
Materialien

Nr. 37

Schadstoffströme
bei der Gebrauchtholzverwertung
für ausgewählte Abfallarten



Landesumweltamt
Nordrhein-Westfalen

Materialien

Nr. 37

Schadstoffströme
bei der Gebrauchtholzverwertung
für ausgewählte Abfallarten

Untersuchungsbericht des Instituts für
Abfall- und Abwasserwirtschaft e.V. (INFA)
im Auftrag des
Landesumweltamtes NRW

Essen 1997

IMPRESSUM

Herausgegeben vom

Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen

Wallneyer Str. 6 • 45133 Essen

Telefon (02 01) 79 95 - 0 • Fax (02 01) 79 95 - 446

ISSN: 0947 – 5206

Redaktion: Dipl.-Ing. H.-Dieter Winkler

Gedruckt auf 100 % Altpapier ohne Chlorbleiche

Vorwort

Holz ist ein universell einsetzbarer Rohstoff, der als Bau- und Möbelwerkstoff, aber auch als Papierrohstoff und Brennstoff und Energieträger Verwendung findet. Mit einer Jahresproduktion von weltweit über 2 Mrd. Tonnen ist Holz mit Abstand der massenreichste Rohstoff.

Holz ist auch ein Recyclingstoff. Alleine in Nordrhein-Westfalen fallen jährlich 3,6 Mio t Gebraucht- und Restholz an, von denen ein zunehmender Anteil der Verwertung zugeführt wird. Hauptabnehmer von getrennt gesammeltem oder aus Sperrmüll und Gewerbeabfällen aussortiertem Gebrauchtholz sind die Produzenten von Hackschnitzeln. Hackschnitzel werden zur Herstellung von Spanplatten verwendet, also stofflich verwertet oder zur Energiegewinnung verbrannt.

Der Handlungsdruck zur weitergehenden Verwertung von Gebraucht- und Restholz wird infolge des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes und durch die Anforderungen der TA Siedlungsabfall, die ab 2005 keine Ablagerung von Holz auf Deponien mehr zuläßt, noch stärker werden. Damit wächst aber auch die Gefahr, daß die Verwertung nicht mehr ordnungsgemäß und schadlos erfolgt, d. h. – daß es beispielsweise zu Anreicherungen von Schadstoffen in Produkten aus Gebrauchtholz kommt.

1995 wurde das Landesumweltamt NRW zur Ablagerungsfähigkeit von Holzaschen mit erhöhten Schwermetallgehalten um Stellungnahme gebeten. Anreicherungsprozesse durch holzschutzmittelbehandeltes Holz waren erkennbar. Dies war der Anlaß zur Vergabe des Untersuchungsvorhabens „Schadstoffströme bei der Gebrauchtholzverwertung für ausgewählte Abfallarten“ an das Institut für Abfall- und Abwasserwirtschaft e.V. in Ahlen. Ziel des Vorhabens war es, die Rahmenbedingungen für die Holzentsorgung darzustellen, Mengen und Potentiale aufzuzeigen und Vorschläge für Anforderungen an die Verwertung von Rest- und Gebrauchtholz zu erarbeiten. Hierzu wurden auch umfangreiche Analysen von Holzproben aus Verwertungsbetrieben durchgeführt.

Wegen seiner Bedeutung und wegen des großen Interesses wird der Original-Untersuchungsbericht hier als LUA-Materialienband der Fachöffentlichkeit kurzfristig zur Verfügung gestellt. Es ist selbstverständlich, daß die Untersuchungsergebnisse noch diskutiert und ausgewertet werden müssen, bevor Regelungen zum technischen Umweltschutz bei der Gebrauchtholzverwertung getroffen werden.

Essen, im Februar 1997



Dr.-Ing. Harald Imer
Präsident des
Landesumweltamtes NRW

**Schadstoffströme bei der Gebrauchtholz-
verwertung für ausgewählte Abfallarten
- Textband -**

**im Auftrag des Landesumweltamtes NRW
Auftrags-Nr.: 03229**

Institut für Abfall- und
Abwasserwirtschaft e. V.

Wissenschaftlicher Leiter:
Prof. Dr.-Ing. B. Gallenkemper
Bearbeiter:
Dipl.-Ing. S. Flamme
Dipl.-Ing. M. Fritsche
Dipl.-Ing. G. Hegemann
Dipl.-Ing. G. Walter

Ahlen, November 1996

Inhaltsverzeichnis

	<u>Seite</u>
1. Ziel und Aufgabenstellung	1
2. Begriffsbestimmungen.....	2
3. Rahmenbedingungen und Möglichkeiten bei der Gebrauch- und Restholzentorgung	4
3.1 Allgemeines	4
3.2 Mögliche Verunreinigungen im Gebrauchtholz.....	6
3.2.1 Allgemeines	6
3.2.2 Holzschutzmittel	6
3.2.3 Farbanstriche.....	9
3.2.4 Bindemittel in der Holzwerkstoffindustrie	11
3.2.5 Beschichtungen von Holzwerkstoffen	12
3.3 Rechtliche Rahmenbedingungen für die Gebrauchtholz-entorgung	12
3.3.1 Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz	12
3.3.2 TA Siedlungsabfall und TA Abfall.....	14
3.3.3 Bundesimmissionsschutzgesetz	15
3.3.4 Chemikalienverbotsverordnung	15
3.4 Verwertung von Gebrauch- und Resthölzern	17
3.4.1 Stoffliche Verwertung von Gebrauch- und Restholz und deren Anforderungen	17
3.4.1.1 Verwertung in der Holzwerkstoffindustrie	17
3.4.1.2 Verwertung als Strukturmaterial zur Kompostierung von Klärschlamm	19
3.4.1.3 Weitere stoffliche Verwertungsmöglichkeiten von Gebrauch- und Restholz.....	21
3.4.2 Dekontamination von behandelten Gebrauch- und Resthölzern	22
3.4.3 Energetische Verwertung	23
3.4.3.1 Einsatz in betriebseigenen Feuerungsanlagen	23
3.4.3.2 Einsatz im Zementwerk	25
3.4.3.3 Holzvergasung	26
3.5 Beseitigung von Gebrauch- und Resthölzern.....	27

3.5.1 Ablagerung von Gebrauch- und Restholz sowie Holz- aschen	28
3.5.2 Thermische Behandlung von Gebrauch- und Resthölzern	28

4. Gebrauch- und Restholzpotential und Situation der Aufbereitung in

Nordrhein-Westfalen

4.1 Gebrauch- und Restholzpotential im Jahr 1993 in NRW	29
4.1.1 Allgemeines	29
4.1.2. Vorgehensweise bei der Ermittlung des Gebrauch- und Restholz- potentials in NRW	29
4.1.2.1 Darstellung des Vorgehens	29
4.1.2.2 Eigene Untersuchungen	30
4.1.2.3 Untersuchungen anderer Institute und Firmen	34
4.1.2.4 Festlegung von begründeten Praxiswerten von Gebrauch- und Restholzanteilen in Abfall- fraktionen	35
4.1.2.5 Aufkommen der Abfallfraktionen mit Gebrauch- und Restholzanteilen in NRW 1993	36
4.1.3 Berechnung des Gebrauch- und Restholzpotentials für NRW	37
4.1.3.1 Berechnung der an öffentlichen Entsorgungs- anlagen angelieferten Gebrauch- und Rest- holzmenge	37
4.1.3.2 Mengenströme Gebrauch- und Restholzmenge in NRW (ohne verwertete Menge)	39
4.1.4 Verwertete Gebrauch- und Restholzmengen in NRW	40
4.1.5 Gebrauch- und Restholzpotential in NRW (1993)	41
4.2 Organisation der Gebrauch- und Restholzaufbereitung in NRW	42
4.2.1 Ziel und Ablauf der Firmenbefragung	42
4.2.2 Auswertung	43
4.2.2.1 Rücklauf	43
4.2.2.2 Anlieferung der Gebrauchthölzer	44
4.2.2.3 Aufbereitung	45
4.2.2.4 Qualität und Vermarktung der Recyclinghack- schnittel	49
4.2.2.5 Zukunftsperspektiven aus Sicht der Holzaufbe- reiter	49
4.2.3 Zusammenfassung	50

5	Derzeitige Vorschläge für Anforderungen an Rest- und Gebraucht-	
	holz zur Verwertung	51
5.1	Anforderungen an Recyclinghackschnitzel für die stoffliche Ver-	
	wertung	51
5.1.1	Anforderungen in der Holzwerkstoffindustrie	51
5.1.2	Anforderungen bei der Kompostierung von Klärschlamm	
	mit Recyclingholz als Strukturmaterial.....	53
5.2	Anforderungen an den Grad der Verunreinigung in Recycling-	
	hackschnitzeln für verschiedene energetische Verwertungs-	
	wege.....	54
6	Ergebnisse aus der Bestimmung von Verunreinigungen in Re-	
	cyclinhackschnitzeln und Beurteilung der Verwertungs-	
	möglichkeiten	57
6.1	Ablauf der Untersuchung	57
6.2	Ergebnisse der Sichtung und Sortierung.....	58
6.2.1	Sichtung	58
6.2.2	Sortierung.....	59
6.3	Ergebnisse der chemischen Analysen	62
6.3.1	Allgemeines	62
6.3.2	Darstellung der Analyseergebnisse für den Output und	
	Vergleich mit vorgeschlagenen Richtwerten.....	64
6.3.2.1	Output für die stoffliche Verwertung.....	64
6.3.2.2	Output für die energetische Verwertung	73
6.3.3	Belastungen der einzelnen Stoffgruppen des Inputs.....	80
6.3.4	Zusammenfassende Betrachtung zur Belastung der un-	
	tersuchten Holzproben	86
7	Untersuchungen zur Klärschlamm-Recyclingholz-Kompostierung	90
7.1	Darstellung der Untersuchung	90
7.2	Darstellung und Bewertung der Untersuchungsergebnisse	94
7.2.1	Darstellung des Kompostierungsprozesses.....	94
7.2.2	Darstellung und Bewertung der Verunreinigungen im	
	Klärschlamm-Recyclingholz-Kompost	96
7.3	Zusammenfassung der Ergebnisse der Klärschlamm-Recycling-	
	holz-Kompostierung.....	99
8	Verunreinigungen von Holzaschen und Konsequenzen für deren	
	Entsorgung	101

8.1 Allgemeines	101
8.2 Verunreinigungen von Holzaschen	102
8.3 Ablagerung von Holzaschen	103
8.4 Sonstige Entsorgungsmöglichkeiten von Holzaschen	107
8.5 Untersuchung des Landesumweltamtes NRW zum Chromatgehalt in Rückständen aus der Verbrennung und Pyrolyse	108
8.6 Behandlungs- und Aufbereitungsmöglichkeiten	111
8.7 Konsequenzen für die Entsorgung von Holzaschen.....	112
9 Konsequenzen aus der Untersuchung.....	113
10. Zusammenfassung	115
11. Literaturverzeichnis.....	122
Anhang A	Verunreinigungen im Holz
Anhang B	Rechtliche Grundlagen
Anhang C	Gebraucht- und Restholzmenge in NRW - Datengrundlagen
Anhang D	Fragebogen
Anhang E	Verunreinigungen in Recyclinghackschnitzeln - Datengrundlage und Versuchsablauf
Anhang F	Fotodokumentation
Anhang G	Klärschlamm-Recyclingholz-Kompostierung
Anhang H	Holzaschen - Analysenergebnisse
Anhang J	Güteüberwachung

