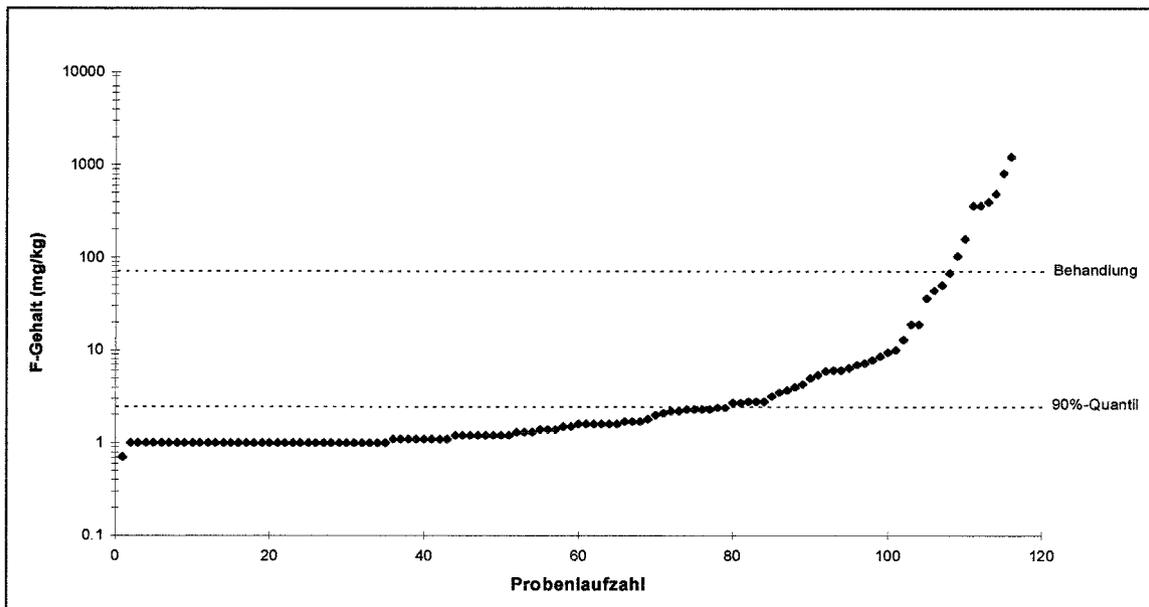


Abbildung A 4: Spannweite der Fluorid-Gehalte des untersuchten Altholzmischsortiments

naturbelassener Holz: 1 - 3 mg/kg
behandeltes Holz mit Auswaschung: 68 - 7460 mg/kg
behandeltes Holz: 170 - 9950 mg/kg

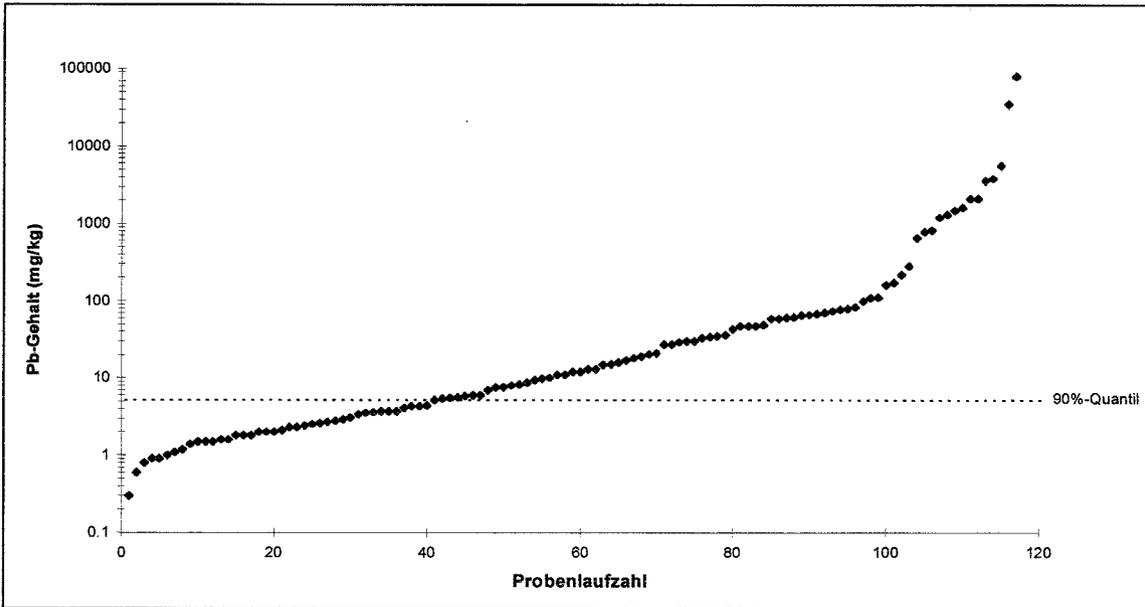


Abbildung A 5: Spannweite der Blei-Gehalte des untersuchten Altholzmischsortiments

naturbelassenes Holz: 0.3 - 10 mg/kg
behandeltes Holz mit Auswaschung: k.A.
behandeltes Holz: k.A

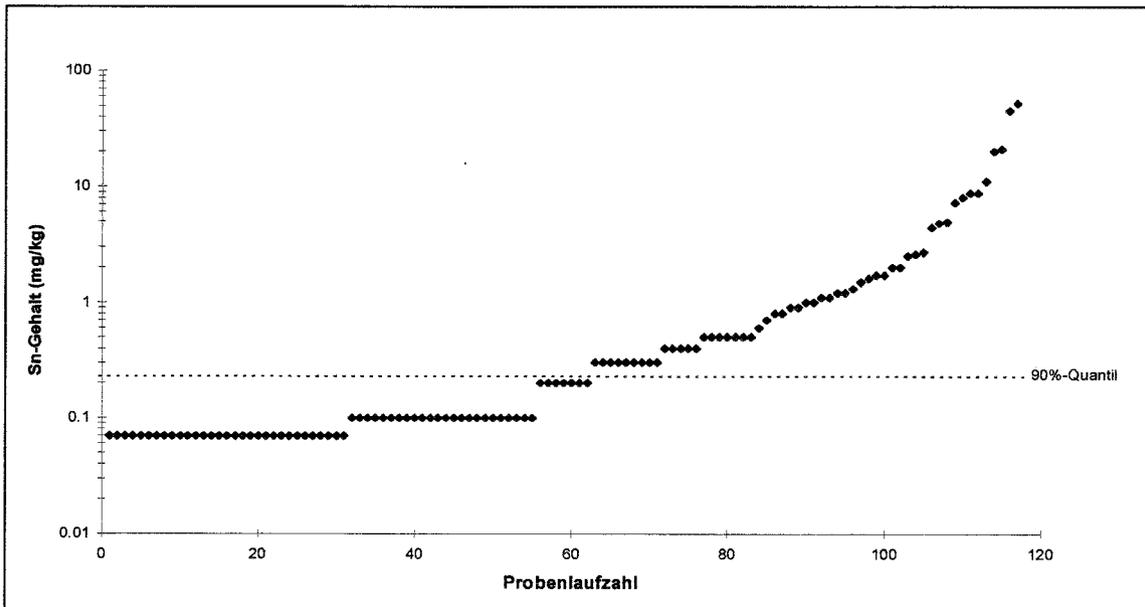


Abbildung A 6: Spannweite der Zinn-Gehalte des untersuchten Altholzmischsortiments

naturbelassenes Holz: <0,1 - 0,3 mg/kg
behandeltes Holz mit Auswaschung: k.A.
behandeltes Holz: k.A.

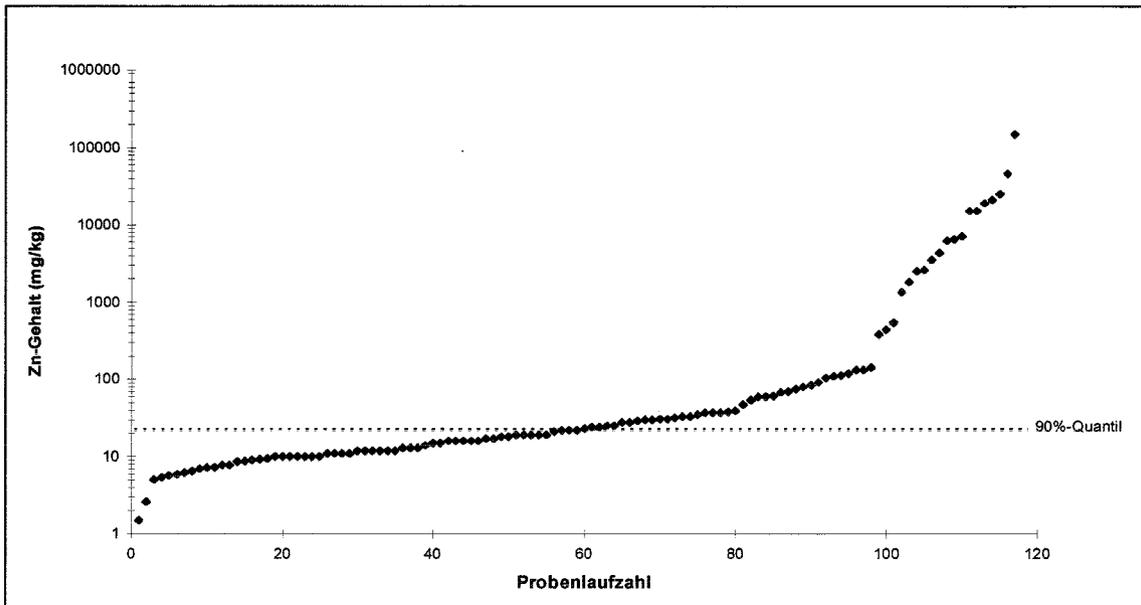


Abbildung A 7: Spannweite der Zink-Gehalte des untersuchten Altholzmischsortiments

naturbelassenes Holz: 2,6 - 25 mg/kg
behandeltes Holz mit Auswaschung: k.A.
behandeltes Holz: k.A.

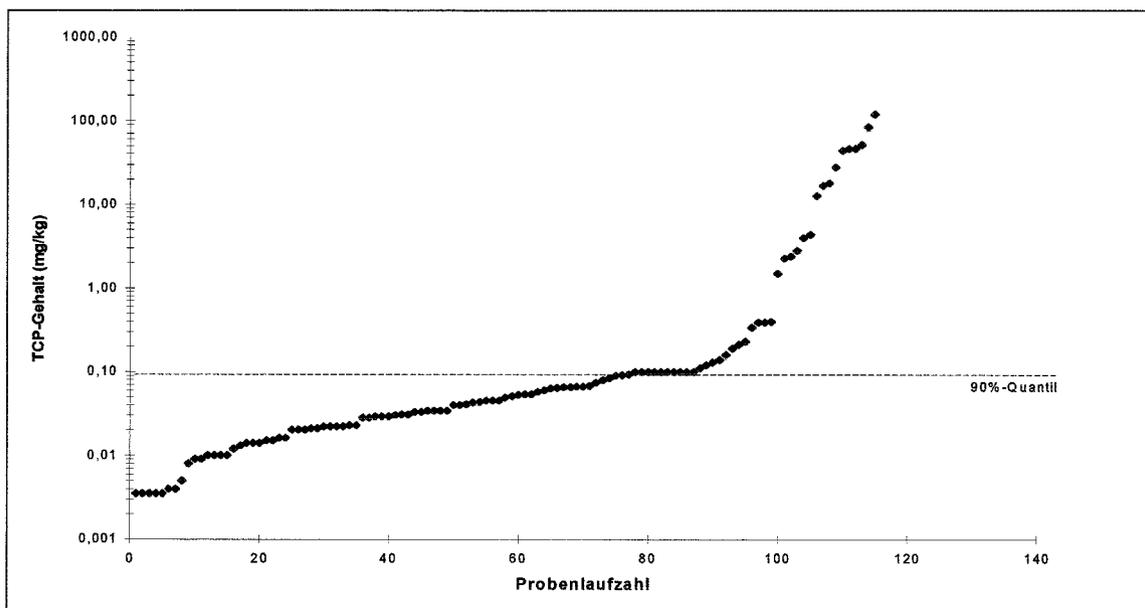


Abbildung A 8: Spannweite der TCP-Gehalte des untersuchten Altholzmischsortiments

Tabelle A 17: Bestimmung des Feuchtegehaltes der Einzelprüflinge

Proben Nr.	Probe FG g	Probe TG g	Feuchte %
1	1.2586	1.1540	8.3
2	1.1805	1.0868	7.9
3	1.1552	1.0517	9.0
4	1.2423	1.1368	8.5
5	1.2572	1.1504	8.5
6	1.2374	1.0618	14.2
7	1.2582	1.1456	8.9
8	1.1213	1.0234	8.7
9	1.2863	1.1722	8.9
10	1.1643	1.0585	9.1
11	1.0897	0.9947	8.7
12	1.2185	1.1234	7.8
13	1.2564	1.1686	7.0
14	1.1215	1.0574	5.7
15	1.2200	1.1125	8.8
16	1.1489	1.0560	8.1
17	1.1589	1.0599	8.5
18	1.2378	1.1462	7.4
19	1.1853	1.1027	7.0
20	1.2677	1.1709	7.6
21	1.2014	1.0907	9.2
22	1.2105	1.1164	7.8
23	1.0857	1.0138	6.6
24	1.0791	1.0014	7.2
25	1.1403	1.0498	7.9
26	1.0876	1.0079	7.3
27	1.1915	1.0970	7.9
28	1.3138	1.2172	7.4
29	1.2015	1.1211	6.7
30	1.1004	1.0115	8.1
31	1.2359	1.1482	7.1
32	1.2090	1.1250	6.9
33	1.1190	1.0276	8.2
34	1.0862	0.9937	8.5
35	1.0828	0.9877	8.8
36	1.3074	1.2072	7.7
37	1.0671	0.9691	9.2
38	1.3522	1.2468	7.8
39	1.2026	1.0994	8.6
40	1.0430	0.9453	9.4
41	1.1361	1.0382	8.6
42	1.1016	0.9975	9.4
43	1.1483	1.0492	8.6
44	1.1775	1.0752	8.7
45	1.1226	1.0262	8.6
46	1.1451	1.0352	9.6
47	1.0603	0.9576	9.7
48	1.0977	1.0034	8.6
49	1.1440	1.0307	9.9
50	1.1367	1.0234	10.0
51	1.1232	1.0317	8.1
52	1.1583	1.0504	9.3
53	1.1274	1.0213	9.4
54	1.1388	1.0335	9.2
55	1.2629	1.1464	9.2
56	1.2120	1.0827	10.7
57	1.1531	1.0603	8.0
58	1.1659	1.0597	9.1
59	1.1866	1.0797	9.0

Proben Nr.	Probe FG g	Probe TG g	Feuchte %
60	1.2439	1.1383	8.5
61	1.3306	1.1757	11.6
62	1.221	1.0812	11.4
63	1.2494	1.15	8.0
64	1.4103	1.29	8.5
65	1.3202	1.2202	7.6
66	1.6037	1.4613	8.9
67	1.1885	1.0867	8.6
68	1.2389	1.1388	8.1
69	1.2329	1.1391	7.6
70	1.1772	1.0707	9.0
71	1.1212	1.0346	7.7
72	1.0829	0.9982	7.8
73	1.1148	1.0226	8.3
74	1.4259	1.3044	8.5
75	1.1535	1.0564	8.4
76	1.2721	1.1683	8.2
77	1.1631	1.0821	7.0
78	1.1482	1.0539	8.2
79	1.2207	1.1229	8.0
80	1.1638	1.0616	8.8
81	1.2611	1.1675	7.4
82	1.1489	1.0421	9.3
83	1.1475	1.0468	8.8
84	1.1039	1.0136	8.2
85	1.3458	1.2311	8.5
86	1.3066	1.1859	9.2
87	1.1535	1.0531	8.7
88	1.284	1.213	5.5
89	1.1632	1.0741	7.7
90	1.2705	1.1669	8.2
91	1.1392	1.0372	9.0
92	1.2012	1.095	8.8
93	1.0473	0.9147	12.7
94	1.2682	1.1662	8.0
95	1.1609	1.0678	8.0
96	1.2604	1.1575	8.2
97	1.2531	1.1568	7.7
98	1.2597	1.1544	8.4
99	1.2014	1.1156	7.1
100	1.2813	1.1802	7.9
101	1.0934	1.0042	8.2
102	1.1327	1.0362	8.5
103	1.1381	1.0426	8.4
104	1.1862	1.0936	7.8
105	1.3234	1.2153	8.2
106	1.1679	1.0735	8.1
107	1.1003	1.0049	8.7
108	1.18001	1.0647	9.8
109	1.1662	1.0684	8.4
110	1.3227	1.2058	8.8
111	1.1284	1.0305	8.7
112	1.1186	1.0179	9.0
113	1.0921	0.9946	8.9
114	1.1195	1.029	8.1
115	1.1503	1.0564	8.2
116	1.0883	0.9217	15.3
117	0.663	0.6119	7.7

FG: Feuchtwicht
TG: Trockengewicht

Statistische Auswertung	Feuchte
arithmetischer Mittelwert (%)	8.53
Standardabweichung (%)	1.29
Variationskoeffizient (%)	0.15

Tabelle A 18: Trockengewichtsbestimmung der Untersortimente

Proben-Nr.	Probe FG g	Probe TG g	Probe Feuchte %
Anorganisch belastetes Untersortiment			
I	1.2918	1.1587	10.3
II	1.6221	1.4717	9.3
III	1.4208	1.2941	8.9
Mittelwert	1.44	1.31	9.5
Standardabweichung	0.17	0.16	0.72
Variationskoeffizient	0.12	0.12	0.08
Unbehandeltes Untersortiment			
I	1.2428	1.1323	8.9
II	1.4021	1.2746	9.1
III	1.3521	1.2324	8.9
Mittelwert	1.33	1.21	8.9
Standardabweichung	0.08	0.07	0.13
Variationskoeffizient	0.06	0.06	0.01
Organisch belastetes Untersortiment			
I	1.1287	0.9711	14.0
II	1.2790	1.1661	8.8
III	1.6916	1.5460	8.6
Mittelwert	1.37	1.23	10.5
Standardabweichung	0.29	0.29	3.03
Variationskoeffizient	0.21	0.24	0.29
Untersortiment mit Farbanstrich			
I	1.6058	1.4572	9.3
II	1.0102	0.8715	13.7
III	1.6280	1.4760	9.3
Mittelwert	1.41	1.27	10.8
Standardabweichung	0.35	0.34	2.56
Variationskoeffizient	0.25	0.27	0.24

9.3.3.2 Vergleich Einzelprüfung mit Schredderuntersortimenten
9.3.3.2.1 Vergleich der Wirkstoff-Elementgehalte

Sorti- ment	Ort	M (kg)	PAK		PCP		As		B		Cd		Cr		Cu		F		Pb		Sn		Zn	
			E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S	E	S
A (43 kg) 43 % Oberfl. A.d.P. 15	Oberfläche (beprob.) Kern (Grundbel.) Summe	18,4 24,6	33,44		2,58		5,72		329		3,37		2908		649		6119		371		7,11		216	
			(1,82)		(0,14)		(0,31)		(17,90)		(0,18)		(158)		(35,27)		(20,16)		(333)		(0,39)		(11,39)	
F (96 kg) 45 % Oberfl. A.d.P. 26	Oberfläche (beprob.) Kern (Grundbel.) Summe	43,6 52,4	837		464		124		210		165		1190		222		203		112663		63,10		272744	
			(19,02)		(10,54)		(2,82)		(4,77)		(3,75)		(27,04)		(5,04)		(4,61)		(2560)		(1,43)		(6199)	
O (494 kg) 22 % Oberfl. A.d.P. 51	Oberfläche (beprob.) Kern (Grundbel.) Summe	110 384	174292		2966		79,57		707		18,41		488		508		599		1915		360		9520	
			(1584)		(26,96)		(0,72)		(6,43)		(4,44)		(0,17)		(4,44)		(4,62)		(5,44)		(3,27)		(86,54)	
U (67 kg) 42 % Oberfl. A.d.P. 25	Oberfläche (beprob.) Kern (Grundbel.) Summe	28,2 38,8	34,31		8,50		1,15		64,39		1,62		9,07		41,37		132		64,98		1,77		235	
			(1,22)		(0,30)		(0,02)		(2,28)		(0,06)		(0,32)		(4,68)		(2,30)		(4,68)		(0,06)		(8,33)	
Summe (700 kg) 28 % Oberfl.	Oberfläche (beprob.) Kern (Grundbel.) Summe	200 500	175197		3441		211		1311		188		4595		1420		7053		115014		432		282716	
			(876)		(17,20)		(1,06)		(6,56)		(22,98)		(0,94)		(575)		(7,1)		(35,27)		(2,16)		(1414)	
			32 %		53 %		243 %		134 %		161 %		51 %		52 %		106 %		132 %		22 %		238 %	

E: Summe Einzelproben; Werte ohne Klammern: Absolutmenge in mg; M: Massenanteile (kg); S: Schredder-Untersortiment; Werte in Klammern: Gehalt in mg/kg; A.d.P.: Anzahl der Prüflinge im jeweiligen Sortiment

Tabelle A 19: Vergleich der Wirkstoff-Elementgehalte

9.4 Literaturrecherche

9.4.1 Unbehandelte Hölzer

9.4.1.1 Anorganische Verbindungen

9.4.1.1.1 Gehalte anorganischer Holzschutzmittel-Verbindungen in unbehandeltem Holz

Tabelle A 20: Gehalte anorganischer Holzschutzmittel-Verbindungen in unbehandeltem Holz

Nr.	As mg/kg	B mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	F mg/kg	Hg mg/kg	Pb mg/kg	Sn mg/kg	Zn mg/kg	Holz-Art	Probe	Probenahmev.	Nachweisverfahren.	Autor
1	n.n.-8,3	n.b.	n.n. ¹	n.b.	1,0-2,4	n.b.	n.b.	n.n. ¹	n.b.	3-40	Fichte	Jahresringe	k.a.	Druckaufschluß; H ₂ O ₂ ; ETV/ICP-AES	Matusiewicz, Barnes (1985)
2	16,1	n.b.	5,4	n.b.	11	n.b.	n.b.	21	n.b.	42	Fichte	Rinde			
3	n.n.-8,3	n.b.	n.n. ¹	n.b.	1,0-1,8	n.b.	n.b.	n.n. ¹	n.b.	16-28	Kiefer	Kernholz			
4	28	n.b.	7,0	n.b.	26	n.b.	n.b.	32	n.b.	45	Kiefer	Rinde			
5	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	59-119	n.b.	<0,005-40	Pinus strobus	versch. Alters u. Gebieten	ausgesägte Proben	Aufschluß mit HNO ₃ , HClO ₄ ; AAS	Hinmann et al. (1978)
6	n.n.-0,14	n.b.	n.b.	n.b.	n.n.-2,9	n.b.	0,02-1,24	n.b.	n.b.	1,2-6,4	Prunus Serulata	Jahresringe	15 cm dicke Baumringproben	Neutron activation analysis (X-ray-spektrometry)	Pillay (1976)
7	n.n.-0,17	n.b.	n.b.	n.b.	n.n.-2,5	n.b.	0,01-0,93	n.b.	n.b.	0,4-1,6	Gleditsia Triacanthus	Jahresringe	Bestg. u. Unters. der Jahresringe		
8	0,03-0,09	n.b.	n.b.	n.b.	0,48-6,31	n.b.	0,55-0,95	n.b.	n.b.	1,1-4,7	Tsuga Canadensis	Jahresringe			
9	0,18-0,28	n.b.	n.b.	n.b.	0,25-5,47	n.b.	0,18-0,28	n.b.	n.b.	4,3-7,7	Syringa Vulgaris	Jahresringe	Gefrier-trocknung		
10	0,30-3,46	n.b.	n.b.	n.b.	1,27-1,98	n.b.	0,82-20,3	n.b.	n.b.	2,0-5,9	Thuja Occidentalis	Jahresringe			
11	0,01-0,5	n.b.	n.b.	n.b.	0,85-7,10	n.b.	0,013-70,8	n.b.	n.b.	0,4-4,5	Quercus rubra	Jahresringe			
12	0,03 (n=8)	n.b.	0,43 (n=8)	0,71 (n=8)	0,84 (n=8)	n.b.	n.b.	2,48 (n=8)	n.b.	17,3 (n=8)	Fichte/Sollingen	Stammholz lebend	Proben aus Scheiben	Trocknung 105 °C	Lammersdorf (1988)
13	0,133 (n=2)	n.b.	3,7 (n=2)	0,45 (n=2)	6,0 (n=2)	n.b.	n.b.	7,5 (n=2)	n.b.	192,5 (n=2)	Rinde	Dendrometr.	Holzsplitter		
14	0,172 (n=2)	n.b.	2,4 (n=2)	3,3 (n=2)	8,8 (n=2)	n.b.	n.b.	54 (n=2)	n.b.	120 (n=2)	Rinde,tot	Vermessung	Aufschluß mit HNO ₃ , HClO ₄ , HF		
15	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	Fichte/ Spanbeck	Stammholz	Mischproben		

Fortsetzung Tabelle A 20: Gehalte anorganischer Holzschutzmittel-Verbindungen in unbehandeltem Holz

Nr.	As mg/kg	B mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	F mg/kg	Hg mg/kg	Pb mg/kg	Sn mg/kg	Zn mg/kg	Holz-Art	Holz- Eig.	Holz- Probe	Probe- nahmev.	Nachw.	Autor
16	-	n.b.	2 n=1	0,35 n=1	2,4 n=1	n.b.	n.b.	-	n.b.	218,7 n=1	Fichte Spanbeck	Rinde lebend		siehe Seite 1	Einwaage von 500 mg	Lammersdorf (1988)
17		n.b.	2 n=1	0,84 n=1	4,2 n=1	n.b.	n.b.	12 n=1	n.b.	108,2 n=1						
18	0,025 n=9	n.b.	0,12 n=1	0,35 n=1	0,71 n=1	n.b.	n.b.	1,2 n=1	n.b.	23,6 n=1	Fichte Wingst	Stamm- holz			AAS u. ICP- AES	
19	-	n.b.	2,0 n=2	0,20 n=1	5,9 n=2	n.b.	n.b.	2 n=1	n.b.	157,6 n=2						
20	-	n.b.	2,2 n=2	0,32 n=2	5,8 n=2	n.b.	n.b.	14 n=1	n.b.	175,9 n=2						
21	0,028 n=9	n.b.	0,24 n=1	0,36 n=1	0,85 n=1	n.b.	n.b.	1,2 n=1	n.b.	36,3 n=1						
22	0,081 n=2	n.b.	0,48 n=2	0,29 n=1	3,6 n=2	n.b.	n.b.	2,7 n=2	n.b.	191,9 n=2						
23	0,195 n=2	n.b.	0,48 n=2	0,79 n=2	5,4 n=2	n.b.	n.b.	21,6 n=2	n.b.	156,0 n=2						
24	-	n.b.	n.n. n=1	0,47 n=3	0,84 n=3	n.b.	n.b.	1,1 n=2	n.b.	11,0 n=3	Buche Harste	Stamm- holz				
25	-	n.b.	0,10 n=2	0,60 n=4	4,9 n=4	n.b.	n.b.	9,6 n=4	n.b.	31,7 n=4						
26	<(0,4)	7,9	<(0,4)	<(1)	<(2)	<(2)	<(0,2)	<(5)	<(10)	<(2)	Buche		Heimische Bäume aus WKI- Instituts- beständen	Mit Kreis-0, Bandsäge in 3mm dicke Querschnitts- scheiben	Zur F-Bestg. Schöniger. Aufschluß Messung mit ionensekt. Elektrode	Bockelmann (1995)
27	<(0,4)	6,7	0,8	<(1)	<(2)	3,1	<(0,2)	<(5)	<(10)	12,3	Fichte					
28	<(0,4)	<(5)-5,3	<(0,4)	<(1)	<(2)	<(2)	<(0,2)	<(5)	<(10)	5,0- 8,0	Kiefer					
29	<(0,4)	10,2	<(0,4)	<(1)	<(2)	<(2)	<(0,2)	5,8	<(10)	7,4	Lärche					
30	<(0,4)	<(5)	<(0,4)	<(1)	<(2)	<(2)	<(0,2)	<(5)	<(10)	2,3	Holunder					
31	<(0,4)	7,5	<(0,4)	<(1)	2,2	<(2)	<(0,2)	<(5)	<(10)	<(2)	Eiche					
32	<(0,4)	5,3	<(0,4)	<(1)	<(2)	<(2)	<(0,2)	<(5)	<(10)	33,7	Birke					