Abbildungsverzeichnis

	<u>Seite</u>
Abb. 1: Konzeptionsmodell zur Behandlung und Verwertung von Gebrauchtholz (WINKLER, 1996)	5
Abb. 2: Genehmigungsrechtliche Einordnung von Gebrauchtholz in Feuerungsanlagen (HOFFMANN, 1995)	16
Abb. 3: Schematische Darstellung einer Klärschlammkompostierungsanlage mit Rotteturm (modifiziert nach Fa. Weiss).....	20
Abb. 4: Temperaturen in der Oxidationsstufe unterschiedlicher Vergasertypen (TIPPKÖTTER, 1996).....	27
Abb. 5: Vorgehensweise bei der Ermittlung des Gebraucht- und Restholzpotentials in NRW (1993)	30
Abb. 6: Gebraucht- und Restholzpotential für NRW im Jahr 1993 (ohne verwertete Menge);*durchschnittliche Menge NRW (LDS, 1996).....	38
Abb. 7: Gebraucht- und Restholzmenge in NRW 1993 aufgeteilt nach Entsorgungswegen (ohne verwertete Mengen)	40
Abb. 8: Grobgliederung des Fragebogens	42
Abb. 9: Aufteilung der befragten Betriebe nach Branchen	43
Abb. 10: Allgemeines Ablaufschema einer Holzaufbereitungsanlage.....	46
Abb. 11: Ablaufschema für die Herstellung von Verpackungen und Paletten unter Einsatz von Gebraucht- und Restholz	47
Abb. 12: Ablauf der Untersuchung zur Bestimmung des Grads der Verunreinigungen in Gebraucht- und Resthölzern in Aufbereitungsanlagen.....	57
Abb. 13: Chromgehalt im Output für den stofflichen Verwertungsweg	66
Abb. 14: Fluorgehalt im Output für den stofflichen Verwertungsweg.....	67

Abb. 15:	PCP-Gehalt im Output für den stofflichen Verwertungsweg.....	68
Abb. 16:	PAK-Gehalt (als Benz(a)pyren) im Output für den stofflichen Verwertungsweg.....	69
Abb. 17:	Bleigehalt im Output für den stofflichen Verwertungsweg.....	71
Abb. 18:	Zinkgehalt im Output für den stofflichen Verwertungsweg.....	71
Abb. 19:	Chlorgehalt im Output für den stofflichen Verwertungsweg.....	72
Abb. 20:	Arsengehalt im Output für den energetischen Verwertungsweg.....	75
Abb. 21:	Fluorgehalt im Output für den energetischen Verwertungsweg.....	75
Abb. 22:	PAK-Gehalt im Output für den energetischen Verwertungsweg.....	77
Abb. 23:	Chlorgehalt im Output für den energetischen Verwertungsweg.....	78
Abb. 24:	Chromgehalte in den einzelnen aussortierten Stoffgruppen des Inputs.....	81
Abb. 25:	Fluorgehalte in den einzelnen aussortierten Stoffgruppen des Inputs.....	82
Abb. 26:	PCP-Gehalte in den einzelnen aussortierten Stoffgruppen des Inputs.....	83
Abb. 27:	Bleigehalte in den einzelnen aussortierten Stoffgruppen des Inputs.....	84
Abb. 28:	Zinkgehalte in den einzelnen aussortierten Stoffgruppen des Inputs.....	85
Abb. 30:	Temperaturverlauf I. Versuchsansatz.....	95
Abb. 31:	Temperaturverlauf II. Versuchsansatz.....	95
Abb. 32:	Kupfergehalte im Feststoff des Klärschlamm-Recyclingholz-Gemisches im Vergleich zu dem Richtwert für Klärschlammkompost.....	99
Abb. 33:	Zusammenstellung der Chromgehalte in Holzaschen.....	106

Abb. 34:	Zusammenstellung der Glühverluste in Holzaschen	107
Abb. 35:	Chrom in Rückständen aus der thermischen Behandlung von Holz (LUA, 1996)	110



Tabellenverzeichnis

	<u>Seite</u>
Tab. 1: Nicht-Holzbestandteile in Gebrauchthölzern (POHLANDT, 1995).....	6
Tab. 2: Inhaltsstoffe der anorganischen Holzschutzmitteltypen (LEISSE, 1992).....	7
Tab. 3: Übersicht über wichtige Gebrauchtholzsortimente und deren anzunehmende Holzschutzmittelbelastung (BRINGEZU et al., 1993).....	9
Tab. 4: Farbbestandteile (SELL, 1993).....	10
Tab. 5: Weiß- und Buntpigmente in Anstrichen (SPONSEL et al., 1987).....	11
Tab. 6: Zusammensetzung verschiedener Zuschlagstoffe bei der Klärschlammkompostierung (TUMINSKI, 1989).....	19
Tab. 7: Zusammenstellung von Möglichkeiten zur Verwertung von Gebraucht- und Restholz.....	21
Tab. 8: Grad der energetischen Verwertung von Reststoffen in der holzbe- und verarbeitenden Industrie am Beispiel des IHK- Bezirks Münster.....	24
Tab. 9: Gebrauch- und Restholzanteile in den untersuchten Abfall- fraktionen.....	33
Tab. 10: Gebrauch- und Restholzanteile in bestimmten Abfallfraktionen anhand von Untersuchungen anderer Institute und Firmen.....	34
Tab. 11: Begründete Praxiswerte für Anteile von Gebrauch- und Resthölzern in den betrachteten Abfallfraktionen.....	36
Tab. 12: Aufkommen der gebrauch- und restholzrelevanten Abfall- fraktionen an öffentlichen und gewerblichen Entsorgungs- anlagen in NRW.....	37

Tab. 13:	Verteilung der in NRW 1993 an öffentlichen Entsorgungsanlagen angelieferten Holzmenge in „unbehandeltes“ und behandeltes Holz.....	39
Tab. 14:	Gebraucht- und Restholzpotential für NRW im Jahr 1993	41
Tab. 15:	Annahmegruppen und -preise der Gebrauchtholzaufbereiter (1995).....	44
Tab. 16:	Aufteilung der Gebrauchtholzlieferungen nach Anfallstellen	45
Tab. 17:	Kenndaten zu den Holzaufbereitungsanlagen	48
Tab. 18:	Annahme- und Ausschlußkriterien für den Einsatz von Recyclingholz in der Holzwerkstoffindustrie (Auswahl) (MARUTZKY, 1996).....	52
Tab. 19:	Leitwerte ausgewählter Elemente für die stoffliche Verwertung von Gebrauchtholz in der Holzwerkstoffindustrie (MARUTZKY, 1996).....	53
Tab. 20:	Grenzwerte der Klärschlammverordnung für Boden, Klärschlamm und Klärschlammkompost.....	54
Tab. 21:	Gruppeneinteilung der Gebraucht- und Resthölzer (HOFFMANN; 1996).....	55
Tab. 22:	Zuordnungskriterien für Holz zu den verschiedenen Feuerungsanlagentypen (nach WINKLER, 1996).....	56
Tab. 23:	Sichtungsergebnisse der Anlieferungen an den Holzaufbereitungsanlagen nach Herkunftsbereichen (fünf Durchgänge).....	58
Tab. 24:	Ausgewählte Stoffgruppen für die Sortierung des Holzaufbereitungsanlageninputs.....	59
Tab. 25:	Zusammenfassung der Sortierergebnisse des Anlageninputs	60
Tab. 26:	Anlagenspezifische Zusammensetzung Holzinputs differenziert nach Verwertungswegen	61
Tab. 27:	Typische Belastungen aus anorganischen Holzschutzmitteln in Recyclinghackschnitzeln für die stoffliche Verwertung.....	65

Tab. 28:	Typische Belastungen aus organischen Holzschutzmitteln und Teerölen in Recyclinghackschnitzeln für die stoffliche Verwertung.....	68
Tab. 29:	Typische Belastungen aus Farbpigmenten in Recyclinghackschnitzeln für die stoffliche Verwertung.....	70
Tab. 30:	Typische Belastungen aus anorganischen Holzschutzmitteln in Recyclinghackschnitzeln für die energetische Verwertung.....	74
Tab. 31:	Typische Belastungen aus organischen Holzschutzmitteln und Teerölen in Recyclinghackschnitzeln für die energetische Verwertung.....	76
Tab. 32:	Typische Belastungen aus Farbpigmenten und Chrom in Recyclinghackschnitzeln für die energetische Verwertung.....	79
Tab. 33:	Für die Sortierung festgelegte übergeordnete Stoffgruppen mit ihren zugehörigen Untergruppen	80
Tab. 34:	Darstellung der typischen Belastung der untersuchten Recyclinghackschnitzel und deren Herkunft aus aussortierten Stoffgruppen.....	87
Tab. 35:	Darstellung des Untersuchungsprogramms.....	90
Tab. 36:	Kenndaten der eingesetzten Klärschlämme.....	92
Tab. 37:	Kenndaten des Recyclingholzes (Zuschlagstoff)	93
Tab. 38:	Untersuchungsergebnisse der drei Versuchsansätze.....	97
Tab. 39:	Übersicht über den Aschegehalt von Holz, Rinden und Holzwerkstoffen (POHLANDT, 1995).....	101
Tab. 40:	Chlor-, Fluor- und Schwermetallgehalte in reinen Holzaschen und Restholzaschen (POHLANDT, 1996).....	102
Tab. 41:	Chlor-, Fluor-, und Schwermetallgehalte in Restholzaschen in Abhängigkeit vom Anfallort der Asche in den Feuerungen (POHLANDT, 1996).....	103

Tab. 42:	Zusammenfassende Darstellung der Belastungen von Holzaschen in bezug zu Deponiegrenzwerten	105
Tab. 43:	Untersuchungsprogramm des Landesumweltamtes NRW zur Bestimmung des Chromgehaltes in Rückständen aus der thermischen Behandlung von unbehandeltem und mit Chrom-VI behandeltem Holz unter Luft und Stickstoff (LUA, 1996)	109
Tab. 44:	Gebraucht- und Restholzpotential für NRW im Jahr 1993	115
Tab. 45:	Zuordnungskriterien für Holz zu den verschiedenen Feuerungsanlagentypen (stoffliche Verwertung prinzipiell Holz nach Gruppe 1; nach WINKLER, 1996).....	116
Tab. 46:	Sichtungsergebnisse der Anlieferungen an den Holzaufbereitungsanlagen (fünf Durchgänge)	117
Tab. 47:	Zusammenfassung der Sortierergebnisse des Anlageninputs	117
Tab. 48:	Darstellung der typischen Belastung der untersuchten Recyclinghackschnitzel und deren Herkunft aus aussortierten Stoffgruppen.....	119

Abkürzungsverzeichnis

AAV	Abfallentsorgungs- und Altlastensanierungsverband
Abb.	Abbildung
AbfklärV	Klärschlammverordnung
Abs.	Absatz
AOX	Adsorbierbare organische Halogene
ASN	Abfallschlüsselnummer
BAV	Bundesverband der Altholzaufbereiter und -verwerter
beh./Möbel	behandeltes Holz und Möbel
BG	Bestimmungsgrenze
BImSchG	Bundesimmissionschutzgesetz
BImSchV	Bundesimmissionschutzverordnung
BRD	Bundesrepublik Deutschland
bvse	Bundesverband Sekundärrohstoffe und Entsorgung e. V.
bzw.	beziehungsweise
ChemVerbotsV	Chemikalien Verbotsverordnung
d. h.	das heißt
et al.	et alii (und andere)
etc.	et cetera
EWC	(europäischer Abfallartenkatalog)
Fa.	Firma
FF	Feinfraktion
ff	folgende Seiten
gem.	gemäß
GF	Grobfraktion
Hmäh. Gewerbeabfall	hausmüllähnlicher Gewerbeabfall
HMD	Hausmülldeponie
HMV	Hausmüllverbrennung
HSM	Holzschutzmittel
i. a.	im allgemeinen
i. d. R.	in der Regel
inkl.	inklusive
i. M.	im Mittel
i. V. m.	in Verbindung mit
INFA	Institut für Abfall- und Abwasserwirtschaft GmbH

Kap.	.....	Kapitel
KöWa	.....	Königswasseraufschluß
konv. Regelbr.	.....	konventionelle Regelbrennstoffe
KrW-/AbfG	.....	Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz
LAGA	.....	Länderarbeitsgemeinschaft Abfall
ländl.	.....	ländlich
LASU	.....	Labor für Abfallwirtschaft, Siedlungswasserwirtschaft und Umweltchemie der Fachhochschule Münster
LDS	.....	Landesamt für Datenverarbeitung und Statistik
LUA	.....	Landesumweltamt
max	.....	Maximalwert
median	.....	Medianwert
MF	.....	Mittelfraktion
min	.....	Minimalwert
mittel	.....	Mittelwert
MVA	.....	Müllverbrennungsanlage
NRW	.....	Nordrhein-Westfalen
o. g.	.....	oben genannte
PAK	.....	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe
PCB	.....	Polychlorierte Biphenyle
PCP	.....	Pentachlorphenol
PCT	.....	Polychlorierte Terphenyle
prod. spez. Abfall	.....	produktionsspezifischer Abfall
PVC	.....	Polyvinylchlorid
s.	.....	siehe
SAD	.....	Sonderabfalldeponie
SAV	.....	Sonderabfallverbrennung
städt.	.....	städtisch
TA	.....	Technische Anleitung
Tab.	.....	Tabelle
TASI	.....	Technische Anleitung Siedlungsabfall
TOC	.....	total organic carbon
TU Dresden	.....	Technische Universität Dresden
TS	.....	Trockensubstanz
u. a.	.....	unter anderem
unbeh. Holz	.....	unbehandeltes Holz
VDI	.....	Verein deutscher Ingenieure
vgl.	.....	vergleiche

WKI	Wilhelm-Klauditz-Institut
z. B.	zum Beispiel
z. T.	zum Teil
z. Z.	zur Zeit



1. Ziel und Aufgabenstellung

Der Werkstoff Holz wird in vielen Bereichen, vor allem dem Bau- und Möbelsektor, genutzt. Je nach Verwendungsbereich wird das Holz auf unterschiedliche Art und Weise bearbeitet. Für die Langzeitnutzung im Außenbereich werden oft Holzschutzmittelbehandlungen vorgenommen. Aus optischen und Haltbarkeitsgründen bekommen Hölzer zudem häufig einen Farbanstrich. Nach Gebrauch stehen diese Hölzer zur Entsorgung an. Derzeit wird noch der überwiegende Teil des Gebrauchtholzes auf Deponien oder in Müllverbrennungsanlagen entsorgt. Vor dem Hintergrund des am 07. Oktober 1996 in Kraft getretenen Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes und der Anforderungen der TA Siedlungsabfall, wird der Handlungsdruck zur weitergehenden Getrennthaltung und Verwertung von Gebraucht- und Restholz verschärft. Zusätzlich wird die Mengenrelevanz des Gebrauchtholzes durch die Getrennthaltemaßnahmen vor allem im Baustellen- und Sperrmüllbereich immer deutlicher.

Ziel des hier bearbeiteten Projektes ist es, die Entsorgung von Gebraucht- und Restholz im Hinblick auf die auftretenden Belastungen durch Verunreinigungen zu beurteilen.

Dazu wird zunächst ein kurzer Überblick über die im Gebraucht- und Restholz möglichen Verunreinigungen und den rechtlichen Rahmen für eine Entsorgung von Holzabfällen gegeben. Im weiteren Verlauf werden mögliche stoffliche und energetischen Verwertungswege aufgezeigt. Um die Mengenrelevanz der Holzabfälle einschätzen zu können, wird das Gebraucht- und Restholzpotalential für das Land Nordrhein-Westfalen dargestellt.

Da die verschiedenen Verwertungsarten vom Potential an Verunreinigungen der Holzsortimente abhängen, wird anhand von umfangreichen Untersuchungen die Belastung der Outputströme von Holzaufbereitungsanlagen ermittelt. Die einzelnen Ergebnisse werden in bezug auf derzeit diskutierte Richtwerte für die verschiedenen Holzverwertungsmöglichkeiten dargestellt.

Ausgehend von den dabei erzielten Ergebnissen sollen Holzsortimente für verschiedene Verwertungswege zusammengestellt werden. Ziel ist es eine Verschleppung an Verunreinigungen in Produkte durch das Holzrecycling zu minimieren.

Im weiteren Verlauf der Bearbeitung werden auch Rückstände aus der Holzfeuerung in bezug auf ihre Verunreinigungen beurteilt, um die Entsorgungsmöglichkeiten der Holzaschen einordnen zu können.

Aus der Bearbeitung dieses Projektes ist ein Anforderungskatalog für die verschiedenen Verwertungswege sowie ein Vorschlag zur Durchführung einer Güteüberwachung im Bereich der Gebraucht- und Restholzverwertung entstanden.

2. Begriffsbestimmungen

Nachfolgend werden die für den einheitlichen Sprachgebrauch relevanten Begriffe kurz erläutert.

- **Naturbelassenes („unbelastetes“) Holz**

Naturbelassenes Holz ist nach der Definition der 1. BImSchV (§2 Nr. 9) Holz, welches ausschließlich mechanischer Bearbeitung ausgesetzt war und bei seiner Verwendung nicht mehr als unerheblich mit Verunreinigungen kontaminiert wurde.

- **Frischholz**

Unter Frischholz werden alle Forstrückstände verstanden. Hauptsächlich sind dies Äste und Spitzen geschlagener Bäume, Durchforstungsholz und auch Rückstände des Obstbaum- und Rebschnittes.

- **Restholz**

Als Restholz werden Holzrückstände aus der Holzbe- und -verarbeitung bezeichnet. Sie können sowohl naturbelassen als auch behandelt (z. B. beschichtet, lackiert oder imprägniert) worden sein. Hierunter fallen z. B. Schwarten, Säumlänge, Kapphölzer, Säge- und Hobelspäne.

In Resthölzern kann aufgrund von Recyclingmaßnahmen bereits Gebrauchtholz enthalten sein (z. B. in Spanplattenresten aus der Möbelherstellung).

- **Gebrauchtholz/Altholz**

Für den bislang immer angeführten Begriff „Altholz“ gibt es keine offizielle Definition. Allgemein werden darunter Holz und Holzwerkstoffe verstanden, welche bereits einer Nutzung unterworfen waren und anschließend zur Entsorgung (Verwertung oder Beseitigung) anstehen. Da diese Hölzer, z. B. auch als Holzabfall auf Neubaustellen anfallen und es sich dabei nicht um „alte Hölzer handeln muß“, wird der Begriff „Altholz“ im Rahmen dieser Arbeit durch den Begriff „**Gebrauchtholz**“ ersetzt.

Unter Gebrauchtholz sind u. a. gebrauchte Möbel, Transportverpackungen, Schalbretter, Fensterrahmen oder Telefonmasten zu verstehen.

- **Recyclingholz**

Im folgenden wird der Begriff „Recyclingholz“ für die Summe aus Rest- und Gebrauchtholz verwandt. Das in den Holzaufbereitungsanlagen hergestellte Produkt wird nachfolgend als Recyclinghackschnitzel bezeichnet.

- **Behandeltes Holz**

Die Bezeichnung „behandeltes Holz“ beschreibt Hölzer, die lackiert, lasiert, imprägniert, gebeizt, beschichtet oder bedruckt worden sind.

- **Holzwerkstoffe**

Holzwerkstoffe sind aus Holz hergestellte Produkte, die Bindemittel (z. B. Klebstoff) enthalten oder mit verschiedenen Materialien (z. B. Kunststoff) beschichtet sind. Darunter sind u. a. zu verstehen: Sperrholz, Tischlerplatten, Holzleimbinder, Faserplatten, Spanplatten.

- **Holzschutzmittel**

Holzschutzmittel, gemäß §2 Nr. 7 der 1. BImSchV, sind die bei der Be- und Verarbeitung des Holzes eingesetzten Stoffe mit biozider Wirkung gegen holzerstörende Insekten oder Pilze sowie holzverfärbende Pilze. Weiterhin sind es Stoffe zur Herabsetzung der Entflammbarkeit von Holz.

- **Imprägnierung**

Unter Imprägnierung wird eine Tränkung von Holz mit einer Flüssigkeit (einfaches Eintauchen oder unter Druck) verstanden, die Wirkstoffe zum Schutz gegen holzerstörende Organismen enthält (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, 1994).

- **Störstoffe**

Störstoffe sind im Gebrauchtholz enthaltene, abtrennbare Nicht-Holzbestandteile, wie z. B. Metallteile, Folien oder Glas, die bei der Aufbereitung (z. B. FE-Abscheidung, händische Sortierung) entfernt werden können.

- **Verunreinigungen**

Unter **Verunreinigungen** werden im folgenden organische und anorganische Stoffe im Holz verstanden, die in den entsprechenden Konzentrationen nicht in naturbelassenem Holz zu finden sind. Unter den Begriff „**Schadstoffe**“ sind nach Kapitel 2.2.1 der TA Siedlungsabfall hingegen organische oder anorganische Stoffe einzuordnen, die in gesundheits- oder umweltgefährdender Konzentration vorliegen.

Die Elemente können auch als **Spurenelemente** vorliegen, die von den Pflanzen sowie vom menschlichen und tierischen Organismus in geringen Mengen benötigt werden und für biologische Abläufe von großer Bedeutung sind.

3. Rahmenbedingungen und Möglichkeiten bei der Gebrauchtholz- und Restholzentorgung

3.1 Allgemeines

Im Rahmen dieses Kapitels werden die derzeit wichtigsten Rahmenbedingungen und Möglichkeiten der Entsorgung von Gebrauchtholz- und Restholz in der Bundesrepublik Deutschland auf der Grundlage von Literaturauswertungen dargestellt.

Für die Entsorgung von Gebrauchtholz- und Restholz gibt es die Möglichkeiten der

- Verwertung
 - stoffliche Verwertung, z. B. in der Holzwerkstoffindustrie
 - energetische Verwertung, z. B. Einsatz als Sekundärbrennstoff
- Beseitigung
 - thermische Behandlung
 - Ablagerung

Nach dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW/AbfG) sind beide Verwertungsarten gleichrangig zu behandeln. Diejenige Verwertungsart hat jeweils den Vorrang, die besser umweltverträglich ist, soweit nicht durch Rechtsverordnungen der Vorrang der stofflichen vor der energetischen Verwertung festgelegt wurde. Im Falle, daß der Vorrang einer Verwertungsart nicht in einer Rechtsverordnung festgelegt ist, ist eine energetische Verwertung nur unter Beachtung der im Gesetz festgelegten Randbedingungen (nähere Ausführungen im Kap. 3.3.1) zulässig.