Fortsetzung Tabelle A 20: Gehalte anorganischer Holzschutzmittel-Verbindungen in unbehandeltem Holz

Nr.	As mg/kg	B mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	F mg/kg	Hg mg/kg	Pb mg/kg	Sn mg/kg	Zn mg/kg	Holz-Art	Holz- Eig.	Holz- Probe	Probe- nahmev.	Nachw.	Autor
33	<(0,4)	9,7	<(0,4)	<(1)	<(2)	<(2)	<(0,2)	<(5)	<(10)	4,7	Douglasie	siehe Seite 2	siehe Seite 2	siehe Seite 2		Bockelmann (1995)
34	<(0,4)	14,4	<(0,4)	<(1)	<(2)	<(2)	<(0,2)	<(5)	<(10)	5,7	Pappel	Tropische				
35	<(0,4)	6,4	<(0,4)	<(1)	<(2)	5,1	<(0,2)	<(5)	<(10)	3,3	Red Meranti					
36	k.a.	13,4	k.a.	k.a.	k.a.	5,0	k.a.	k.a.	k.a.	k.a.	Cedrela	Hölzer				
37	<(0,4)	12,6	<(0,4)	<(1)	4,8	3,9	<(0,2)	<(5)	<(10)	<(2)	Kotibe	aus WKI-				
38	<(0,4)	7,7	<(0,4)	<(1)	<(2)	2,7	<(0,2)	<(5)	<(10)	<(2)	'Sipo	Instituts-				
39	<(0,4)	<(5)	<(0,4)	<(1)	<(2)	5,6	<(0,2)	<(5)	<(10)	<(2)	Bangkirai	beständen				
40	<0,10	7,90	0,04	0,74	2,80	<20	0,02	4,20	<1,0	120,0	versch.	k.a.	Waldhack- schnittzel	k.a.	Mahlen/Homo- genisierung Angabe bezogen auf TS	Arbeits- gemeinschaft Altholzkon- zept Kanton Zürich (1990)
41	n.n. (0,01)	1,8	n.b.	n.n.(0,5)	0,90	0,18	n.n. (0,02)	n.b.	n.n.(0,5)	8,75	Fichte	Hack- schnittzel	Waldholz n=1	Proben- zerkleine- rung	Aufschluß nach DIN 38 414, Teil 7 mit HNO ₃ + HCl Bestg. mit ICP- OES Bestg. von Cu, Zn, B nach der DIN 52 1611, Teil 17 mittels AAS und Ionen- chromatogr. F-Bestg. Aufschluß mit Perchlorsäure und Messung mit ionenselekt. Elektrode	Sirecker, Marutzy (1994)
42	n.n. (0,01)	1,8	n.b.	n.n.(0,5)	0,66	0,30	n.n. (0,02)	n.b.	n.n.(0,5)	5,25	Kiefer	Hack- schnittzel	Waldholz n=2			
43	n.b.	n.b.	<[² - 0,25	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	<[² -0,30	n.b.	10,04- 18,0	Fichte relativ gesund/ Bodenmais	jüngeres u. älteres Stamm- holz	Holz- Späne Xyl/em- proben	Fichtenbasis, Kronenbasis- scheiben	Einwaage in 50 ml PTFE- Gefäße	Rademacher (1986)

Fortsetzung Tabelle A 20: Gehalte anorganischer Holzschutzmittel-Verbindungen in unbehandeltem Holz

Nr.	As mg/kg	B mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	F mg/kg	Hg mg/kg	Pb mg/kg	Sn mg/kg	Zn mg/kg	Holz-Art	Holz- Eig.	Holz- Probe	Probe- nahmev.	Nachw.	Autor	
44	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	<[] ² -0,65	n.b.	13,7- 22,5	Fichte leicht erkrankt Bodenmais	jüngeres u. älteres Stamm- holz	Holzspäne Xylem- proben	Unterteilung in best. Jahring- fraktionen	Druckaufschluß bei 140 °C, 6bar für 6 h 2 g Probe + 2,5 g HNO ₃	Rademacher (1986)	
45	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,33- 0,89	n.b.	10,8- 20,5	Fichte krank Bodenmais			Holzriegel wurden auf einer gerei- nigten	Bestg. von Zn, Pb u. Cd mit dem TRFA		
46	n.b.	n.b.	<[] ² -0,10	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,30- 0,80	n.b.	12,9- 25,1	Fichte stark erkrankt Bo- denmais			PE-Unterlage mit einem Mikrotom- messer ge- spalten, die Randzonen verworfen Radial-			
47	n.b.	n.b.	0,19	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,19-1,5	n.b.	4,8-6,7	Fichte gesund Eich- städt						
48	n.b.	n.b.	0,32	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	<[] ² -1,70	n.b.	4,7-13,6	Fichte stark erkrankt Wörth			ausdehnung der Späne von 1-30 mm			
49	n.b.	n.b.	<[] ² -0,6	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	<[] ² -2,7	n.b.	8,1-14,1	Fichte stark erkrankt Ratzeburg/ Postt.			Herunter- trocknung bei ca. 35 °C, Klimatisg. auf etwa 5%			
50	n.b.	n.b.	<[] ² -0,19	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	<[] ² -0,20	n.b.	7,7-20,5	Fichte relativ gesund Bodenmais	jüngeres u. älteres Kronen- Stamm- holz					
51	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	<[] ² -0,20	n.b.	12,8- 18,6	Fichte leicht erkrankt Bodenmais						
52	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	<[] ² -0,20	n.b.	9,8-19,1	Fichte krank Bodenmais						

Fortsetzung Tabelle A 20: Gehalte anorganischer Holzschutzmittel-Verbindungen in unbehandeltem Holz

Nr.	As mg/kg	B mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	F mg/kg	Hg mg/kg	Pb mg/kg	Sn mg/kg	Zn mg/kg	Holz-Art	Holz-Eig.	Holz-Probe	Probenaahmev.	Nachw.	Autor
53	n.b.	n.b.	<[] ²	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	<[] ²	n.b.	9,3-18,0	Fichte stark erkrankt Bodenmais	jüngeres u. älteres Kronen- Stamm- holz	Holzspäne Xylem- proben	siehe Seite 4	siehe Seite 4	Rademacher (1986)
54	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	<[] ²	n.b.	6,6-9,2	Fichte gesund Eichstädt					
55	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	<[] ² -0,2	n.b.	10,6- 12,4	Fichte stark erkrankt Wörth					
56	n.b.	n.b.	<[] ² -0,6	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	<[] ² -0,4	n.b.	10,6- 13,4	Fichte stark krank Ratzelburg/ Postt.					
57	n.b.	n.b.	<[] ²	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	<[] ²	n.b.	123-143	Fichte relativ gesund Bodenmais	Basis- und Kronen- bast mit	Holzspäne Bastproben	Entfernung der Rinde Teilung in funktions-		
58	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	<[] ² -1,1	n.b.	176-217	Fichte leicht erkrankt Bodenmais	funkti- onstüch- tigen u. un- tüchtigen		tüchtige und untüchtige Basis- fraktionen		
59	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	<[] ² -1,5	n.b.	143-169	Fichte krank Bodenmais			Entfernung der Hirn- enden nach dem Trocknungs- vorgang		
60	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	<[] ²	n.b.	153-254	Fichte stark krank Bodenmais					
61	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	<[] ²	n.b.	142-176	Fichte gesund Eichstädt					
62	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	<[] ² -0,56	n.b.	115-180	Fichte stark erkrankt Wörth					

Fortsetzung Tabelle A 20: Gehalte anorganischer Holzschutzmittel-Verbindungen in unbehandeltem Holz

Nr.	As mg/kg	B mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	F mg/kg	Hg mg/kg	Pb mg/kg	Sn mg/kg	Zn mg/kg	Holz-Art	Holz-Eig.	Holz-Probe	Probenahmev.	Nachwv.	Autor
63	n.b.	n.b.	2,8-3,6	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	0,9-2,4	n.b.	244-290	Fichte, stark erkrankt Ratzeburg/Posff.	siehe Seite 5	siehe Seite 5	siehe Seite 5	Rademacher (1986)	
64	n.n.	n.b.	0,17	0,35	2,04	n.b.	<0,03	1,48	n.b.	n.b.	Kiefer	waldfrisches Holz	k.a.	Schwermetall-Bestg. mittels AAS (Graphitrohrtechnik) F-Bestg. durch Ionenchromatographie Elution mit Wasser (EN 71)	Swaboda, Aehlig (1996)	
65	n.n.	n.b.	0,04	0,80	2,28	n.b.	<0,03	2,26	n.b.	n.b.	Buche					
66	n.n.	n.b.	0,07	0,35	2,91	n.b.	<0,03	1,50	n.b.	n.b.	Birke					
67	1,25	n.b.	0,05	3,12	6,36	n.b.	0,03	2,40	n.b.	n.b.	Eiche					
68	<0,05	n.b.	0,2-0,5	0,1-0,5	1,6-2,5	6,0-20,6	<0,03	0,8-2,2	n.b.	n.b.	Kiefer	ohne Rinde	abgelagert	manuell Vorkleinerung, Hack-schmelze	Scheithauer et al. (1995)	
69	n.b.	n.b.	n.b.	0,01-3,77	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n=25	Holz nicht imprägniert	Sägespäne, Abtragung mit einer Feile bzw. Durchsägen der Proben mit elektr. Säge-maschine	Naßoxidativer Aufschluß mit HNO ₃ u. H ₂ SO ₄ Proben-Veraschung Bestg. mittels AAS mit Graphitrohr-technik	Wolf et al. (1990)	
70	0,00	0,00	0,01	n.b.	2,21	n.b.	n.b.	0,20	0,55	0,84	Eiche Vanhorn	Jahres-ringe keine weiteren Angaben	Homogenis. der Proben		Ökologiebüro Hoffmann	
71	0,00	0,00	0,00	n.b.	1,61	n.b.	n.b.	0,33	0,61	1,24						
72	0,00	2,82	0,00	n.b.	1,91	n.b.	n.b.	0,21	0,35	0,35						
73	0,01	3,12	0,00	n.b.	2,31	n.b.	n.b.	0,19	0,00	0,34						
74	0,00	0,00	0,03	n.b.	1,78	n.b.	n.b.	0,22	0,00	0,38						
75	0,01	2,21	0,04	n.b.	1,83	n.b.	n.b.	0,27	0,00	0,16						
76	0,02	2,40	0,03	n.b.	1,72	n.b.	n.b.	0,17	0,00	0,07						
77	0,01	1,97	0,03	n.b.	1,34	n.b.	n.b.	0,18	0,00	0,19						
78	0,00	2,64	0,03	n.b.	1,10	n.b.	n.b.	0,35	0,00	0,07						

Fortsetzung Tabelle A 20: Gehalte anorganischer Holzschutzmittel-Verbindungen in unbehandeltem Holz

Nr.	As mg/kg	B mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	F mg/kg	Hg mg/kg	Pb mg/kg	Sn mg/kg	Zn mg/kg	Holz- Art	Holz- Eig.	Holz- Probe	Probe- nahmev.	Nachw.	Autor
79	0,00	3,89	0,07	n.b.	1,28	n.b.	n.b.	0,41	0,00	0,64				siehe Seite 6	Aufschluß mit HNO ₃ Interner Std. Yttrium u. Rhenium Bestg. nach der DIN 38 406- E 29 Elementbestg. mittels ICP-MS	Ökologiebüro Hoffmann (1995)
80	0,00	1,15	0,04	n.b.	1,09	n.b.	n.b.	0,34	0,00	0,91						
81	0,02	0,69	0,02	n.b.	1,03	n.b.	n.b.	0,30	0,00	1,25						
82	0,01	0,78	0,01	n.b.	1,20	n.b.	n.b.	0,28	0,00	1,24						
83	0,00	0,00	0,09	n.b.	3,13	n.b.	n.b.	0,12	0,00	3,36	Eiche					
84	0,00	0,00	0,05	n.b.	2,03	n.b.	n.b.	0,04	0,00	0,70	Visbek					
85	0,00	3,50	0,01	n.b.	1,84	n.b.	n.b.	0,09	0,00	0,37						
86	0,02	3,86	0,03	n.b.	1,90	n.b.	n.b.	0,07	0,00	0,05						
87	0,00	2,67	0,07	n.b.	2,35	n.b.	n.b.	0,06	0,00	0,47						
88	0,00	5,30	0,09	n.b.	2,34	n.b.	n.b.	0,09	0,00	0,53						
89	0,00	0,00	0,13	n.b.	3,23	n.b.	n.b.	0,18	0,00	1,09						
90	0,01	5,80	0,04	n.b.	2,43	n.b.	n.b.	0,14	0,00	0,42						
91	0,00	0,00	0,05	n.b.	2,72	n.b.	n.b.	0,03	0,00	0,63						
92	0,00	6,49	0,01	n.b.	1,80	n.b.	n.b.	0,04	0,00	0,13						
93	0,00	0,00	0,07	n.b.	2,54	n.b.	n.b.	0,01	0,14	0,91						
94	0,02	4,71	0,08	n.b.	3,91	n.b.	n.b.	0,05	0,00	2,42						
95	0,00	0,00	0,02	n.b.	1,97	n.b.	n.b.	0,05	0,00	2,25						
96	0,00	0,00	0,04	n.b.	1,39	n.b.	n.b.	0,26	0,00	0,18	Eiche					
97	0,00	0,00	0,06	n.b.	1,31	n.b.	n.b.	0,29	0,00	0,24	Thüsfield					
98	0,00	0,00	0,04	n.b.	1,23	n.b.	n.b.	0,28	0,00	0,46						
99	0,00	0,00	0,02	n.b.	0,68	n.b.	n.b.	0,20	0,00	0,21						
100	0,00	0,00	0,00	n.b.	1,01	n.b.	n.b.	0,27	0,00	0,51						
101	0,00	0,00	0,03	n.b.	1,17	n.b.	n.b.	0,28	0,00	0,69						
102	0,00	0,00	0,03	n.b.	1,13	n.b.	n.b.	0,27	0,00	1,13						
103	0,00	2,03	0,01	n.b.	0,66	n.b.	n.b.	0,11	0,00	0,29						
104	0,01	3,85	0,00	n.b.	0,85	n.b.	n.b.	0,06	0,00	0,39						
105	0,00	3,61	0,01	n.b.	0,81	n.b.	n.b.	0,10	0,00	0,72						
106	0,01	0,00	0,04	n.b.	1,10	n.b.	n.b.	0,10	0,00	1,27						
107	0,04	0,00	0,06	n.b.	1,18	n.b.	n.b.	0,08	0,00	0,57						
108	0,00	0,00	0,04	n.b.	1,65	n.b.	n.b.	0,10	0,00	1,96						
109	0,03	1,66	0,08	n.b.	2,08	n.b.	n.b.	0,07	0,12	1,54	Eiche					
110	0,03	2,85	0,04	n.b.	1,44	n.b.	n.b.	0,19	0,10	0,06	Mintwede					
111	0,04	5,34	0,06	n.b.	1,40	n.b.	n.b.	0,32	0,01	2,06						
112	0,02	3,69	0,06	n.b.	1,41	n.b.	n.b.	0,21	0,06	1,65						
113	0,02	1,90	0,05	n.b.	1,65	n.b.	n.b.	0,12	0,05	0,00						
114	0,02	1,40	0,03	n.b.	1,46	n.b.	n.b.	0,03	0,08	1,36						