Nur wenn weder eine stoffliche noch eine energetische Verwertung möglich ist, darf das Rest- und Gebrauchtholz als Abfall beseitigt werden. Hierfür kommt die thermische Behandlung oder die Ablagerung (maximal bis 2005) in Frage.

Die Entscheidung, wie Holz verwertet oder ob es beseitigt wird, ist u. a. von dessen Verunreinigungsgrad abhängig.

Nach einem Modell des Landesumweltamtes NRW sollte die Wahl des Entsorgungsweges für Gebrauchtholz- und Restholz im Rahmen einer Gesamtkonzeption erfolgen, wie sie exemplarisch in Abb. 1 dargestellt ist. Danach sind verschiedene Prüfkriterien (ChemVerbotsV, Richtwerte) maßgebend für die Art des Entsorgungsweges (thermische Behandlung, stoffliche oder energetische Verwertung sowie Wiederverwertung). Auf die Prüfkriterien wird in den nachfolgenden Kapiteln weiter eingegangen.

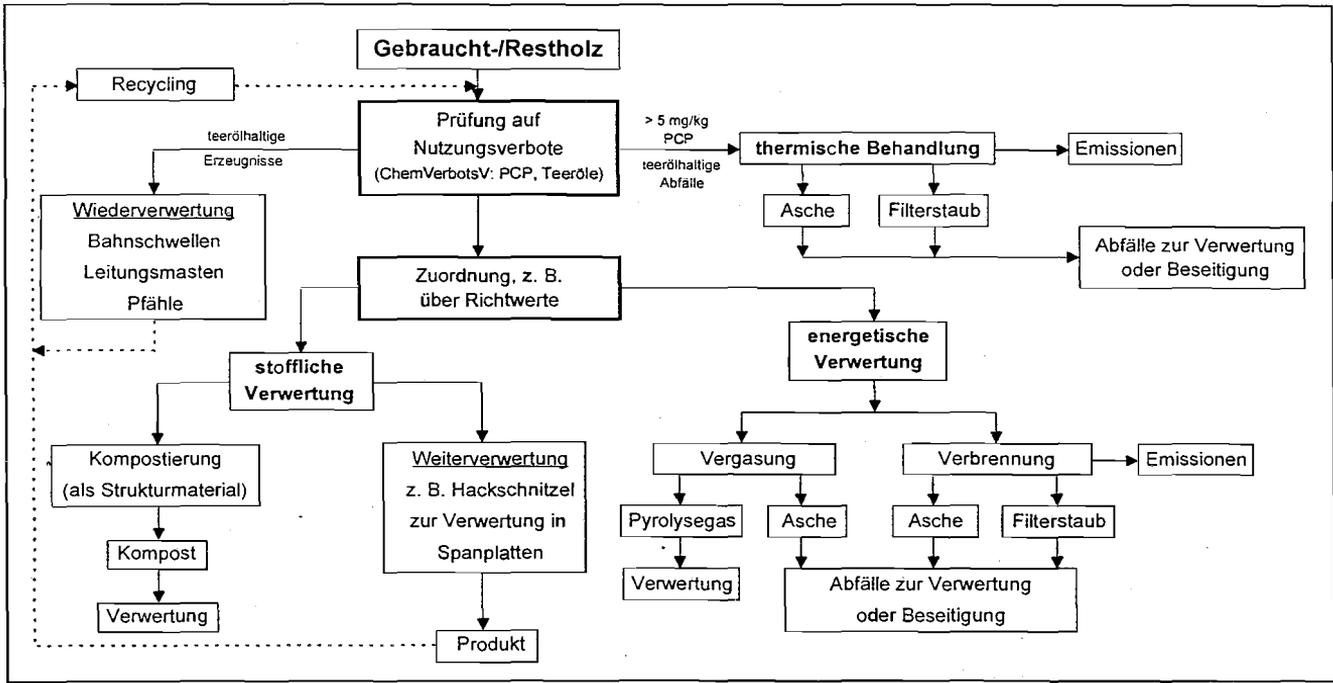


Abb. 1: Konzeptionsmodell zur Behandlung und Verwertung von Gebrauchtholz (nach WINKLER, 1996)

3.2 Mögliche Verunreinigungen im Gebrauchtholz

3.2.1 Allgemeines

Im Gebrauch- und Restholz können Verunreinigungen unterschiedlichster Herkunft enthalten sein. Sie stammen aus Nicht-Holzbestandteilen, die sich in abtrennbare und in nicht oder kaum abtrennbare Bestandteile einteilen lassen (Tab. 1).

Tab. 1: Nicht-Holzbestandteile in Gebrauchthölzern (POHLANDT, 1995)

abtrennbare Bestandteile	nicht oder kaum abtrennbare Bestandteile
<ul style="list-style-type: none"> • Asbestteile • Asphalt • Fliesen, Gipsprodukte • Glas, Glasfasern • Kunststoff- und Metallteile • Linoleum u. andere Fußbodenbeläge • Putz, Tapeten, Teerlappen • Zementteile, Ziegel • sonstige mineralische Verschmutzungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Beizen, Bindemittel • Flammschutzmittel • Folien- und Furnierbeschichtungen¹⁾ • Holzschutzmittel • Klebstoffe • Lackanstriche¹⁾ • Sonstige Veredelungsmittel

¹⁾ Abtrennung technisch durchführbar, aber kostenintensiv

Während die abtrennbaren Bestandteile bei der Aufbereitung weitestgehend entfernt werden können, handelt es sich bei der anderen Gruppe um Stoffe, die maßgeblich für die Belastung der Hölzer verantwortlich sind.

Nachfolgend werden die wesentlichen Merkmale der Belastungen von Gebrauch- und Resthölzern durch nicht oder kaum abtrennbare Nicht-Holzbestandteile beschrieben.

Weitergehende Erläuterungen zu den Belastungsquellen sind den Literaturangaben zu entnehmen.

3.2.2 Holzschutzmittel

Holzschutzmittel werden verarbeitet, um Hölzer vor dem Befall mit pflanzlichen und tierischen Schädlingen zu schützen und/oder um die Entflammbarkeit des Holzes herabzusetzen.

Wesentlicher Bestandteil von Holzschutzmitteln sind deren Wirkstoffe. Zusätzlich enthalten sie je nach Art und Einsatzbereich verschiedene Hilfs- und Zusatzstoffe, die die technischen Eigenschaften und Verarbeitbarkeit der Schutzmittel beeinflussen. Es sind derzeit ca. 2.000 verschiedene Holzschutzmittel bekannt, die gegenwärtig und/oder in der Vergangenheit eingesetzt werden bzw. wurden (VOSS et al., 1996). Bei der Bestimmung der Zusammensetzung des Holzschutzmittels kann u. a. das Alter des Holzes hilfreich sein (LEISSE, 1992; vgl. Anhang A 1).

Holzschutzmittel werden über einen Anstrich oder durch Imprägnierung in das Holz eingebracht. Sie werden in die Gruppen anorganische, organische und steinkohlen-teerhaltige Präparate unterteilt (vgl. Anhang A 2):

- **anorganische Holzschutzmittel**

Die anorganischen Holzschutzmittel bestehen zu 80 - 100 % aus Wirkstoffen, hauptsächlich aus Salzen, z. T. sind noch Korrosionsschutzmittel, Kontrollfarbstoffe, Wasser, etc. enthalten. Die Salze liegen oft als Verbindungen der Elemente Arsen (A), Chrom (C), Fluor (F), Kupfer (K) oder Bor (B) in verschiedensten Kombinationen vor. Je nach Zusammensetzung unterscheidet man z. B. CF-, B-, CKA- oder CFB-Salze. Die einzelnen Buchstaben kennzeichnen die jeweils relevanten Inhaltsstoffe (Tab. 2).

Tab. 2: Inhaltsstoffe der anorganischen Holzschutzmitteltypen (LEISSE, 1992)

Kurzbez.	Inhaltsstoffe
A	Arsenverbindungen, hauptsächlich As_2O_5
B	Borverbindungen wie H_3BO_3 , $Na_2B_4O_7$ und $Na_2B_8O_{13}$
C	Chromverbindungen wie $K_2Cr_2O_7$, $Na_2Cr_2O_7$, CrO_3 und $(NH_4)_2Cr_2O_7$
F	Fluorverbindungen wie bei HF: Hydrogenfluoride (KHF_2 und NH_4HF_2) oder bei SF: Fluorosilikate ($MgSiF_6$ und $ZnSiF_6$)
K	Kupferverbindungen wie $CuSO_4$ und $CuSiF_6$
Z	Zinkverbindungen wie $ZnSiF_6$

Über den Einsatz des Elementes Chrom, das zur Fixierung der Biozide im Holz dient und ein wesentlicher Bestandteil vieler anorganischer Holzschutzmittel ist, ist in der Vergangenheit aufgrund seiner Umweltrelevanz kontrovers diskutiert worden. Es wird der Ersatz der Chromsalze durch neue Gemische von Wirkstoffen angestrebt, die sowohl anorganische als auch organische Komponenten aufweisen (z. B. Kupfer-HDO)

(LEISSE, 1992). Deutsche Holzschutzmittelhersteller stellen derzeit auf chromfreie Mittel um und Hersteller von Spielplatzgeräten haben sich weitgehend auf die Verwendung chromfreier Holzschutzmittelprodukte verständigt. In Schweden ist der Einsatz von chromhaltigen Holzschutzmitteln in Gefährdungsklasse AB (Anwendung über Erde) verboten und in Dänemark wird es voraussichtlich ab 1997 ein generelles Zulassungsverbot geben (SCHIENER, 1996).

- **organische Holzschutzmittel**

Zu den organischen Holzschutzmitteltypen zählen Imprägnierungen, Grundierungen und Lasuren (LEISSE, 1992). Sie unterscheiden sich u. a. in ihren Anteilen an Lösemitteln, wie z. B. aliphatische und/oder aromatische Kohlenwasserstoffe. In diesen Holzschutzmitteln kann der Lösemittelanteil zwischen 80 und 95 % liegen. Die eigentlichen Wirkstoffe (in der Regel mit Anteilen < 5 %) liegen meist in kombinierter Form vor und richten sich nach dem Einsatzbereich und nach dem beabsichtigten Schutzerfolg.

Zum Schutz gegen Holzfäulnis und -verfärbung durch Bläuepilze dienen pilzwidrige Wirkstoffe (Fungizide; z. B. PCP, Dichlofluanid), zum Schutz gegen holzerstörende Insekten werden insektenwidrige Wirkstoffe (Insektizide; z. B. Lindan, Permethrin) eingesetzt. Sie dringen leicht in das Holz ein und weisen zusätzlich oft Eigenschaften von Anstrichen auf (LEISSE, 1992).

- **steinkohlenteerhaltige Holzschutzmittel**

Die beim Holzschutz Verwendung findenden Teeröle werden aus Steinkohlenteer gewonnen, der bei der Verkokung von Steinkohle anfällt. Die Steinkohlenteeröle bzw. Imprägnieröle bestehen aus einer Vielzahl von Einzelsubstanzen, die in der Regel einen Siedepunkt zwischen 180°C und 500°C aufweisen. Sie enthalten in hohen Mengen hauptsächlich Naphthalin, Pechanteile, polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) und teilweise Phenole (LEISSE, 1992).

Die Einsatzbereiche für die verschiedenartigen Holzschutzmittelgruppen sind der Tabelle 3 zu entnehmen.

Tab. 3: Übersicht über wichtige Gebrauchtholzsortimente und deren anzunehmende Holzschutzmittelbelastung (BRINGEZU et al., 1993)

Altholzsortiment	Herkunft	Wahrscheinlichkeit einer Holzschutzmittelbehandlung ¹⁾	Wichtige Holzschutzmitteltypen
Innenausbau: z.B. Verkleidungen, Trennwände	Hochbau	0 - 25%	org. Wirkst. ²⁾ , (Bor) ³⁾
Dachbalken und -latten	Hochbau	51 - 75%	SF, HF, Bor, NaF, CF, CFB, CKB, CKF, org. Wirkst. ²⁾ , Cu-HDO
Außenfenster, Außentüren	Hochbau	51 - 75%	org. Wirkstoff. ²⁾ , CKB, CKF, Cu-HDO, (CF) ³⁾ , (CFB) ³⁾
Außenverbreterung	Hochbau	76 - 100%	CKB, CKF, CKA, Cu-HDO, org. Wirkst. ²⁾ , Carbol. ⁴⁾ , STÖ ⁵⁾
Tragende, austeifende Hölzer aus dem Außenbereich	Car-Ports, Pergolen, Geräteschuppen, Bootshäuser	51 - 75%	CKB, CKF, CKA, CF, (CFB) ³⁾ , Cu-HDO, org-Wirkst. ²⁾ , STÖ ⁵⁾ , Carbol. ⁴⁾
Zäune, Schneezäune	Garten- und Landschaftsbau	51 - 75%	HgCl ₂ , CKB, CKF, CKA, Cu-HDO, STÖ ⁵⁾
Rebpfähle und Hopfenstangen	Weinbau, Landwirtschaft	76 - 100%	HgCl ₂ , CKB, CKF, CKA, Cu-HDO, STÖ ⁵⁾
Masten	EVU, Post, Gewerbe	100%	CKB ⁶⁾ , CKF, STÖ ⁵⁾ , CKA, (HgCl ₂) ³⁾
Bahnschwellen	Bundesbahn, Gewerbe, Industrie	100%	100%STÖ ⁵⁾ , eventuell Bor, NaF, SF als Nachschutz
Kabeltrommeln	Gewerbe, EVU, Post	51 - 75%	CKB, CKF, Cu-HDO, (CK) ³⁾
Holzpackmittel und Paletten	Gewerbe	0 - 25% ⁷⁾	(Bor) ³⁾ , (org.Wirkst. ²⁾

¹⁾ geschätzte Wahrscheinlichkeit einer Holzschutzmittelbehandlung²⁾ organische Wirkstoffe³⁾ in () stehende Verbindungen - Vorkommen selten⁴⁾ Carbolineum⁵⁾ Steinkohlenteerölpräparate⁶⁾ zusätzl. Behandlung mit Teeröl (Teerölfuß) bei Fichte möglich⁷⁾ Angabe der Wahrscheinlichkeit durch Untersuchungen des WKI

3.2.3 Farbanstriche

Farbanstriche dienen zur Gestaltung und zum Schutz von Holzoberflächen und werden allgemein im Innen- sowie im Außenbereich eingesetzt. Ihre Bestandteile sind in der folgenden Tabelle 4 zusammengefaßt.

Belastungen des Gebrauchtholzes durch Farbanstriche werden vor allem durch die enthaltenen Farbpigmente hervorgerufen. Es werden künstlich hergestellte, organische und anorganische Pigmente eingesetzt. Der größte Teil der anorganischen Pigmente besteht aus Metallverbindungen wie Metalloxide, -sulfide, -carbonate, -silikate und

-sulfate (SPONSEL et al., 1987). Die Pigmente auf der Basis von Metallen, wie z. B. Blei, Chrom, Cadmium sowie Zink, sind vor allem in den älteren Lacken zu finden (NEUMÜLLER, 1979), Titan in den neueren Farben.

Tab. 4: Farbbestandteile (SELL, 1993)

Farbbestandteile	Anteil [%]
Farbbindemittel (in Lösemitteln gelöste, oxidativ härtende Öle und Kunstharze oder in Wasser dispergierende/emulgierende Polymere/Polymergemische)	ca. 30 - 60
Pigmente (vorwiegend Weißpigmente)	ca. 5 - 30
Additive (Sikkative; Polymerisationshilfen, Lichtschutzmittel, biozide Holzschutzmittel)	ca. 8

In der nachstehenden Tabelle 5 sind Verbindungen einiger Weiß- und Buntpigmente in Anstrichen aufgeführt.

Farben können darüber hinaus auch mit Holzschutzmittelwirkstoffen versetzt sein, z. B. wenn lackierte Hölzer Witterungsbedingungen ausgesetzt sind (Fensterlacke, etc.).

Tab. 5: Weiß- und Buntpigmente in Anstrichen (SPONSEL et al., 1987)

Farbe	Pigment	Verbindung
Weiß	Bleiweiß Kreide Lithopone Titandioxid Zinkweiß	$PbCO_3 \cdot x Pb(OH)_2$ $CaCO_3$ durch gemeinsame Fällung von ZnS und $BaSO_4$ hergestelltes Bleipigment TiO_2 ZnO
Gelb	Barytgelb Cadmiumgelb Chromgelb Eisenoxidgelb	$BaCrO_4$ CdS $PbCrO_4$ $FeO(OH)$, synthetisch hergestellt
Rot, Orange	Chromorange Eisenoxidrot	$PbCrO_4 \cdot Pb(OH)_2$ Fe_2O_3 , synthetisch hergestellt
Braun	Eisenoxidbraun Brauner Ocker	Mischung aus Eisenoxidgelb, -rot und -schwarz, synthetisch hergestellt natürliches Pigment aus $FeO(OH)$ oder Fe_2O_3 und Aluminium-, Calcium- und Bariumverbindungen wie Ton oder Quarz
Blau, Violett	Eisencyanblau Ultramarinviolett	Pigment auf Basis von Hexacyanoferraten ursprüng- lich ein aus Lasurstein gewonnenes blaues anorga- nisches Pigment, heute synthetisch hergestellt Zusammensetzung: $Na_4(Al_3Si_3O_{12})S_3$
Grün	Chromgrün Chromoxidgrün	Mischpigment aus Chromgelb und Eisencyanblau Cr_2O_3
Schwarz	Eisenoxidschwarz Spezialruß-Sorten Graphit Rebschwarz	Fe_3O_4 , synthetisch hergestellt Kohlenstoff, je nach Gewinnungsart Flammenruß oder Gasruß mikrokristaliner Kohlenstoff kohlenstoffreiches pigment, hergestellt durch Ver- kohlen von Pflanzenabfällen (z. B. Trester, Rebstöcke)

3.2.4 Bindemittel in der Holzwerkstoffindustrie

Verleimte Holzwerkstoffe (z. B. Span-, Faserplatten, Sperrholz) enthalten bis zu ca. 10 % organische Bindemittel (BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, 1994). Zur Holzwerkstoffherstellung werden überwiegend Kunstharz- oder Kunststoffverbindungen eingesetzt, seltener Bindemittel auf tierischer oder pflanzlicher Basis. Formaldehydharze, wie Harnstoff-Formaldehyd-Harze (UF-Harze), Melamin-Formaldehyd-Harze (MF-Harze) oder Phenol-Formaldehyd-Harze (PF-Harze) sind zur Zeit die technisch und wirtschaftlich wichtigsten Klebstoffe (DEPPE et al., 1991; vgl. Anhang A 3).

Neben den Bindemitteln werden Härter (z. B. Ammoniumchlorid, -sulfid), Hydrophierungsmittel (überwiegend Paraffin) oder auch Pilz- und Feuerschutzmittel

(besondere Kennzeichnung der Holzwerkstoffe erforderlich; z. B. Type V 100 G) bei der Herstellung von Holzwerkstoffen eingesetzt.

3.2.5 Beschichtungen von Holzwerkstoffen

Der überwiegende Teil der Holzwerkstoffe (Spanplatten, MDF-Platten, Faser- oder Spanformteile) ist beschichtet (DEPPE et al., 1991). Die Beschichtungsarten werden allgemein in die zwei Bereiche „Innen-“ (Möbel- und Innenausbau) und „Außenbeschichtungen“ (in Feuchträumen und Außenbau) unterschieden. Zudem wird in die Gruppen „Flüssig-“, „Folien-“ und „Preßbeschichtungen“ unterteilt (Anhang A 4). Von den Beschichtungen sind die thermoplastischen Materialien bei der Gebrauchtholzverwertung insbesondere zu beachten, da es sich bei ihnen häufig um PVC handelt, wodurch es zu relevanten Chlorgehalten im Gebrauchtholz kommen kann (MARUTZKY, 1989). Aufgrund der besonderen Umweltrelevanz dieses Stoffes wird derzeit die Verwendung von PVC-Beschichtungen und -Kanten eingeschränkt und Bearbeitungsreste möglichst separat erfaßt und getrennt entsorgt.

3.3 Rechtliche Rahmenbedingungen für die Gebrauchtholzentsorgung

3.3.1 Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz

Das am 07. Oktober 1996 in Kraft getretene Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW-/AbfG) beinhaltet grundlegende Änderungen insbesondere auch für das Holzver- und holzbearbeitende Gewerbe. Nach dem KrW-/AbfG wird nicht mehr zwischen Reststoffen und Abfällen differenziert. Die Abfallentsorgung umfaßt nach § 3 Abs. 7 KrW-/AbfG sowohl die Verwertung als auch die Beseitigung von Abfällen. Es wird demnach nur noch zwischen Abfällen zur Verwertung und Abfällen zur Beseitigung unterschieden.

Der § 5 des KrW-/AbfG schreibt die Grundpflicht zur Vermeidung und Verwertung von Abfällen vor. Dies gilt sowohl für die bei der Produktion anfallenden Abfälle als auch für die Produkte am Ende ihrer jeweiligen Lebensdauer (Produktverantwortung, § 22 KrW-/AbfG).

Gem. § 4 KrW-/AbfG wird zwischen stofflicher und energetischer Verwertung unterschieden:

„Die stoffliche Verwertung beinhaltet die Substitution von Rohstoffen durch das Gewinnen von Stoffen aus Abfällen (sekundäre Rohstoffe) oder die Nutzung der stofflichen Eigenschaften der Abfälle für den ursprünglichen Zweck mit Ausnahme der unmittelbaren Energierückgewinnung“.

Die energetische Verwertung nach § 4 Abs. 4 KrW-/AbfG beinhaltet den Einsatz von Abfällen als Ersatzbrennstoff.

Gem. § 6 Abs. 1 KrW-/AbfG hat die Verwertung Vorrang, die besser umweltverträglich ist, soweit nicht durch Rechtsverordnungen der Vorrang der stofflichen vor der energetischen Verwertung festgelegt wurde. Im Falle, daß der Vorrang einer Verwertungsart nicht in einer Rechtsverordnung festgelegt ist, „ist eine energetische Verwertung im Sinne des § 4 Abs. 4 nur zulässig, wenn:

1. der Heizwert des einzelnen Abfalls, ohne Vermischung mit anderen Stoffen mindestens 11.000 kJ/kg beträgt,
2. ein Feuerungswirkungsgrad von mindestens 75 Prozent erzielt wird,
3. entstehende Wärme selbst genutzt oder an Dritte abgegeben wird und
4. die im Rahmen der Verwertung anfallenden weiteren Abfälle möglichst ohne weitere Behandlung abgelagert werden können.“

Nur wenn weder eine stoffliche noch eine energetische Verwertung möglich ist, darf das Rest- und Gebrauchtholz als Abfall beseitigt werden. Hierfür kommt die thermische Behandlung oder Ablagerung in Frage.