n.n.: nicht nachweisbar; n.b.: nicht bestimmt; k.a.: keine Angaben; <(): gemessene Konzentration liegt unter der jeweiligen Bestimmungsgrenze; <[]: Werte liegen unterhalb der Nachweisgrenze; n.n.(): nicht nachweisbar, mit Angaben der Nachweisgrenzen

9.4.1.2 Organische Verbindungen

9.4.1.2.1 Gehalte organischen Holzschutzmittel-Verbindungen in unbehandeltem Holz

Tabelle A 21: Gehalte organischen Holzschutzmittel-Verbindungen in unbehandeltem Holz

Nr.	PCP mg/kg	Lindan mg/kg	Holzart	Holzgeg.	Probenahmeverfahren	Nachweisverfahren	Bemerkungen	Autor
1	0,14	<(0,08)	Buche		Zerkleinerung mittels Kreis- o. Bandsäge (3 mm Querschnittsscheiben	1,5 g Probe wurden mit 30 ml Toluol u. 1 M H ₂ SO ₄ versetzt u. für 45 min im Ultraschallbad behandelt	Heimische Bäume Proben aus Institutsbeständen	Bockelmann (1995)
2	0,18	<(0,08)	Fichte					
3	<(0,1)	<(0,08)0,24	Kiefer					
4	<(0,1)	<(0,08)	Lärche					
5	<(0,1)	<(0,08)	Holunder					
6	<(0,1)	<(0,08)	Eiche		Homogenisierung der Proben	PCP-Derivatisierung mit 0,1 M Kaliumcarbonatlösung u. Essigsäureanhydrid	Tropenholz Proben aus Institutsbeständen	
7	<(0,1)	0,18	Birke					
8	<(0,1)	<(0,08)	Douglasie					
9	<(0,1)	<(0,08)	Pappel					
10	<(0,1)	<(0,08)	Red Meranti					
11	0,13	n.b.b.	Cedrela					
12	0,25	<(0,08)	Kotibe			Aufreinigung über Kartuschen bei PCP		
13	<(0,1)	<(0,08)	Sipo					
14	<(0,1)	<(0,08)	Bangkirai			Bestg. über GC/ECD		
15	<0,01	0,061	k.a.	Sägemehl		0,5-2 g Probe mit 10 ml Aceton versetzt u. für 2 min im Ultraschallbad behandelt, Deriv. mit K ₂ CO ₃ -Lsg. und Essigsäureanhydrid	Mit jeweils 10 % Standardabweichung	Ruh und Gebefügi (1984)
16	<0,01	0,039						
17	0,065	0,056						
18	0,06	<0,01						
19	0,18	<0,01						
20	2	<0,01						
21	13,8	<0,01						
22	1,2	<0,01						
23	1,75	<0,01						
24	0,273	<0,01						
25	0,250	<0,01						
26	0,195	<0,01						
27	0,0192	<0,01						

Fortsetzung Tabelle A 21: Gehalte organischen Holzschutzmittel-Verbindungen in unbehandeltem Holz

Nr.	PCP mg/kg	Lindan mg/kg	Holzart	Holzgeg.	Probenahmeverfahren	Nachweisverfahren	Bemerkungen	Autor
28	<0,01	<0,01	schwed. Fichte		siehe Seite 1	siehe Seite 1	garantiert un-behandelt	Ruh und Gebeflgi (1984)
29	1,9	<0,01	Brasil. Kiefer					
30	0,560	<0,01						
31	1,4	<0,01						
32	4,4	<0,01	Red. Pine					
33	0,722	<0,01						
34	0,290	<0,01						
35	<0,01	<0,01	Finn. Kiefer					
36	0,533	<0,01	Oregon. Pine					
37	19	<0,01					unbeh. 1. Wahl	
38	2	<0,01						
39	<0,01	<0,01	Mahagoni Natur					
40	0,360	<0,01	Nord. Kiefer					
41	0,310	<0,01						
42	<0,01	<0,01						
43	<0,01	<0,01						
44	0,510	<0,01	Nord. Fichte	Fußboden				
46	<0,01	<0,01	Rotzeder					
47	0,720	<0,01	Assacu					
48	125	0,085	Virola					
49	0,750	<0,01	Kato					
50	0,130	<0,01	Eiche	Parkett				
51	2,1	<0,01	k.a.	Preßspan.				
52	6,9	<0,01						
53	1,5	<0,01						
54	2,3	<0,01						

Fortsetzung Tabelle A 21: Gehalte organischen Holzschutzmittel-Verbindungen in unbehandeltem Holz

Nr.	PCP mg/kg	Lindan mg/kg	Holzart/ Herkunft	Holzgeg.	Probenahmeverfahren	Nachweisverfahren	Bemerkungen	Autor
55	n.n.(0,05)	n.n.(0,02)	Fichte n=1	Waldholz Hack-schnitzel	Zerkleinerung der Proben	Lindanbestig. durch Extraktion mit Xylol, GC/ECD		Sirecker und Marutzky (1994)
56	n.n.(0,05)+0,06	n.n.(0,02)+0,02	Kiefer n=2	Waldholz Hack-schnitzel		PCP-Bestg. durch Extraktion mit wässriger Kaliumcarbonatlg., Derivatisierung mit Acetanhydrid, GC/ECD		
57	allg. Chlorphenol 0,03-664,5	0,05-664,5	Fichte, Kiefer BRD n= 12	Rohholz (sägeroh) nicht imprägniert	Herstellung von Sägespänen Abtragung der Oberflächen-probe mit Hilfe einer groben Feile	Elutionsverfahren 1 g Probe mit 10 ml Benzol versetzt	Nachweisgrenzen: PCP= 0,03 Lindan=0,05	Wolf et al. (1990)
58	allg. Chlorphenol 0,03-1,09	0,05-2,08	Fichte, Kiefer S n=10		Abhobeltiefe i.d.R. weniger als 1 mm	Standardzugabe, 8 h Ultraschallbehandlung		
59	allg. Chlorphenol 0,03-708,4	0,05-324	andere Länder n=11		Für Kernproben Entfernung von ca. 1 mm Oberfläche; Herstellung von Spänen mittels eines Bohrers	Derivatisierung der Chlorphenole mit Diazo- methan		
60	allg. Chlorphenol 0,03-32,8	0,05-0,22	andere Hölzer BRD					
61	allg. Chlorphenol 0,03-107,9	0,05	andere Hölzer andere Länder		Herstellung von Spänen durch mehr- maliges Durch-sägen. mittels elektr. Sägemaschine			
62	26	n.b.	Schichttiefe 0-1,5 mm	Holz unbehant- delt	Versuchsobjekt: Einfamilien-haus	1-5 g Probe mit 0,1 N K ₂ CO ₃ behandelt	Angegebene Werte resultieren aus jeweils 10 Messungen	Palar und Gebefügi (1990)
63	17	n.b.						
64	18	n.b.			versch. Holzproben			

Fortsetzung Tabelle A 21: Gehalte organischen Holzschutzmittel-Verbindungen in unbehandeltem Holz

Nr.	PCP mg/kg	Lindan mg/kg	Holzart/ Herkunft	Holzgeg.	Probenahmeverfahren	Nachweisverfahren	Bemerkungen	Autor
65	15,5	n.b.	Schichttiefe 0-1,5 mm	Holz unbehandelt	Unterteilung der Proben: Oberschicht: 0,0- 1,5 mm Mittelschicht: 1,5-3,0 mm Unterschicht: 3,0-8,0 mm	Extraktion mit Toluol		Palear und Gebefugi (1990)
66	19,5	n.b.				Deriv. mit Acet- anhydrid		
67	22	n.b.						
68	13	n.b.	Schichttiefe 1,5-3 mm			Ausschüttlung mit n-Hexan		
69	11	n.b.				Messung mit dem GC/ECD		
70	9,5	n.b.						
71	9	n.b.						
72	14	n.b.						
73	11,5	n.b.						
74	5,5	n.b.	Schichttiefe 3-8 mm					
75	2,5	n.b.						
76	6	n.b.						
77	3,5	n.b.						
78	4,5	n.b.						
79	7	n.b.						

k.a.: keine Angaben; <() : gemessene Konzentrationen liegen unter der jeweiligen Bestimmungsgrenze; n.b.b.: nicht bestimmbar; n.n.() : nicht nachweisbar, mit Angaben der Nachweisgrenze; n.b.: nicht bestimmt

9.4.2 Behandelte Hölzer

9.4.2.1 Anorganische Verbindungen

9.4.2.1.1 Gehalte anorganischer Holzschutzmittel-Verbindungen in behandeltem Holz

Tabelle A 22: Gehalte anorganischer Holzschutzmittel-Verbindungen in behandeltem Holz

Nr.	As mg/kg	B mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	F mg/kg	Hg mg/kg	Pb mg/kg	Sn mg/kg	Zn mg/kg	Holz-Art	Holz-Probe	Probe- nahmev.	Nachwv.	Autor
1	<(0,4)	<(5)	<(0,4)	<(1)	<(2)	<(2)	<(0,2)	<(5)	n.b.	11,5	Voll-,Sperrholz	Gemüsekeite/ Argentinen	Allg. Holz- packmittel u. Paletten	Zur F-Bestg. Schöninger. Aufschluß u. Messung mit ionenselekt. Elektrode	Bockelmann (1995)
2	<(0,4)	<(5)	<(0,4)	<(1)	<(2)>2,9	<(2)>4,4	<(0,2)	<(5)>8,1	n.b.	8,8-20,7	Voll-,Sperrholz, Hartfaser	Gemüsesteigen/ Spanien	Zer- kleinerung der Hölzer mit einer Kreis-o. Bandsäge in 3 mm Quer- schnitts- scheiben	Mikrowellen- aufschluß 7 g + HNO ₃ ICP-AES für As, Hg mit Hydridsystem	
3	<(0,4)	<(5)	<(0,4)	<(1)	6,3	<(2)	<(0,2)	<(5)	n.b.	39,6	Vollholz	Gemüsesteigen/ Portugal			
4	<(0,4)	24,1	<(0,4)	<(1)	<(2)	2,8	<(0,2)	<(5)	n.b.	5,8	Vollholz, Hart- faser	Gemüsesteigen/ Holland			
5	<(0,4)	<(5)	<(0,4)	<(1)	<(2)	<(2)	<(0,2)	<(5)	n.b.	2,2	Vollholz	Gemüsesteigen/ Griechenland			
6	<(0,4)	<(5)	<(0,4)	<(1)	<(2)	<(2)	<(0,2)	<(5)	n.b.	39,4- 63,6	Vollholz	Gemüsesteigen/ Frankreich			
7	<(0,4)	<(5)>5	<(0,4)	<(1)	<(2)>3,7	<(2)	<(0,2)	<(5)>5	n.b.	6,8-19,2	Voll-,Sperrholz Hartfaser	Gemüsesteigen/ Italien			
8	<(0,4)	<(5)	<(0,4)	<(1)>2,2 -5,0	<(2)>5,4	<(2)	<(0,2)	<(5)	n.b.	8,5-23,1	Vollholz	Mischung aus dem Super- und Wo- chenmarkt			
9	<(0,4)	<(5)	<(0,4)	<(1)	<(2)	<(2)	<(0,2)	<(5)	n.b.	2,2	Vollholz	Mi- schung/Spanplatten werk			
10	<(0,4)	<(5)	<(0,4)	2	7,3	<(2)	<(0,2)	<(5)	n.b.	13,1	Vollholz	Spankörbe/ Deutschland			
11	<(0,4)	<(5)	<(0,4)	<(1)>191	<(2)	<(2)>6,8	<(0,2)	<(5)	n.b.	7,0-72	Vollholz	EW-Paletten/ Handel; Anfall im WKI, Papierbranche			
12	<(0,4)	<(5)	<(0,4)	<(1)	<(2)	<(2)	<(0,2)	<(5)	n.b.	7,6-9,8	Vollholz	Palettenbretter/ Papierbranche			
13	<(0,4)	<(5)	<(0,4)	1,7-2,9	<(2)>11,1	<(2)	<(0,2)	<(5)	n.b.	11-77,8	Vollholz	Euro-Palette/ Handel, Anfall im WKI, Altholz- annahmestelle			
14	<(0,4)	<(5)	<(0,4)	<(1)	<(2)	<(2)	<(0,2)	<(5)	n.b.	4,7	Vollholz	CP4-Palette/ Anfall im WKI			
15	<(0,4)	<(5)	<(0,4)	4,0	<(2)	4,9	<(0,2)	<(5)	n.b.	6,2	Voll- u. Presfholz	EW-Palette/Handel			

Fortsetzung Tabelle A 22: Gehalte anorganischer Holzschutzmittel-Verbindungen in behandeltem Holz

Nr.	As mg/kg	B mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	F mg/kg	Hg mg/kg	Pb mg/kg	Sn mg/kg	Zn mg/kg	Holz-Art	Holz-Probe	Probenahmev.	Nachw.	Autor
16	<(0,4)	<(5)	<(0,4)-1,3	<(1)	<(2)	<(2)- 6,7	<(0,2)	<(5)	n.b.	7,8	Vollholz	Kiste/Handel	siehe Seite 1	siehe Seite 1	Bockelmann (1995)
17	<(0,4)	<(5)	<(0,4)	5,4	<(2)	<(2)	<(0,2)	<(5)	n.b.	8,0	Vollholz	Kiste/ Frankreich			
18	<(0,4)	<(5)	<(0,4)	1,2	<(2)	<(2)	<(0,2)	5,6	n.b.	10,1	Sperrholz	Kiste/Indien			
19	0,063-0,405	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	Birke	Unters. von Holzschei- ben	mit CCA behandelt. Holz mit gelb-grüner Färbung	Ex- traktion bei Raumtemp. X-ray-analysis	Teichmann und Monk-mann (1966)
20	0,032-0,440	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	"		Unter- teilt in versch.	Wässrige Ex- traktion mit Erhitzen X-ray-analysis	
21	0,055-0,978	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.			Serien mit versch. Schnitt- richtung	Extraktion mit Sodium Hy- droxyde mit Erhitzen X-ray-analysis	
22	0,031-7,75	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.			Proben- vergleichs- Unters.	Säure-aufschluß X-ray-analysis	
23	1,36	-	3,45	52,95	1432,9 3	112,37	0,31	1031,41	25,52	1544		Bau- u. Möbelholz n=9	Separieren in einzelne Sortimente	Mahlung u. Homogenis. der Proben	Arbeits- gemeinschaft Altholz- konzept Kanton Zürich (1990)
24	1,31	-	2,08	17,61	11,88	96,38	0,16	985,42	6,72	1418		Bauholz aus Merhamul- den- systemen n=5	Entfernen von Fremd- stoffen	keine Angaben zur Analytik	
25	1,50	14,30	4,30	175,0	6387,5 0	115,0	0,95	1158,0	89,0	1608		Bauholz aus Sortieran- lagen, n=2	Unters. von Schnitzel- proben u. Feinanteil- mischungen	Angabe der Werte auf TS	
26	1,34	<5,02	6,04	19,23	30,96	149,74	0,07	1019,81	9,05	1796		Möbel n=2			
27	<0,10	<5,90	0,30 n=4	0,53	2,20	<20	0,09 n=4	55,83 n=4	<1,0	200		Verpack- ungen, n=1			
28	n.n. (0,01)-0,014	2,3-5,2	n.b.	n.n. (0,5)-11	0,93- 10,05	0,29- 4,37	n.n. (0,02)	n.b.	n.n.(0,5)- 1,5	2,40-13	Spannplatt- ten- industrie	Trockenspan n=3	Zerklein. d. Proben	Aufschluß nach DIN 38 414, Teil 7 mit HNO ₃ u. HCl	Strecker Marutzky (1994)
29	n.n.(0,01)- 0,21	n.n.(0, 4)-8,7	n.b.	n.n. (0,5)-13	0,40- 3,01	18,5	n.n. (0,02)	n.b.	n.n. (0,5-0,63)	1,83-32	Spannplatt- tenindustrie	Spanplatte V20, n=14			

Fortsetzung Tabelle A 22: Gehalte anorganischer Holzschutzmittel-Verbindungen in behandeltem Holz

Nr.	As mg/kg	B mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	F mg/kg	Hg mg/kg	Pb mg/kg	Sn mg/kg	Zn mg/kg	Holz-Art	Holz-Probe	Probenahme- sichtige Seite 2	Nachw. mit ICP-OES	Autor
30	n.n. (0,01)- 0,33	n.n.(0,4) -1,1	n.b.	n.n.(0,5)- 11	0,01- 1,70	0,33-143	n.n. (0,02)	n.b.	n.n.(0,5)	0,01- 18,50		Spanplatte V100 n=6		Bestg. mit ICP-OES	Strecker Marutsky (1994)
31	n.n. (0,01)- 0,048	3,9-33,2	n.b.	n.n.(0,5)- 4,4	0,97- 1,46	1,02- 4,23	n.n. (0,02)	n.b.	n.n.(0,5)- 8,1	6,25- 15,75	Spanplatten	Späne aus der Möbel- fabrikation n=8		Bestg. von Cu, Zn, B nach DIN 52 161, Teil 7	
32	n.n. (0,01)	4,5	n.b.	n.n.(0,5)	1,69	0,30	n.n. (0,02)	n.b.	n.n.(0,5)	8,75	Massivholz	Späne aus der Möbel- fabrikation n=1		Bestg. von Cu u. Zn in der HCl-Lsg. mittels AAS, Bor mit der Ionen- chromatogr. F-Bestg., Aufschluß mit Perchlorsäure, Messung mit ionenselekt. Elektrode	
33	n.n. (0,01)- 0,020	4,0-4,1	n.b.	0,54-0,74 0,020	1,20- 1,41	0,25- 0,57	n.n. (0,02)	n.b.	n.n.(0,5)- 1,4	n4,50- 15,24		MDF-Platten			
34	0,014	0,8	n.b.	2,3	3,06	3,11	0,055	n.b.	0,5	7,25		Hartfaserplatten n=1			
35	0,046- 4,9	7,4-192	n.b.	7,8-180	2,73- 1103	11,2-159	n.n. (0,02)- 0,14	n.b.	n.n.(0,5)- 1,7	60,0- 1650	Altholz	Altholz/hack- schnittzel n=7			
36	n.n.(0,2) -2,2	n.b.	n.n.(1)- 4,6	1,1-19	n.n.(1)- 4,1	n.n.(2)- 12	n.n.(0,1)- 4,7	38-1960	2,0-11	35-3860	Kiefer n=11	50iger Jahre weißer Farb- strich		Unters. er- folgte an per Zufall	NGS (1995)
37	n.n.(0,2)	n.b.	n.n.(1)	n.n.(1)	n.n.(1)	5,6	11	20	178	31	Kiefer n=1	60iger Jahre weißer Farb- strich		er- gezogenen Stichproben	
38	n.n.(0,2)	n.b.	1,3	49	n.n.(1)	3,9	1,9	1570	10	2680	Kiefer n=1	1962 weiß/brauner Farbanstrich		Bestg. der Holzfeuchte nach DIN 68 351	
39	n.n.(0,2)	n.b.	n.n.(1)	n.n.(1)-1,0	n.n.(1)- 0,9	2,7-6,1	4,5-20	2950- 3140	2,7-8,1	6,9-38	Kiefer laminiert n=2	Anfang des Jahrhunderts weißer Farb- strich		Bestg. des Aschengehalts	
40	n.n.(0,2)	n.b.	n.n.(1)	1,5	0,7	3,0	24	3870	0,7	57	Kiefer/ Fichte laminiert n=1	Anfang des Jahrhunderts weißer Farb- strich		nach DIN 38 414, Teil 3	
41	4,1	n.b.	1,6	89	4,9	14	2,4	1320	57	4840	Kiefer n=1	Anfang des Jahrhunderts weißer Farb- strich		Mikrowellen- aufschluß mit HNO ₃	

Fortsetzung Tabelle A 22: Gehalte anorganischer Holzschutzmittel-Verbindungen in behandeltem Holz

Nr.	As mg/kg	B mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	F mg/kg	Hg mg/kg	Pb mg/kg	Sn mg/kg	Zn mg/kg	Holz-Art	Holz-Probe	Probenahmev.	Nachw.	Autor
42	n.n.(0,2)	n.b.	n.n.(1)	7,3	2,3	4,2	1,1	83	1,1	322	Fichte n=1	Anfang der 60iger Jahre Farbanstrich	Von jedem Fenster wurden	Bestg. der Schwermetalle	NGS (1995)
43	n.n.(0,2) -6,7	n.b.	n.n.(1) 4,0	2,8-7,0	1,5-3,8	3,8-105	n.n.(0,1) 1,0	285- 9530	n.n.(0,5) 4,1	2610- 14000	Kiefer n=4	30iger Jahre weißer Farbanstrich	5 Bohrkern mit einem Durchmesser a 4,5 cm heraus-	mit ICP-AES Verwendung des Hydrid-Systems für As, Cu, Hg	
44	n.n.(0,2) -1,2	n.b.	n.n.(1) 3,1	4,9-5,4	1,6-2,2	3,2-4,8	n.n.(0,1) 1,0	110-344	2,0-3,0	477- 4500	Fichte n=3	30iger Jahre weißer Farbanstrich	Durchmesser a 4,5 cm heraus-		
45	n.n.(0,2)	n.b.	n.n.(1)	7,1	1,6	27	1,6	3750	n.n.(0,5)	3390	Tanne/ Fichte laminiert n=1	30iger Jahre weißer Farbanstrich	gefärgt Homogens. der Bohr-	F-Bestg. durch Schöninger-Aufschluß	
46	n.n.(0,2)	n.b.	n.n.(1)	1,2	1,2	4,8	2,1	778	n.n.(0,5)	2610	Tanne n=1	30iger Jahre weißer Farbanstrich	kern durch Hacken u. Mahlen	u. Messung mit der ionen-selektiven Elektrode	
47	n.n.(0,2)	n.b.	n.n.(1) 5,6	54-75	2,3-2,6	8,4-21	1,1-2,4	72-2470	8,9-17	553- 2440	Kiefer n=2	50iger Jahre brauner Farbanstrich	Probentrocknung an der Luft		
48	n.n.(0,2) -2,1	n.b.	n.n.(1) 2,9	1,2-3,2	1,3-4,7	4,7-18	n.n.(0,1) 4,4	88-6530	0,9-97	266- 4960	Fichte n=4	50iger Jahre weißer Farbanstrich			
49	n.n.(0,2)	n.b.	n.n.(1)	5,0	2,0	2,8	1,4	242	12	875	Tanne n=1	50iger Jahre weißer Farbanstrich			
50	n.n.(0,2)	n.b.	2,3	7,5	2,3	4,4	1,0	5910	15	3440	Fichte n=1	30iger Jahre brauner Farbanstrich			
51	n.n.(0,2)	n.b.	n.n.(1)	4,0	n.n.(1)	4,3	6,0	111	11	464	Kiefer n=1	50iger Jahre weiß/brauner Farbanstrich			
52	n.n.(0,2)	n.b.	n.n.(1) 2,3	3,5-4,1	1,2-2,3	7,3-13	1,3-2,5	167-223	1,3-2,5	1100- 2320	Fichte n=2	1955 weißer Farbanstrich			
53	n.n.(0,2)	n.b.	n.n.(1)	n.n.(1)	5,9	6,1	n.n.(0,1)	44	1,7	1760	Tanne n=1	30iger Jahre weiß/brauner Farbanstrich			
54	n.n.(0,2)	n.b.	n.n.(1)	14	2,0	n.n.(2)	n.n.(0,1)	176	n.n.(0,5)	1560	Fichte n=1	30iger Jahre weiß/brauner Farbanstrich			

Fortsetzung Tabelle A 22: Gehalte anorganischer Holzschutzmittel-Verbindungen in behandeltem Holz

Nr.	As mg/kg	B mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	F mg/kg	Hg mg/kg	Pb mg/kg	Sn mg/kg	Zn mg/kg	Holz-Art	Holz-Probe	Probenahmev. siehe Seite 4	Nachw.	Autor	
55	n.n.(0,2)	n.n.	n.n.(1)	3,4-9,3	3,1-3,4	4,5-11	n.n.(0,1)- 0,9	54-195	1,3-4,7	94-329	Red Meranti n=2	Anfang der 70iger Jahre lasierend	siehe Seite 4	siehe Seite 4	NGS (1995)	
56	n.n.(0,2)	n.b.	2,0	57	6,8	15	1,3	1280	10	3380	Kiefer Splint verblaut n=1	50iger Jahre weiß/grüner Farbanstrich				
57	2,1	n.b.	2,9	1,2	2,4	3,9	1,1	3700	97	4960	Kiefer n=1	1880 grau- brauner Farban- strich				
58	n.n.(0,2) -5,1	n.b.	n.n.(1)	2,2-5,7	0,9-2,7	4,8-19	n.n.(0,1)- 1,1	274- 1680	n.n.(0,5)- 2,6	1320- 3860	Kiefer n=5	1958 weißer Farbanstrich				
59	n.n.(0,2)	n.b.	n.n.(1)	9,7	1,9	7,2	n.n.(0,1)	101	n.n.(0,5)	902	Fichte n=1	Anfang des Jahrhunderts grauer Farban- strich				
60	1,0	n.b.	0,36	9,0	32,7	16	<0,03	61,4	n.b.	n.b.	k.a.	industriell recyceltes Altholz	Holz von 5 regional unterschl. Anbietern k.w.A.	k.a. typische Bereich Minimal- u. Maximal- konzentration	Wehle et al. (1996)	
61	0,01-4,2 n=35	n.b.	0,04- 2,30 n=35	0,1-72 n=35	1,2-175 n=10	<5-90 n=16	<0,03- 1,72 n=35	0,9-843 n=35	n.b.	n.b.		Hauptächlich Verpackungs- holz				
62	<0,1	n.b.	0,1	168	n.b.	n.b.	<0,1	5	n.b.	n.b.		Uralt- Spanplatte E3	k.a.			
63	<0,1	n.b.	0,2-0,4	2-6	n.b.	n.b.	<0,1	70-104	n.b.	n.b.		Altmöbel Voll- holzmöbel 60- 80 Jahre alt				
64	n.b.	n.b.	n.b.	0,77-3,29	n.b.	n.b.	n.b.	6,8-31,3	n.b.	n.b.		Fensterbrüstholz	zerkleinerte defn. Sortimente	k.a.		
65	0,22-0,7	n.b.	0,16-1,7	0,6-29	4-21	<5-116	<0,03	116-907	n.b.	n.b.		Dachbalken	aus dem Baubereich			
66	<1	n.b.	0,1	631	n.b.	<5	<0,03	14	n.b.	n.b.		Rest- u. Altholz- proben	Zerkleing. auf < 500 µm	AAS	Vogt (1996)	
67	0,30- 4,02	n.b.	0,15- 0,82	7,5-435	3,3-374	<5-20	<0,03	2,6-810	n.b.	n.b.		Fußbodenabrieb- holz				
68	0,38	n.b.	0,22	62	3	n.b.	3,3	54	0,39	500						
69	3	n.b.	<{0,3}	75	6	n.b.	4	55	1	625						RFA Oberflächen- analyse- methode