Eine Abgrenzung zwischen energetischer Verwertung und thermischer Behandlung ist auf den ersten Blick schwierig.

Nach § 4 Abs. 4 KrW-/AbfG ist für die Abgrenzung von der energetischen Verwertung zur thermischen Behandlung auf den Hauptzweck der Maßnahme (Energiegewinnung) abzustellen. Der angeführte Hauptzweck der Energienutzung kann jedoch nicht als einziges Unterscheidungskriterium gelten, da in § 10 KrW-/AbfG geregelt wird, daß auch bei der Beseitigung von Abfällen die Energie so weit wie möglich zu nutzen ist. Die Energienutzung stellt hier aber nur einen untergeordneten Nebenzweck dar. Der Hauptzweck der thermischen Behandlung besteht darin, die Menge und Schädlichkeit der zu behandelnden Abfälle zu vermindern.

Zur Abgrenzung regelt der § 4 Abs. 4 KrW-/AbfG weiter, daß ausgehend vom einzelnen Abfall, ohne Vermischung mit anderen Stoffen, Art und Ausmaß seiner Verunreinigung sowie die durch Behandlung anfallenden weiteren Abfälle und entstehenden

Emissionen bestimmen, ob der Hauptzweck auf die Verwertung oder die Behandlung gerichtet ist.

Da bei dieser Auslegung, vor allem in bezug auf „Art und Ausmaß seiner Verunreinigung“, eine Unterscheidung der Verbrennungswege schwierig ist, hat eine LAGA-Arbeitsgruppe Prüf- und Richtwerte zum Schadstoffpotential in einem Entwurf vorgeschlagen (LAGA, 1996):

Chlor	10 g/kg
PCB, PCT oder PCP	100 mg/kg
Dioxin und Furan	1.000 ng I-TE/kg
Quecksilber	1 mg/kg
Cadmium	100 mg/kg

Danach sind Abfälle, die diese Werte überschreiten, thermisch zu behandeln.

Abfälle dürfen dann gemäß § 27 KrW-/AbfG „zum Zweck der Beseitigung nur in den dafür zugelassenen Anlagen oder Einrichtungen behandelt, gelagert oder abgelagert werden. Darüber hinaus ist die Behandlung von Abfällen zur Beseitigung in Anlagen zulässig, die überwiegend einem anderen Zweck als der Abfallbeseitigung dienen und einer Genehmigung nach § 4 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes bedürfen“.

3.3.2 TA Siedlungsabfall und TA Abfall

Gemäß den Anforderungen der am 14. Mai 1993 erlassenen TA Siedlungsabfall (TASI), die gem. § 12 Abs. 2 KrW-/AbfG weiterhin gültig ist, ist ab dem Jahre 2005 nur noch eine Ablagerung von weitgehend mineralisierten Reststoffen mit definierten Eigenschaften (z. B. in der Deponieklasse II: organischer Anteil des Trockenrückstandes der Originalsubstanz bestimmt als Glühverlust $\leq 5\%$, bestimmt als TOC $\leq 3\%$) möglich. Damit darf Holz, aufgrund seines hohen organischen Anteils, nur nach einer Behandlung (z. B. nach einer Verbrennung als Asche) abgelagert werden. Außerdem müssen die übrigen Zuordnungswerte des Anhangs B der TASI zu den Deponieklassen I oder II eingehalten werden (Anhang B 5). Stoffe, die diese Anforderungen nicht erfüllen, können nach der TA Abfall auf entsprechenden Deponien abgelagert werden, wenn sie die Zuordnungskriterien des Anhangs D zur TA Abfall einhalten (Anhang B 6). Bei der Ablagerung von Material auf Deponien nach TA Abfall wird ein Glühverlust von ≤ 10 Gew-% gefordert.

Werden auch die Zuordnungskriterien nach der TA Abfall nicht eingehalten, können die entsprechenden Abfälle nicht mehr obertägig gelagert werden.

3.3.3 Bundesimmissionsschutzgesetz

Die Anforderungen an die thermische Behandlung, aber auch an die energetische Verwertung, sind im Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG), sowie in den nachgeordneten Verordnungen (1., 4. und 17. Bundesimmissionsschutzverordnung (BImSchV)) und in der Technischen Anleitung Luft (TA Luft) festgelegt. Mit diesen Vorschriften werden die Bedingungen zur Errichtung und zum Betrieb von Anlagen, u. a. auch derjenigen, die der energetischen Verwertung bzw. thermischen Behandlung von Gebrauchtholz dienen, geregelt.

In Abbildung 2 sind Einsatzmöglichkeiten von verschiedenen Gebrauch- und Resthölzern als Brennstoff in Anlagen nach der 1., 4. und 17. BImSchV dargestellt. Eine detailliertere Zusammenstellung der Anforderungen, auf der Basis der Bundesimmissionsschutzverordnungen, ist im Anhang B 7 enthalten.

3.3.4 Chemikalienverbotsverordnung

Die Chemikalien-Verbotsverordnung vom 14.10.1993, zuletzt geändert am 12.06.1996, enthält eine Neuordnung und Ergänzung der Verbote und Beschränkungen des Herstellens, Inverkehrbringens und Verwendens gefährlicher Stoffe, Zubereitungen und Erzeugnisse nach §17 des Chemikaliengesetzes.

Diese Verordnung hat ebenfalls Einfluß auf die Entsorgung von Gebrauchthölzern. Nach § 1 (Anhangsabschnitt Nr. 17 Spalte 2) der ChemVerbotsV ist es verboten, teeröhlhaltige Holzschutzmittel bzw. Hölzer und Holzwerkstoffe, die mit teeröhlhaltigen Holzschutzmitteln behandelt worden sind, in den Verkehr zu bringen.

Ausnahmen bestehen jedoch für mit teeröhlhaltigen Holzschutzmitteln imprägnierte Bahnschwellen, Leitungsmasten und Pfähle (Abs. 6), diese dürfen erneut in den Verkehr gebracht werden, wenn:

- die letzte Imprägnierung mindestens 15 Jahre zurückliegt,
- frische Schnittstellen dauerhaft versiegelt oder abgedeckt sind,
- sie nicht für Innenräume, Kinderspielflächen oder für sonstige mit regelmäßigem menschlichen Hautkontakt verbundene Zwecke bestimmt sind
- sie nicht für Zwecke des privaten Endverbrauchs bestimmt sind.

Die ChemVerbotsV verbietet und beschränkt den Einsatz von Pentachlorphenol (PCP) (Anhangsabschnitt Nr. 15), z. B. als Holzschutzmittel. Danach ist es verboten, PCP in den Verkehr zu bringen (Spalte 2). Produkte, deren Ausgangsstoffe PCP enthalten, dürfen eine PCP-Konzentration von 5 mg/kg nicht überschreiten (Spalte 3).

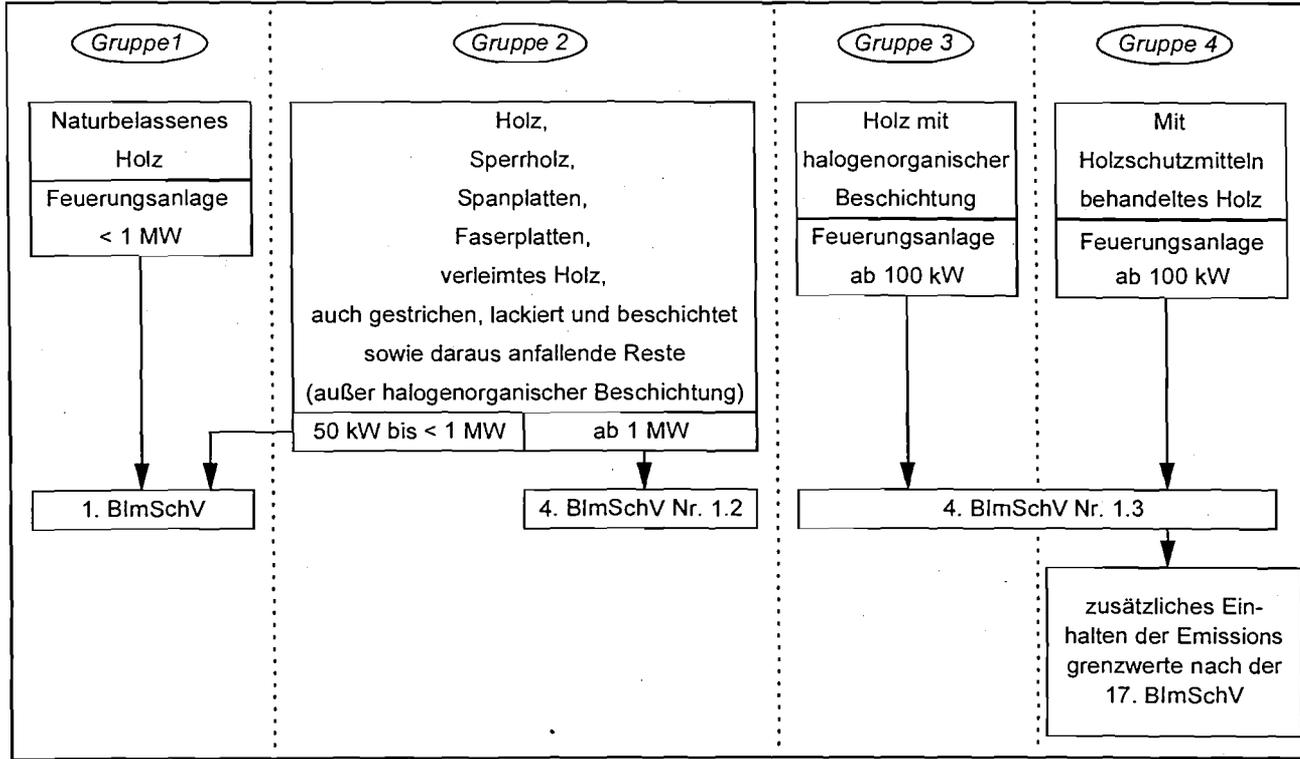


Abb. 2: Genehmigungsrechtliche Einordnung von Gebrauchtholz in Feuerungsanlagen (nach HOFFMANN, 1995)

3.4 Verwertung von Gebrauch- und Resthölzern

Bei der Verwertung von Gebrauch- und Resthölzern werden stoffliche und energetische Verwertungswege verfolgt, wobei die stoffliche Verwertung, in bezug auf die eingebrachten Recyclingholzmengen, eine geringere Bedeutung hat. Im folgenden werden diese Formen der Verwertung, sowie die Dekontamination vorgestellt.

3.4.1 Stoffliche Verwertung von Gebrauch- und Restholz und deren Anforderungen

Das Ziel der stofflichen Verwertung ist nicht die Rückversetzung des Rohstoffes in seine biogene bzw. geogene Ausgangssituation, sondern ein längerer Verbleib der Holzsubstanz im Wirtschaftskreislauf (WILLEITNER et al., 1993).