Fortsetzung Tabelle A 22: Gehalte anorganischer Holzschutzmittel-Verbindungen in behandeltem Holz

Nr.	As mg/kg	B mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	F mg/kg	Hg mg/kg	Pb mg/kg	Sn mg/kg	Zn mg/kg	Holz-Art	Holz-Probe	Probenahme- Proben versch. Spanplatten- hersteller	Nachw.	Autor
70	n.b.	n.b.	0,43	<2,5	2,2	n.b.	n.b.	6,3	n.b.	26		eigene Späne aus Langholz	k.a.	Schmidt (1996)	
71	n.b.	n.b.	<0,18	17	<1,5	n.b.	n.b.	4,1	n.b.	10	Sipo u. Mahagoni	fremde Gatterspäne			
72	n.b.	n.b.	0,48	4,0	3,8	n.b.	n.b.	8,5	n.b.	52		eigene u. fremde Schwarten-Hackschnitzel			
73	n.b.	n.b.	0,33	12	7,1	n.b.	n.b.	640	n.b.	220		Recycling-Hackschnitzel			
74	n.b.	n.b.	0,39	5,4	1,7	n.b.	n.b.	2,7	n.b.	17		fremde Gatterspäne u. Sägemehl			
75	n.b.	n.b.	0,36	33	20	n.b.	n.b.	58	n.b.	87		getrocknete MS-Späne			
76	n.b.	n.b.	0,41	6,8	4,6	n.b.	n.b.	58	n.b.	69		getrocknete DS-Späne			
77	n.b.	n.b.	0,34	13	8,9	n.b.	n.b.	70	n.b.	100		Plattenrohling			
78	24-170	n.b.	0,08-0,8	290-558	6-24	455-760	<0,03	10-104	n.b.	n.b.	Kiefer u. Fichte	in Sachsen anfallende Altholzsortimente	k.a.	Scheithauer et al. (1995)	
79	0,2-0,7	n.b.	0,2-1,7	0,6-29	4,0-21	85-116	<0,03	116-907	n.b.	n.b.	Kiefer mit Lack- u. Kittresten	Fensterabrießholz			
80	0,3-4,0	n.b.	0,2-0,8	7,5-435	3,3-374	11,6-20,3	<0,03	2,6-810	n.b.	n.b.	Fichte z.T. mit PCP behandelt	Fußbodenabrießholz			
81	<(0,4)-17,0	<(5)-62,2	<(0,4)-5,0	<(1)-108	<(2)-14,2	<(2)-82,7	<(0,2)	<(5)-2964	<(10)	9,8-18433	Hölzer aus dem Innenausbau Einbauschränke, Leisten, Bretter, Treppengeländer/Bettbefestigung, Verkleidungen u.a. Mit versch. Farbanstrichen	Zerklein. der Proben in etwa 3 mm dicke Querschnitten mittels einer Kreissäge o. Bandsäge	siehe Seite 1	Bockelmann (1995)	

Fortsetzung Tabelle A 22: Gehalte anorganischer Holzschutzmittel-Verbindungen in behandeltem Holz

Nr.	As mg/kg	B mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	F mg/kg	Hg mg/kg	Pb mg/kg	Sn mg/kg	Zn mg/kg	Holz-Art	Holz-Probe	Probenahmev.	Nachw.	Autor
82	<(0,4)- 1,6	5,6-128	<(0,4)- 0,7	<(1)-582	<(2)- 12,1	<(2)-221	<(0,2)	<(5)-64,2	<(10)	<(2)-108		Balken, farblos, brauner Anstrich, grüne Färbung n= 22	Probenzuschnitte u. Recycling-holzhack-schnitzel ;	siehe Seite 1	Bockelmann (1995)
83	<(0,4)- 6,7	n.b.	<(0,4)- 8,9	<(1)-98	<(2)-6,8	<(2)-105	<(0,2)- 20	20-9530	n.b.	31- 14000		versch. Fenster untersch. Alters, versch. Farb-anstrichen (mit NGS-Studie) 68 Proben	Zerkleinert mit einer Schlagkreuzmühle o. Universal-mühle Luftdichtes Ver-schließen der Proben		
84	<(0,4)- 1,6	<(5)-189	<(0,4)- 0,8	<(1)-7004	<(2)- 3628	<(2)-230	<(0,2)- 1,0	<(5)-101	<(10)	4,2-160		Zäune, Pfähle versch. Farb-anstrich 20 Proben	Kabeltrommeln 10 Proben		
85	<(0,4)	<(5)- 1368	<(0,4)- 0,5	<(1)-9539	<(2)- 4220	<(2)- 25,3	<(0,2)- 0,5	<(5)-13,0	<(10)	9,8-107		Recyclingspäne u. -hack-schnitzel 9 Proben			
86	<(0,4)- 13,0	<(5)- 15,4	<(0,4)- 0,5	<(1)-37,4	<(2)- 22,1	3,3-14,4	<(0,2)	<(5)-297	n.b.	8,8-531		Spanplatten Typ V100 + V20 10 Proben			
87	<(0,4)- 6,0	<(5)- 17,9	<(0,4)	<(1)-42,3	<(2)- 25,3	<(2)- 15,6	<(0,2)	<(5)-198	<(10)	6,1-146		stückige Recy-linghölzer versch. Farb-anstrich 56 Proben			
88	<(0,4)- 55,0	<(5)-392	<(0,4)- 5,7	<(1)-6262	<(2)- 282	<(2)- 1646	<(0,2)- 2,9	<(5)- 36950	<(10)- 114	<(2)- 26519		Holz Bau imprägniert Holz Imprägnierung fraglich Spanplatten Möbel Spanplatten Bau Sperrholz	Herstellung von Säge-spänen Abtragung der Ober-fläche mit Hilfe einer groben Feile	1 -2 g Probe wurde naß-oxidativ mit HNO ₃ u. H ₂ SO ₄ im Quarzkolben auf-geschlossen Proben-Veraschung	Wolf et al. (1990)
89	k.a.	n.b.	n.b.	>0,01- 3691	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n= 8				
90	k.a.	n.b.	n.b.	>0,01- 19,877	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n= 16				
91	0,24	n.b.	n.b.	>0,01- 5,921	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n= 5				
92	0,24- 0,375	n.b.	n.b.	>0,01- 21,7	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n= 4				
93	0,24	n.b.	n.b.	>0,01- 1,078	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n= 5				

Fortsetzung Tabelle A 22: Gehalte anorganischer Holzschutzmittel-Verbindungen in behandeltem Holz

Nr.	As mg/kg	B mg/kg	Cd mg/kg	Cr mg/kg	Cu mg/kg	F mg/kg	Hg mg/kg	Pb mg/kg	Sn mg/kg	Zn mg/kg	Holz-Art	Holz-Probe	Probenahmev. Abtobeltiefe i.d.R. weniger als 1 mm	Nachw.	Autor
94	0,24- 4,535	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n= 6	Holz bis 1885	Abtobeltiefe i.d.R. weniger als 1 mm	Elementbesig. mittels AAS Graphitrohr- technik	Wolf et al. (1990)
95	0,24- 0,492	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n= 4	1886-1910	Erzeugung von Spänen	As-Bestg. mit Hybridsystem NWG As= 0,24 Cr=0,01	
96	>0,24- 2,48	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n= 2	1911-1935	Erzeugung von Spänen	As-Bestg. mit Hybridsystem NWG As= 0,24 Cr=0,01	
97	0,24- 0,272	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n= 33	1936-1985	mittels elektr. Säge- maschine Metall- abrieb möglich		

n.n. nicht nachweisbar

n.n.() nicht nachweisbar, mit Angabe der Nachweisgrenzen

n.b. nicht bestimmt

k.a. keine Angaben

k.w.A. keine weiteren Angaben

<() gemessene Konzentration liegt unter der jeweiligen Bestimmungsgrenze

<{} gemessene Konzentration liegt unter der jeweiligen Nachweisgrenze

A 3.2.2.3 Eindringtiefen anorganischer Holzschutzmittel-Verbindungen

Tabelle A 23: Eindringtiefen anorganischer Holzschutzmittel-Verbindungen

Wirkstoff/Element	Eindringverfahren	Aufnahmemenge	Hölzer	Eindringtiefe mm	Probenahmeverfahren	Nachweisverfahren	Bemerkung	Autor
K	Tauchverfahren	k.a.	Kiefer (Lichtmast) (grober Rotkernanteil) (ohne Rotkernanteil)	1-3	Bohrspäne aus Scheiben Ø= ca. 80 bis 100 mm	Farbreaktion: Cr u. Cu-Nachweis (TLG 1979 u. Bockelmann 1995)		Aehlig et al. (1996)
	Druckimprägnierung	25-30						
	Tauchverfahren	15-20						
CFA	Kesseldruckimprägnierung	312 kg/m ³ (Mittelwert) 141 kg/m ³ (Mittelwert)	Kiefer (Maste, n=29): Trockenrisse, versch. Splintholzanteile Fichte (Maste, n=30): Trockenrisse, versch. Splintholzanteile	39 (Mittelwert)	4 Bohrkern Ø= 5 mm	DIN 52 161, Teil 3	Holz aus 5 Höhenlagen	Gersonde, Becker (1965)
	Vakuum-Druckverfahren, Konz. Lsg. c= 4 Gew. %	210 kg/m ³		24 (Mittelwert)				
CKB	Wächseldruck-Verfahren, Konz. Lsg. c= 2,9 Gew. %	k.a.	Fichte (Masten): n= 4 mit/ohne Perforierung (Incising) n=12 mit/ohne Perforierung	1,8-2,3 cm ohne Perforierung; 3,1-3,9 cm mit Perforierung	Querschnitts-scheibe b= 5 cm in Faserrichtung diff. in Teilproben	Cr: Elektrolyse Cr: Jodometrie	Unters. in der Erd-Luftzone	Schulz (1971)
	Wächseldruck-Verfahren, Konz. Lsg. c= 2,9 Gew. %	k.a.		1,8-2,9 cm ohne Perforierung; 4,0-5,6 cm mit Perforierung				
	Boucherie-Verfahren Konz. Lsg. c= 3 Gew. %	k.a.		6,9-8,6 cm				
U-Salz (10%ig)	Tauchverfahren	s.O.: 58,1 g.O.: 45,5 s.O.: 98,6 g.O.: 81,5 s.O.: 60,3 g.O.: 87,5	k.a.	0,3	Luftgetrockn., Lagerung 40x40x400 mm (Scheiben)	Cr: Veraschung; Colorimetrie		Solar et al. (1980)
				0,3				
				1,8				
				1,9				
				0,7				
BF-Salz (20%ig)	Tauchverfahren	s.O.: 204±10 g/m ² 250 g/m ²	Fichte (Dachlatte) Kiefer: Splintholz/Kern (40x60 mm ²)	2,3	DIN 52618	F: Aufschluß/Veraschung; Schulblehre	Mittelwerte Parallelproben	Bavendamm, Ehlers (1954)
				3,5				
				2				
SF-Salz mit Phosphat (30%ig)	Tauchverfahren	s.O.: 60,3 g.O.: 87,5	Kiefer (Holzblock)	15,7	1 cm QS, Fläche: 3x30mm), mikrotomisierte Blöcke (Abschälung)	REM-EDXA	radiale Eindringung	Antoine, Wirgot (1977)
				8-21				
MgSi-F (10%) U-Salz (4%)	k.a. Imprägnierung mit Cu/Cr/As	versch.	Hopfenstangen: (120-140 mm) Western Hemlock, Tanne Kernholz	5-10	mit/ohne Klima-raum-lagerung; 5x10cm	Aufschluß (HNO ₃) (lg), AAS-Kaltdampferverfahren Sprühreagenz	90-98% d. Gesamtmenge/ Stange	Kluge (1991)
CCA (0,1 %)								Ruddick, Doyle (1990)

s. O.: sägeraube Oberfläche; g. O.: gehobelte Oberfläche; k. a.: keine Angaben; QS: Querschnitt; Ø: Durchmesser

9.4.2.2 Organische Verbindungen

9.4.2.2.1 Gehalte organischer Holzschutzmittel-Verbindungen in behandeltem Holz

Tabelle A 24: Gehalte organischer Holzschutzmittel-Verbindungen in behandeltem Holz

Nr.	PCP mg/kg	Lindan mg/kg	Holzart Herkunft	und stand	Probenahmeverfahren	Nachweisverfahren	Bemerkungen	Autor
1	<(0,1)	<(0,08)	Argentinien	Gemüsesteige	Probenzerkleinerung mit einer Kreis- o. Bandsäge in 3 mm Querschnitts-scheiben	1,5 g Probe wurden mit 1 M H ₂ SO ₄ versetzt u. für 45 min im Ultraschallbad behandelt	Voll- u. Sperrholz	Bockelmann (1995)
2	<(0,1)-0,17	<(0,08)	Spanien	Gemüsesteigen	Homogenisierung der Proben	PCP-Derivatisierung mit 0,1 M Kalium-carbonatlösung u. Essigsäureanhydrid	Voll-u. Sperrholz, Hartfaser	
3	0,90	<(0,08)	Portugal	Gemüsesteigen			Vollholz	
4	<(0,1)	<(0,08)	Holland	Gemüsesteige			Vollholz, Hartfaser	
5	<(0,1)	<(0,08)	Griechenl.	Gemüsesteige			Vollholz	
6	<(0,1)	<(0,08)	Frankr.	Gemüsesteige	Untersuchung von insgesamt 39 Proben:		Vollholz	
7	<(0,1)	<(0,08)	Italien	Gemüsesteige	19 Gemüsesteigen, 4 Kisten, 1 Spankorb und 15 Paletten		Voll-u. Sperrholz, Hartfaser	
8	<(0,1)	<(0,08)	Mischg. aus dem Super- u. Wo-chenmarkt	Gemüsesteigen		gegfl. Aufreinigung über Kartuschen	Vollholz	
9	<(0,1)	<(0,08)	Mischung vom Spanplattenwerk Deutschland	Gemüsesteigen		Bestg.grenze für PCP mit Auf-reinigung über die Kartusche	Vollholz	
10	<(0,1)	<(0,08)		Spankörbe			Vollholz	
11	<(0,1)	<(0,08)	Handel; Anfall im WKI, Papierbranche	EW-Platten			Vollholz	
12	0,05	<(0,08)	Papierbranche	Palettenbreiter			Vollholz	
13	<(0,1)	<(0,08)	Handel, Anfall im WKI Alholzannahme-stelle	Euro-Palette		Bestg. mit GC/ECD	Vollholz	
14	<(0,1)	<(0,08)	Anfall im WKI	CP4-Palette			Vollholz	
15	<(0,1)	<(0,08)	Handel	EW-Palette			Voll- u. Pressholz	
16	<(0,1)	<(0,08)	Handel	Kiste			Vollholz	

Fortsetzung Tabelle A 24: Gehalte organischer Holzschutzmittel-Verbindungen in behandeltem Holz

Nr.	PCP mg/kg	Lindan mg/kg	Holzart	Holzgeg.	Probennahmeverfahren	Nachweisverfahren	Bemerkungen	Autor
17	<(0,1)	<(0,08)	Frankr.	Kiste	siehe Seite 1	siehe Seite 1	Vollholz	Bockelmann (1995)
18	<(0,1)	<(0,08)	Indien	Kiste			Sperrholz	
19	52	<0,01	Oregon. Pine				Mit jeweils 10 % Standard- abweichung	Ruh und Gebefligi (1984)
20	1	0,140			Sägemehl	0,5-2 g Probe mit 10 ml Aceton versetzt u. für 2 min im Ultraschallbad be- handelt, Deriv. mit K ₂ CO ₃ -Lsg. und Essigsäureanhydrid		
21	0,320	<0,01	Red Pine					
22	<0,01	<0,01						
23	<0,01	<0,01	Nord. Kiefer					
24	0,720	<0,01	Asacu					
25	n.n.(0,05)-2,13	n.n. (0,02)- 0,07	Spanplatten- industrie	Trockenspan n=3	Zerkleinerung der Proben	Besfg. über GC/ECD		
26	n.n.(0,05)-0,94	n.n. (0,02)- 0,06		Spanplatte V 20 n=14		Lindanbestg. durch Extraktion mit Xylol, GC/ECD		
27	n.n.(0,05)-0,49	n.n.(0,02)-0,06		Spanplatte V100 n=6		PCP-Besfg. durch Extraktion mit wässriger Kalium- carbonatlg.,		
28	0,42-1,45	n.n.(0,02)-0,06	Späne aus der Möbel-fabrikation	Spanplatten n=8		Derivatisierung mit Acetanly- drid, GC/ECD		
29	0,09	0,02	Späne aus der Möbel-fabrikation	Massivholz n=1				
30	n.n. (0,05)	n.n.(0,02)-0,02		MDF-Platten n=2				
31	0,06	0,03		Hartfaser-platten n=1				

Fortsetzung Tabelle A 24: Gehalte organischer Holzschutzmittel-Verbindungen in behandeltem Holz

Nr.	PCP mg/kg	Lindan mg/kg	Holzart	Holzgeg.	Probenahmeverfahren	Nachweisverfahren	Bemerkungen	Autor
34	0,42-3,86	n.n.(0,02)-2,57	Altholz	Hack-schnittzel n=7	siehe Seite 2	siehe Seite 2	Von Altholzauf-bereitern	Strecker und Marutzky (1994)
35	0,31--163,3	n.n.(0,1)-6,32	Kiefer n=1	50iger Jahre weißer Farb-anstrich	Sammlung von 50 Fenstern, deren Alter u. Lage im Haus möglichst bekannt waren	Untersuchung erfolgte an per Zufall gezogenen Stich-proben	Untersuchung Altfenstern	NGS (1995)
36	9,90	2,57	Kiefer n=1	60iger Jahre weißer Farb-anstrich				
37	2,09	n.n.(0,1)	Kiefer n=1	1962 weiß/brauner Farb-anstrich	Vermessen der Fenster	Bestg. der Holzfeuchte nach DIN 68 351		
38	19,7-40,1	0,43-0,52	Kiefer laminiert n=2	Anfang des Jahrhunderts weißer Farb-anstrich	Notierung von Farb-anstrich u. Verglasung			
39	62,0	0,71	Kiefer/Fichte laminiert n=1	Anfang des Jahrhunderts weißer Farb-anstrich	Holz-kundliche Untersuchung	Bestg. des Aschen-gehalts nach DIN 38 414, Teil 3		
40	0,55	n.n.(0,1)	Kiefer n=1	Anfang des Jahrhunderts weißer Farb-anstrich	Von jedem Fenster wurden 5 Bohrkern mit einem Durch-messer a 4,5 cm heraus-gefräst	Probenextraktion und Derivat-isierung von PCP Messung mit GC/ECD		
41	1,03	n.n.(0,1)	Fichte n=1	Anfang der 60iger Jahre weißer Farb-anstrich				
42	n.n.(0,1)-13,8	n.n.(0,1)-0,22	Kiefer n=4	30iger Jahre weißer Farb-anstrich	Homogenisierung der Bohr-kerne durch Hacken u. Mahlen			
43	0,29-32,0	n.n.(0,1)-3,14	Fichte n=3	30iger Jahre weißer Farb-anstrich				
44	0,34	n.n.(0,1)	Tanne/Fichte laminiert n=1	30iger Jahre weißer Farb-anstrich	Probentrocknung an der Luft			

Fortsetzung Tabelle A 24: Gehalte organischer Holzschutzmittel-Verbindungen in behandeltem Holz

Nr.	PCP mg/kg	Lindan mg/kg	Holzart	Holzgeg.	Probenahmeverfahren	Nachweisverfahren	Bemerkungen	Autor
45	9,65	n.n.(0,1)	Tanne n=1	30iger Jahre weißer Farbanstrich	siehe Seite 3	siehe Seite 3		NGS (1995)
46	0,64-54,5	n.n.(0,1)>1,63	Kiefer n=2	50iger Jahre brauner Farbanstrich				
47	0,65-25,7	n.n.(0,1)>4,56	Fichte n=4	50iger Jahre weißer Farbanstrich				
48	0,48	0,16	Tanne n=1	50iger Jahre weißer Farbanstrich				
49	n.n.(0,1)	0,48	Fichte n=1	30iger Jahre brauner Farbanstrich				
50	16,4	n.n.(0,1)	Kiefer n=1	50iger Jahre weiß/brauner Farban- strich				
51	0,31-1,52	1,29-1,63	Fichte n=2	1955 weißer Farbanstrich				
52	0,12	0,12	Tanne n=1	30iger Jahre weiß/brauner Farban- strich				
53	0,19	0,39	Fichte n=1	30iger Jahre weiß/brauner Farban- strich				
54	2,76-3,63	n.n.(0,1)	Red Meranti n=2	Anfang der 70iger Jahre lasierend				
55	0,17	n.n.(0,1)	Kiefer Splint verblaut n=1	50iger Jahre weiß/grüner Farban- strich				
56	1,34	n.n.(0,1)	Kiefer n=1	1880 grau-brauner Farban- strich				
57	0,31-3,46	n.n.(0,1)>1,17	Kiefer n=5	1958 weißer Farban- strich				
58	0,33	n.n.(0,1)	Fichte n=1	Anfang des Jahrhun- derts grauer Farban- strich				

Fortsetzung Tabelle A 24: Gehalte organischer Holzschutzmittel-Verbindungen in behandeltem Holz

Nr.	PCP mg/kg	Lindan mg/kg	Holzart	Holzgeg.	Probenahmeverfahren	Nachweisverfahren	Bemerkungen	Autor
59	<0,03	<0,05		Uralt-Spanplatte E3	ka.	k. a.		Wehle et al. (1996)
60	<0,03	<0,05		Altmöbel Vollholzmöbel 60-80 Jahre alt				
61	<(0,1)-11,6	<(0,08)-20,9		Hölzer aus dem Innenausbau Einbauschränke, leisten, Bretter, Treppengeländer, Verkleidungen, Bettbefestigung Mit versch. Farbanstrich 30 Proben	Zerkleinerung der Proben in etwa 3 mm dicke Querschnittsscheiben mittels einer Kreissäge o. Bandsäge Probenzuschmitte u. Recyclingholzhackschnitzel wurden mit einer Schlagkreuzmühle o. Universalmühle zerkleinert Luftdichtes Verschließen der Proben	siehe Seite 1		Bockelmann (1995)
62	<(0,1)-0,32	<(0,08)		Balken farblos, mit braunem Anstrich, grüner Färbung 22 Proben				
63	<(0,1)-163	<(0,08)-6,32		versch. Fenster untersch. Alters, versch. Farbanstrichen (mit NGS-Studie) 68 Proben				
64	0,11-0,70	<(0,08)-2,59		Zäune, Pfähle versch. Farbanstrich 20 Proben				
65	<(0,1)-1,32	<(0,08)-0,26		Kabeltrommeln 10 Proben				
66	<(0,1)-4,43	<(0,08)-1,39		Recyclingspäne u. -hackschnitzel 9 Proben				
67	<(0,1)-4,87	<(0,08)-0,25		Spanplatten Typ V 100 u. V 20 10 Proben				

Fortsetzung Tabelle A 24: Gehalte organischer Holzschutzmittel-Verbindungen in behandeltem Holz

Nr.	PCP mg/kg	Lindan mg/kg	Holzart	Holzgeg.	Probenahmeverfahren	Nachweisverfahren	Bemerkungen	Autor
68	<(0,1)-538	<(0,08)-6,28		stickige Reyc- elingshölzer versch. Farb- strich 56 Proben	siehe Seite 5	siehe Seite 1		Bockelmann (1995)
69	1800	0,57	Kindergarten A	Deckenleiste	Untersuchung von 15 von 33	k. a.	10 mg/kg PCP u. bis zu 2 mg/kg Lindan wurden als Grund- belastung eingestuft	Lahl und Neisel (1989)
70	100	n.n.		Fenster- verkleidung	Kindergärten der Stadt Bielefeld			
71	1300	n.n.		Deckenbretter	Probenahmen fanden in den Kinder- gärten statt, die nennenswerte höl- zerne Innenauskleidungen aufwiesen			
72	1700	0,17		Balken				
73	1400	0,43		Profilhölzer				
74	1300	20	Kindergarten B	Balken- verkleidung				
75	1000	10		Profilhölzer	Es wurden 3 bis 5 versch. Holzproben von der Holzoberfläche 1 bis 3 mm tief abgehobelt			
76	1100	n.n.		Leiste				
77	1000	25		Profilhölzer				
78	490	70	Kindergarten C	Profilhölzer				
79	620	75		Profilhölzer				
80	1000	32	Kindergarten D	Profilhölzer	Raummaße und Holzflächen der belasteten Kindergärten wurden bei Begehungen abgeschätzt			
81	1400	n.n.		Profilhölzer				
82	230	26	Kindergarten E	Profilhölzer				
83	330	6,9		Profilhölzer				
84	1,5	0,19	Kindergarten F	Deckenbretter	Analoge Untersuchung von Staub- proben und Innenraumluftmessung			
85	80	4,9		Profilholz				
86	870	161		Deckenbretter				
87	830	18	Kindergarten G	Balken				
88	5,2	0,08		Profilholz				
89	1,3	n.n.		Profilholz				
90	400	12	Kindergarten H	Balken				
91	1,8	0,13		Profilholz				
92	280	29	Kindergarten I	Profilholz				
93	560	0,32		Profilholz				
94	180	0,05	Kindergarten J	Profilholz				
95	140	n.n.		Profilholz				

Fortsetzung Tabelle A 24: Gehalte organischer Holzschutzmittel-Verbindungen in behandeltem Holz

Nr.	PCP mg/kg	Lindan mg/kg	Holzart	Holzgeg.	Probenahmeverfahren	Nachweisverfahren	Bemerkungen	Autor
96	1,5	n.n.	Kindergarten J	Profilholz	siehe Seite 6	k.a.	siehe Seite 6	Lahl und Neisel (1989)
97	1,8	280	Kindergarten K	Profilholz				
98	140	2,0		Profilholz				
99	60	3,2		Profilholz				
100	2,4	n.n.		Heizverkleidung				
101	14	0,66	Kindergarten L	Profilholz				
102	220	0,05		Deckenleiste				
103	20	n.n.		Deckenleiste				
104	2,8	67	Kindergarten M	Balken				
105	2,8	n.n.		Profilholz				
106	280	13		Fensterverkleidung				
107	2,0	0,98		Fensterverkleidung				
108	4,3	28	Kindergarten N	Profilholz				
109	4,7	n.n.		Profilholz				
110	1,8	85	Kindergarten O	Profilholz				
111	20,5	14		Profilholz				
112	20,5	12		Profilholz				
113	330	12	Kindergarten	Holzverkleidung	Probenahme erfolgte mit einem Handhobel an mehreren Stellen durch Abhobeln von Spänen bei einer Entnahmetiefe von 1mm	Standardzugabe - Zur PCP-Bestg. Ansäuerung mit H ₂ SO ₄ Kaltextraktion mit -Diethyl-ether im Ultraschallbad Deriv. von PCP mit Diazomethan zu Methyl-Pethyl-Ether Bestg. mittels GC/MS	Materialabtrag 0-1 mm Materialabtrag 1-2 mm	Blessing und Derra (1992)
114	21,2	0,6		Holzverkleidung				
115	573	98		Deckenverkleidung				
116	1235	115		Tragbalken	Transport in Alufolie o. Glasgefäßen			
117	113	11		Fensterrahmen				
118	alg. Chlorphenole 16 840	17 820	Oberfläche Kiefer	Norddeutsches Weichholz n=1	Herstellung von Sägespänen Abtragung der Oberflächenprobe mit Hilfe einer groben Feile	Elution sverfahren		Wolf et al. (1990)
119	alg. Chlorphenole 0,03-0,32	0,05-1,0		Holz/Möbel Herstellung n= 10		Abhobeltiefe i.d.R. weniger als 1 mm	1 g Probe versetzt mit 10 ml Benzol	