Einer der wenigen zur Zeit schon intensiver genutzten stofflichen Verwertungswege für Rest- und Gebrauchtholz ist der Einsatz in der Holzwerkstoff-, vornehmlich der Spanplattenindustrie. Im folgenden wird die Verwertung von Rest- und Gebrauchtholz in der Holzwerkstoffindustrie detaillierter dargestellt und zusätzlich wird in Kapitel 3.4.1.2, aufgrund eigens durchgeführter Untersuchungen, auf die Verwertung von Gebrauch- und Restholz als Strukturmaterial zur Kompostierung von Klärschlamm eingegangen.

3.4.1.1 Verwertung in der Holzwerkstoffindustrie

Vor allem aufgrund von Preisentwicklungen wird das Recycling von Rest- und Gebrauchtholz für die Holzwerkstoffindustrie zunehmend interessanter. Grundsätzliche Aufbereitungsprobleme bestehen nicht.

Bereits in den Anfängen der Spanplattenproduktion wurde versucht, die Platten ausschließlich aus Abfallmaterial (zum größten Teil Industrierestholz) herzustellen. Dieser Versuch mußte jedoch aus technischen Gründen aufgegeben werden. Heute ist aufgrund verbesserter Anlagentechnik eine anteilige Verarbeitung von Abfallspangut unterschiedlichster Zusammensetzung möglich geworden (DEPPE et al., 1991).

Seit 1990 werden zunehmend Gebrauchthölzer, davon besonders Holzpackmittel und -paletten, bei der Spanplattenherstellung eingesetzt. Die Menge und Herkunft der Holzsortimente zur Herstellung von Spanplatten verteilte sich 1995 in Deutschland zu 19 % auf Waldholz (Industrieholz), zu 71% auf Industrierestholz und zu 10% auf Recyclingholz (Gebrauchtholz) (MARUTZKY, 1996). Während in europäischen Nachbar-

ländern, z. B. Italien, der Recyclingholzeinsatz in der Spanplatte bis zu 80 % beträgt (WINKLER, 1996).

Rest- und Gebrauchthölzer werden von den Spanplattenproduzenten in Form von Hackschnitzeln oder Spänen (Fremdspänen) verarbeitet. Häufig durchläuft das Hackgut vor der Weiterverarbeitung in den Werken Metallabscheider, Wasch- oder Siebreinigungsanlagen und wird dann durch Zerspaner in Späne von geeigneter Abmessung und Größe gebracht.

Spanplatten werden entweder im Flachpress- oder Strangpressverfahren hergestellt. Die Eigenschaften des eingebauten Spangutes haben großen Einfluß auf die Güte der hergestellten Platten (DEPPE, 1991). Wichtige Bewertungskriterien für die Qualität der Späne sind: Anteil an Flach- und Schneidspänen, Anteil an kubischen Partikeln, Feingutanteil. Die Spanzusammensetzung hat wesentlichen Einfluß auf die technischen Eigenschaften, insbesondere die Festigkeit und Oberflächenstruktur des Holzwerkstoffes und beeinflußt zudem prozeßtechnische Parameter bei der Herstellung der Spanplatten. Ein hoher Anteil an Flach- bzw. Schneidspänen im Spangut wirkt sich verfahrenstechnisch positiv aus. Es wird dadurch eine höhere Homogenität hinsichtlich der Spandicke erreicht, und der Anteil an Überlappungsflächen wird vergrößert, was eine bessere Verleimungsfähigkeit mit sich bringt. Dagegen bewirkt ein hoher Anteil an Korn- und Kompaktspänen bzw. Feingut im Spanmaterial mehrere Nachteile, z. B. höherer Beileimungsaufwand, poröse Mittellagen, da stärker kompressibel, oder Verdichtungsabweichungen, da Material bei Streumaschinen stärker durchrieselt.

Aus diesen Gründen wird generell die Verarbeitung von Recyclingspänen auf Zusätze zu anderem Spangut beschränkt bleiben. Da außerdem die Deckschicht einer Spanplatte unter relativ hohen Qualitätsansprüchen steht, werden diese Späne vorwiegend in der Mittelschicht eingebaut (BLOSSFELD, 1988).

Neben dem Einsatz von mechanisch aufbereiteten Recyclingspänen in der Holzwerkstoffindustrie wurde am Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI) ein Verfahren zur Wiedergewinnung von Holzspänen aus Altspanplatten und Produktionsresten durch hydrothermo-mechanische Vorgänge entwickelt (MICHANICKL et al., 1995). Das Verfahren ermöglicht die Auflösung der Spanplatte in ihre Einzelbestandteile. Die wiedergewonnenen Späne können direkt zur Produktion von neuen Spanplatten eingesetzt werden. Derzeit wird zur Klärung der Übertragbarkeit der im Labor gewonnenen Erkenntnisse auf den Praxisbetrieb im industriellen Maßstab eine Pilotanlage bei einer Möbelfirma betrieben (DROSSEL et al., 1996).

3.4.1.2 Verwertung als Strukturmaterial zur Kompostierung von Klärschlamm

Bei der Kompostierung von Klärschlamm mit Strukturmaterial wird die organische Substanz durch einen aeroben mikrobiellen Abbau zersetzt. Für die Kompostierung werden i. d. R. entwässerte Schlämme mit einem Restwassergehalt zwischen 65 und 75 % bei geringem Luftporenvolumen eingesetzt. Zur Verbesserung des Luftporenvolumens und zur Optimierung des C/N-Verhältnisses sowie des Wassergehalts wird bei der Klärschlammkompostierung mit verschiedenen Zuschlagstoffen, wie z. B. Sägemehl, Kiefernborke, gehäckseltes Stroh gearbeitet. Diese Zuschlagstoffe setzen sich wie folgt zusammen:

Tab. 6: Zusammensetzung verschiedener Zuschlagstoffe bei der Klärschlammkompostierung (TUMINSKI, 1989)

Zuschlagstoff	C (%)	H ₂ (%)	O ₂ (%)	N ₂ (%)	C/N	Wassergehalt (% FS)	Glührückstand (% TS)
Altpapier	35-50	4-6	28-37	0,1-0,3	200-400	4-10	2-25
Sägemehl	47-52	5-7,2	32-45	0,1-0,2	200-500	12-25	0,2-1,5
Rinde	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	60-140	20-80	2-16
Stroh	48	5,7	39	0,4	120	5-10	5

k.A.: keine Angaben

Anstatt der o. g. Zuschlagstoffe kann auch Recyclingholz, das aufgrund seiner stofflichen Eigenschaften geeignet ist, als Strukturmaterial verwendet werden.

Die Klärschlammkompostierung wird in der Regel in geschlossenen Reaktoren durchgeführt, um so eine bessere Rotteprozesssteuerung, z. B. im Hinblick auf die Belüftung, sowie eine kontrollierte Abluftfassung und -reinigung zu gewährleisten. An die in den meisten Verfahren praktizierte 8 bis 15-tägige Intensivrotte im Reaktor schließt sich eine Nachrotte von 4 bis 8 Wochen an.

Das Rottegut ist folgendermaßen zusammengesetzt:

- Klärschlamm: 40-50 Vol.-%
- Rückgut: 40-60 Vol.-%
- Strukturmaterial: 10-20 Vol.-%

Sollte für den Kompostierungsprozeß keine ausreichende Menge an Rückgut zur Verfügung stehen, so verteilen sich die Anteile entsprechend auf die Fraktionen Klärschlamm und Strukturmaterial.

In der folgenden Abbildung 3 ist eine Klärschlammkompostierungsanlage beispielhaft dargestellt.

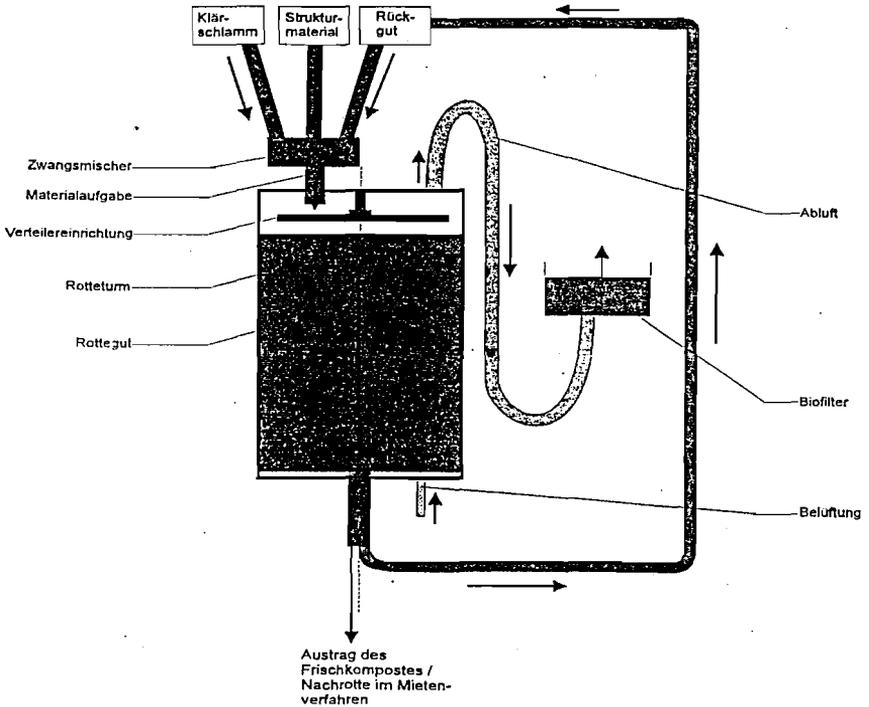


Abb. 3: Schematische Darstellung einer Klärschlammkompostierungsanlage mit Rotteturm (modifiziert nach Fa. Weiss)

3.4.1.3 Weitere stoffliche Verwertungsmöglichkeiten von Gebrauch- und Restholz

In der nachstehenden Tabelle 7 sind weitere Verwertungsmöglichkeiten, z. B. Einsatz in der Ziegelindustrie, und die z. Z. bestehenden Anforderungen für die angesprochenen Verwertungswege zusammenfassend dargestellt.