Fortsetzung Tabelle A 24: Gehalte organischer Holzschutzmittel-Verbindungen in behandeltem Holz

Nr.	PCP mg/kg	Lindan mg/kg	Holzart/ Herkunft	Holzgeg.	Probenahmeverfahren	Nachweisverfahren	Bemerkungen	Autor
120	allg. Chlorphenole 0,03	0,05	nicht wasserfeste Platten	Holz Gestellbau n=8	Für Kernproben Entfernung von ca. 1 mm Oberfläche; Herstellung von Spänen mittels eines Bohrers	Standardzugabe; 8h Ultraschallbehandlung	NWG PCP= 0,03 NWG Lindan= 0,05	Wolf et al. (1990)
121	allg. Chlorphenole 0,03	0,05	wasserfeste Platten V 100	Spanplatten Möbel n=5	Herstellung von Spänen durch mehrmaliges Durchsägen der Proben Verwendung einer elektrischen Sägemaschine. Metallabrieb möglich	Deriv. der Chlorphenole mit Diazomethan		
122	allg. Chlorphenole 0,03-0,49	0,05	wasserfeste Platten V 100	Spanplatten Bau n=4				
123	allg. Chlorphenole 0,03	0,05	Gabun-, Meranti-, Okume- u. Buchenholz	Sperrholz n=5				
124	allg. Chlorphenole 0,03-21,68	0,05-2,61	Fichte, Kiefer aus der BRD	Rohholz (sägeroh) imprägniert n=7				
125	allg. Chlorphenole 15,4	6,45	Fichte, Kiefer andere Länder	Rohholz (sägeroh) imprägniert n=1				
Nr.	Dichlorphenole mg/kg	Tetrachlorphenol mg/kg	Holzart/ Herkunft	Holzgeg.	Probenahmeverfahren	Nachweisverfahren	Bemerkungen	Autoren
126	4,36	k.a.	k.a.	Bauspanplatte	siehe oben	siehe oben		Wolf et al. (1990)
127	2,65	k.a.	k.a.	Sperrholzplatte				
Nr.	PCP mg/kg	Tetrachlorphenol mg/kg	Holzart/ Herkunft	Holzgeg.	Probenahmeverfahren	Nachweisverfahren	Bemerkungen	Autoren
128	0,67	0,42	Schwed. Kiefer		siehe oben	siehe oben		Wolf et al. (1990)
129	2754	385	unbekannt Schichttiefe 0-1,5 mm	Holz behandelt Holzvertäfelung Balken	Versuchsobjekt: Einfamilienhaus, dessen Holzvertäfelung u. Balken mit PCP-haltigen HSM gestrichen worden waren Bewohner zeigten typ. Krankheits- symptome	1-5 g Probe mit 0,1 N K ₂ CO ₃ behandelt Extraktion mit Toluol Deriv. mit Acetanhydrid		Wolf et al. (1990) Palar und Gebefügi
130	1665	302						
131	1829	279						
132	1922	228						
133	2325	n.b.						
134	1750	n.b.						

Fortsetzung Tabelle A 24: Gehalte organischer Holzschutzmittel-Verbindungen in behandeltem Holz

Nr.	PCP mg/kg	Tetrachlor- phenol mg/kg	Holzart/ Herkunft	Holzgeg.	Probennahmeverfahren	Nachweisverfahren	Bemerkungen	Autoren
135	2260	n.b.						
136	1570	n.b.						
137	1800	234	unbekannt	Holz behandelt	Homogenisierung der Proben	Auschüttung mit n-Hexan		Palar und Gebefügi
138	749	149			Unterteilung der Proben in 3 Schichten	Messung mit dem GC/ECD		
139	988	107	Schichttiefe 1,5-3 mm	Holzverfäufelung Balken	Oberschicht: 0,0-1,5 mm Mittelschicht: 1,5-3,0 mm Unterschicht: 3,0-8,0 mm			
140	612	87						
141	1470	n.b.						
142	842	n.b.						
143	1120	n.b.						
144	810	n.b.						
145	338	75	unbekannt	Holz behandelt				
146	117	61	Schichttiefe 3-8 mm	Holzverfäufelung Balken				
147	228	89						
148	131	54						
149	290	n.b.						
150	174	n.b.						
151	340	n.b.						
152	120	n.b.						
153	121	350	Fichtenholz waldgelagert	Rinde	Untersuchung von 2 waldgelagerten Fichtenstämmen	Lindan + Cypermethrin 20 g Späne mit 150 ml Wasser versetzt Nach 15 min 250 ml Acetonzugabe, 3 min im Ultraturax gemixt	Probenscheibe von der Seite des Stammab- schnitts 14 d nach Anwendung	Wuif et al. (1993)
154	0,03	0,67	Stamm mit Rinde	Splint				
155	0,02	0,21		Kern	Behandlung mit Ripcord 40 bzw. TOP Borkenkäfermittel			

Fortsetzung Tabelle A 24: Gehalte organischer Holzschutzmittel-Verbindungen in behandeltem Holz

Nr.	Cypermethrin mg/kg	Lindan mg/kg	Holzart	Holzgeg.	Probenahmeverfahren	Nachweisverfahren	Bemerkungen	Autor
156	71	115		Rinde	gegen Borkenkäfer	Abnutzen, mit 5 g NaCl versetzt u. mit 50 ml n-Hexan 2 min geschüttelt, über	Probenscheibe von der Seite des Stammabschnittes 84 d nach Anwendung	Wulf et al. (1993)
157	0,02	0,07		Splint	Holz aus der Revierförsterei Wolfenbüttel			
158	0,01	0,04		Kern				
159	56	72		Rinde	pro Baum wurde je ein 3 m langer Abschnitt mit 0,5 % Ripcord (Wirkstoff 40% Cypermethrin), 3 % TOP Borkenkäfermittel, enthält 23 g Lindan+ 45 g Procurecarb naßgespritzt	Probenscheibe von der Seite des Stammabschnittes 168 d nach Anwendung		
160	<0,01	0,05		Splint	Kontrolle mit Wasser-	Extrakt-Reinigung nach der DFG-Meth. S 19	Probenscheibe aus der Mitte des Stammabschnittes 168 d nach Anwendung	
161	0,01	0,02		Kern				
162	42	58		Rinde				
163	0,01	0,02		Splint	Beschattung u. Lagerung	Extraktreinigung der Rinde nach DFG S 23	Probenscheibe von der Seite des Stammabschnittes 14 d nach Anwendung	
164	<0,01	0,01	entrindeter Stamm	Kern				
165	-	-		Rinde	Entnahme von 10 cm starken Holzscheiben	Messung mit GC/ECD	Probenscheibe von der Seite des Stammabschnittes 84 d nach Anwendung	
166	0,03	0,66		Splint				
167	0,02	0,17		Kern				
168	-	-		Rinde	Entnahme von Proben aus dem Kern, Splint erfolgte durch Hobeln u. mittels Schlagwerk zu Spänen verarbeitet		Probenscheibe von der Seite des Stammabschnittes 168 d nach Anwendung	
169	0,05	0,04		Splint				
170	<0,01	0,02		Kern				
171	-	-		Rinde				
172	0,03	0,02		Splint				
173	0,02	0,01		Kern				

Fortsetzung Tabelle A 24: Gehalte organischer Holzschutzmittel-Verbindungen in behandeltem Holz

Nr.	Cypermethrin mg/kg	Lindan mg/kg	Holzart/ Herkunft	Holzgeg.	Probenahmeverfahren	Nachweisverfahren	Bemerkungen	Autor
174	-	-		Rinde	siehe Seite 10	siehe Seite 10	Probenscheibe aus der Mitte des Stammabschnittes 168 d nach Anwendung	Wuif et al. (1993)
175	0,06	<0,01	Nieder- österreich	Splint Kern Sägemehl	je 5 versch. Sägewerke in Niederösterreich und Tirol	10 g Späne mit 150 ml Aceton versetzt, ½ h stehen gelassen Filtrat wird mit NaCl-Lsg., Wasser, NaOH, Petrolether geschüttelt, filtriert, eingeeignet	Untersuchte Einzelproben	Glattes (1983)
176	0,05	<0,01						
177	0,003	0						
178	0,001	0						
179	0,027	0						
180	0,002	0						
181	0,003	0						
182	0,017	0						
183	0	0,5						
184	0	0						
185	0	0,0003	Tirol	Hackgut	Probenahme (1982) zu versch. Zeiten	Probenkonzentrat über Aluminiumoxid-säule mit Petrolether eluiert	9 Proben 10 Proben	
186	0	0						
187	0	0	Tirol	Rinden-stücke				

k.a. keine Angaben

n.b. nicht bestimmt

n.b.b. nicht bestimmbar

n.n. nicht nachweisbar, ohne weitere Angaben

n.n.() nicht nachweisbar, mit Angabe der Nachweisgrenzen

<() gemessene Konzentrationen liegen unter der jeweiligen Bestimmungsgrenze

- keine Angaben

9.4.2.2 Eindringtiefen organischer Holzschutzmittel-Verbindungen

9.4.2.3 Eindringtiefen organischer HSM-Verbindungen

Tabelle A 25: Eindringtiefen organischer HSM-Verbindungen

Wirkstoff	Eindringverfahren	Aufnahmemenge	Holzart/-eigenschaft	Eindringtiefe mm	Probenahmeverfahren	Nachweisverfahren	Autor
versch. Öle (versch. Dichte) Carbolineum Corey 34 (EssoÖl) Öl B und D Hausbock bekämpfungöle	Ölaufstrich	250 g/m ²	Kiefer/ Splintholz	≥ 7 Mittelwert n=20	1wöchige Lagerung 1 cm breite Streifen	k.a.	Becker (1961)
		500 g/m ²		≥ 12 (n=20) Mittelwert		k.a.	
		250 g/m ²		≤ 4 n=20		k.a.	
		500 g/m ²		≤ 7 (n=20) Mittelwert		k.a.	
Steinkohlenteeröl	Tränk-, Rüping- Verfahren	98 kg/m ³	Kiefer/ Splintholz	39,5±11	Masten Querschnitts- scheiben	Extraktion mit Chloro- form	Gersonde; Kottlors (1977)
PCP (5%) o. Bdm. + 10% Alkydharz	Anstrich DIN 52160; DIN 52162, Teil 2	150 g/m ²	Kiefer/ Splintholz	12-13 9,5	Normklotz: 5×5×2 cm Lagerung (Normklima)	C ¹⁴ -Mark. Kontakt- autoradio- grafie	Burger et al. (1983)
TBTO, Xyligen B (3,5%) o. Bdm.; + 10% Alkydharz		100 g/m ²		11 7			
Carbolineum	Tauch- verfahren	s.O.: 345,1 g/m ² g.O.: 271 g/m ²		2,9 2,6	luftgetrockn., Lagerung 40×40×400 mm (Scheiben)	PCP: H ₂ O-Dampf- Destillation Kolorimetrie	Solar et al. (1980)
TBTO		s.O.: 279,2 g/m ² g.O.: 253,3 g/m ²		0,2 0,2			
TBTO, Endosulfan		s.O.: 335,2 g/m ² g.O.: 330,5 g/m ²		3,4 4,1			
PCP Lasur Imprägnieröl Salz (5%)		s.O.: 267,2 g/m ² g.O.: 261,0 g/m ² s.O.: 374,0 g/m ² g.O.: 271,8 g/m ² s.O.: 40,6 g/m ² g.O.: 46,0 g/m ²		0,1 0,2 2,7 1,9 0,2 0,2		Gravimetrie Schublehre	Solar et al. (1980)
Teerölpräp. Chlornaphthalin Carbolineum		170±19 cm ³ /m ² 180±19 cm ³ /m ²	Fichte/ Splintholz	< 1			Bavendamm, Ehlers (1954)
		247±44 cm ³ /m ² 294±82 cm ³ /m ²	Kiefer	etwa 7			
Lindan (0,5%) Dieldrin	Tauch-, Vakuum- verfahren	300 g/m ²	Kiefer/ Splintholz	2 1-2	15×20×50 mm	Methanol- extraktion GC/ECD	Orsler et al. (1982)
Tebuconazol Permethrin	k.a.	k.a.	Fichte, Kiefer, Lärche/ Kernholz	< 1 < 1	luftgetrocknet 24×120×500 mm	SEM-EDX	Bodner, Pekney (1991)
Lindan (0,5%) PCP	Vakuum- verfahren.	30 g/m ³	Fichte/ Splintholz Kiefer	radial: 2 tangential: 1 lateral: 2 radial: 13-14 tangential: 3-4	65×50×600 mm	Aceton- Extraktion GC/ECD	Morgan, Purslow (1973)
<u>Modellpräp.</u> Lindan 1 % Dichlofluanid 0,5% PCP 5%		250 ml/m ²	Kiefer Fichte/ Splintholz	4-5 2	10×5×2 cm DIN 52162 Fläche: 50cm ²		Petrowitz (1986)
Handel-Präp.			Kiefer Fichte	7-9 1-2			Petrowitz (1986)

s.O.: sägeraue Oberfläche; o. Bdm.: ohne Bindemittel; k.a.: keine Angaben