Tab. 7: Zusammenstellung von Möglichkeiten zur Verwertung von Gebrauch- und Restholz

Art der Verwertung	Bemerkungen
Herstellung von Faserplatten (z. B. MDF-Platten)	<ul style="list-style-type: none"> - da vor der Verarbeitung Holz bis zur Faser bzw. Faserbündel aufgespalten wird, werden nur geringe Anforderungen an das einzusetzende Holz gestellt - möglicher Einsatz von: Waldresthölzern, geringwertigen Industrieresthölzern, unbelasteten Gebrauchtholzsortimenten (störstofffrei) - derzeit kaum eingesetzt - erhöhter verfahrenstechnischer Aufwand nötig, um Qualitätsstandards der MDF-Platte zu erreichen (BUCKI et al., 1994)
Herstellung von mineralisch gebundenen Holzwerkstoffen	<ul style="list-style-type: none"> - Formkörper und Platten, die zu einem Teil aus Holzpartikeln oder Holzfasern und zum anderen Teil aus einem anorganischen Bindemittel (Gips, Magnesia, Zement) bestehen - Problem: anders als bei organischen Klebstoffen können bei anorganischen Bindemitteln lignocellulosehaltige Materialien das Abbindeverhalten beeinflussen. So können unerwünschte Reaktionen, z. B. bei Zement, Gips und Magnesia auftreten, so daß nur bestimmte Holzarten für die Plattenherstellung verwendet werden können. - möglicher Einsatz von: Industrieresthölzern und unbelasteten Gebrauchtholzsortimenten, jedoch nur bestimmter Holzarten, daher eher untergeordnete Relevanz (BUCKI et al., 1994)
in Pappe und Papier, als Ersatz von Primärrohstoffen	<ul style="list-style-type: none"> - generell Einsatz von Primärrohstoffen in der Papierindustrie von 57 % auf 37 % zurückgegangen, verstärkter Einsatz von Sekundärfasermaterial (Altpapier) - Herstellung von Zellstoff in Deutschland nur im Sulfit-Verfahren, welches gleichbleibende Rohstoffqualität (sortenreines Holz) benötigt - für Zellstoffherzeugung fast ausschließlich rindenfreies Sägerestholz in Hackschnitzelform geeignet, Gebrauchthölzer können nicht verwendet werden (BUCKI et al., 1994)
Einstreu, z. B. für Reithallen	<ul style="list-style-type: none"> - Problem: keine Grenzwerte für Verunreinigungen vorhanden - im Einzelfall eingesetzt (Firmeninformation)
Herstellung von Mulchmaterial zur Bodenabdeckung	<ul style="list-style-type: none"> - geeignet sind Holzreste und Rinden - Gebrauchthölzer kommen wegen möglicher Verunreinigungen (z. B. Holzschutzmittel) nur sehr bedingt in Frage

Art der Verwertung	Bemerkungen
als Torfersatzstoffe für Substrate im Gartenbau	<ul style="list-style-type: none"> - der Ersatzstoff muß nährstoffarm, wenig mikrobakteriell angreifbar und verfügbar sein, zudem einen niedrigen pH-Wert, keine phytotoxischen Stoffe oder pathogenen Keime haben - mit Holzhäcksel und Fasern: bereits positive Erfahrungen gesammelt; „Imprägnierung“ des Holzes mit Langzeitstickstoff erforderlich - mit Spanplattenhäcksel: wenig Erfahrung; Phosphat als Verbesserer; weisen hohen N-Gehalt auf => in Kombination mit Holzhäcksel, Altpapier und Rinde sinnvoll (N-zehrend) - Abbauverhalten der Beschichtungen muß genauer untersucht werden (MOLITOR, 1996)
in der Ziegelindustrie, als Porosierungsmittel	<ul style="list-style-type: none"> - Einsatz von Sägespänen zur Erzielung eines größeren Porenvolumens - in Abhängigkeit des Einsatzes von Porosierungsmitteln und der Brennbedingungen sind bestimmte Reingaswerte nach der VDI Richtlinie 2585 vorgegeben - zur Zeit werden Recyclingspäne schon als Porosierungsmittel eingesetzt (Firmeninformation)
Pyrolyse, Herstellung von Aktivkohle	<ul style="list-style-type: none"> - Einsatz von teerölimprägnierten Hölzern (z. B. Schwellen, Masten) - Holzanteil des eingesetzten Materials durch thermisches Abtreiben der flüchtigen Verbindungen in ein Kohlenstoffmaterial überführt - in gleicher Weise auch aus Imprägnierölanteil die leichtflüchtigen Komponenten thermisch abgetrieben, die schwerflüchtigen Komponenten (PAK) in reinen Kohlenstoff überführt - durch geeignete Prozeßsteuerung möglich, ausreichende Aktivierung der Holzkohle zu erlangen (Aktivkohle) - Nutzung der anfallenden Überschußenergie (Hochdruckdampf) am Standort - Einsatz der Aktivkohle als Einweg-Pulveraktivkohle in der biologischen Abwasserreinigung (KLASSERT, 1996)

3.4.2 Dekontamination von behandelten Gebraucht- und Resthölzern

Ziel der Dekontamination ist die Reduzierung oder Beseitigung der Belastung von Gebraucht- und Resthölzern durch holzfremde Inhaltsstoffe, um sie damit einer höherwertigen Verwertung zuführen zu können.

Eine Form der Dekontamination stellt das Abschälen von Lackschichten dar. Dieses Verfahren ist jedoch sehr aufwendig und kostenintensiv.

Bei der Dekontamination von schutzmittelbehandelten Hölzern wird unterschieden zwischen Verfahren, mit denen anorganische oder organische Wirkstoffe entfernt werden können. Beispiele für Dekontaminationsverfahren zur Entfernung von anorganischen Holzschutzmitteln sind:

- Verfahren mit Hilfe von Säuren, um chromfixierte Holzschutzmittel in die wasserlösliche Form zu überführen (HONDA et al., 1991)

- Verfahren durch Braunfäuleerreger chromhaltige Holzschutzmittel (mit Ausnahme von fluorhaltigen, z. B. CKF, CF-Salze) in wasserlösliche Salze umzuwandeln, um sie dann mit Wasser auszuwaschen (MARUTZKY et al., 1993)

Dekontaminationsverfahren zur Entfernung von organischen Holzschutzmitteln beruhen auf dem biologischen Abbau der organischen Substanzen durch Pilze. Zum Beispiel werden in einem an der TU Dresden entwickelten Verfahren Teeröle durch Weiß- und Braunfäulepilze in einem Fermenter mykologisch abgebaut (KÜHNE et al., 1996). Zur Zeit befinden sich die Verfahren zur Dekontamination von Holzschutzmitteln in Gebrauchthölzern noch in den Anfängen bzw. im Versuchsstadium.

3.4.3 Energetische Verwertung

Insgesamt spielt Holz derzeit als Energieträger in Deutschland und auch auf den Weltenergiemärkten nur eine untergeordnete Rolle. Es wird in Energiestatistiken nicht eigenständig aufgeführt, sondern immer mit sonstigen Energieträgern, wie Torf, Klärschlamm oder „Müll“ zusammengefasst. Derzeit liegt der Energieholzeinsatz in Deutschland bei ca. 7 Mio t. Würde das Gesamtpotential aus Wald-, Industrierest- und Gebrauchtholz ausgeschöpft, könnten etwa 2,5 % des Primärenergiebedarfs in Deutschland gedeckt werden (ANONYMUS, 1996).

Haupthinderungsgrund für die Errichtung von Holzfeuerungsanlagen sind neben einem großen Lagerplatzbedarf, die im Vergleich zum Öl oder Erdgas höheren Investitions- und Betriebskosten. Als positiver Nebeneffekt ist die CO₂-neutrale Verbrennung des Holzes zu sehen.

Im folgenden sind drei Beispiele für die energetische Verwertung oder je nach Belastung des Brennstoffes (Kap. 3.3.1) thermische Behandlung dargestellt.

3.4.3.1 Einsatz in betriebseigenen Feuerungsanlagen

Die energetische Nutzung von Resthölzern beschränkt sich in Deutschland derzeit überwiegend auf die innerbetriebliche Ebene, d. h., die in der Möbel- und Holzwerkstoffindustrie anfallenden Mengen an Restholz, Sägespänen, Sägemehl oder Spanplattenresten werden im eigenen Betrieb verbrannt.

Hier kommen hauptsächlich Anlagen im Leistungsbereich bis 6 MW zum Einsatz. Größere Anlagen (>10 MW) sind teilweise in der Möbel- oder Spanplattenindustrie zu finden.

Mit der Verbrennung wird überwiegend der Wärmebedarf des jeweiligen Betriebes gedeckt (UNGER et al., 1995). In größeren Anlagen werden zusätzlich zu den im eigenen Betrieb anfallenden Resthölzern noch andere Recyclinghölzer verfeuert und die gewonnene Energie über Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen abgeschöpft.

Die folgende Tabelle zeigt den Grad der energetischen Verwertung von Reststoffen in der Holzbe- und verarbeitenden Industrie am Beispiel des IHK-Bezirks Münster. In 80 % der befragten Firmen wurden Resthölzer, Sägemehl und Sägespäne verbrannt, einige wenige kauften zusätzlich noch Restholzspäne zu (HACHMANN, 1994).

Tab. 8: Grad der energetischen Verwertung von Reststoffen in der Holzbe- und verarbeitenden Industrie am Beispiel des IHK-Bezirks Münster

energetische Verwertung der anfallenden Reststoffe	Anzahl der Betriebe	Ersatz des konventionellen Energieträgers zu	
		%	Anzahl der Betriebe
nein	10	-	-
ja	40	100	29
		90 - 100	4
		80 - 90	3
		<80	4

Zur energetischen Verwertung in betriebseigenen Feuerungsanlagen können prinzipiell verschiedene Feuerungen, wie die Unterschubfeuerung, Rostfeuerung, Einblasfeuerung oder die Wirbelschichtverbrennung, zum Einsatz kommen.

Die besonders in Möbelwerken gebräuchlichen Unterschubfeuerungen werden mit stückigen Reststoffen betrieben. Feine Materialien, wie Säge- und Frässpäne sowie Schleifstäube werden in Einblasfeuerungen verbrannt (POHLANDT; 1994). Dabei wird der Brennstoff, der fein und trocken sein muß, pneumatisch in die Brennkammer gefördert. Die mitgerissenen Partikel werden aus dem Abgasstrom über Abgasreinigung (z. B. Zyklon, Gewebefilter, Elektrofilter) entfernt und der anfallende Filterstaub sowie die anfallende Holzasche beseitigt.

Der Einsatz von Gebrauch- oder Restholz in betriebseigenen Feuerungsanlagen wird in Abhängigkeit vom eingesetzten Brennstoff und der Leistung des Kessels nach der

1. BImSchV bzw. nach der 4. BImSchV in Verbindung mit der TA-Luft oder der 17. BImSchV geregelt.

3.4.3.2 Einsatz im Zementwerk

Derzeit wird Gebrauchtholz in der Bundesrepublik, anders als in mehreren europäischen Ländern, noch nicht im nennenswerten Rahmen in Zementwerken eingesetzt.

Im Zementwerk HCB Rekingen in der Schweiz werden derzeit 35.000 t/a Gebrauchtholz aus Bauabbrüchen und Gebäudesanierungen energetisch genutzt. Im Endausbau soll die Kapazität 70.000 t/a Gebrauchtholz betragen. Die daraus gewonnene Wärmeenergie kann 50 % des Brennstoffbedarfs abdecken (Ersatz von 40.000 t/a Import Kohle) (ANONYMUS, 1995).

Zementwerke sind in der Bundesrepublik nach der 4. BImSchV genehmigungspflichtige Anlagen. Derzeit werden Primärbrennstoffe wie Kohle oder Öl zu gewissen Anteilen durch Sekundärbrennstoffe, wie Gummireifen, Schreddermüll, Altöl etc. ersetzt. In Abhängigkeit vom Anteil des Sekundärbrennstoffes an der Gesamtfeuerungswärmeleistung werden aus der 17. BImSchV und der TA-Luft anhand von Mischrechnungen die zulässigen Emissionswerte festgelegt (Grenzwerte im Anhang B 8).

Das Hauptanlagenelement eines Zementwerkes ist die Ofenanlage mit dem Drehrohrföfen. In diesem wird das Rohmaterial zu Zementklinker gesintert. Rohmaterial und Heißgas durchlaufen den Feuerungsraum im Gegenstrom. Die Feuerung erfolgt i. a. über Kohlenstaub, der über einen Brenner eingedüst wird. Die Flammtemperaturen betragen ca. 2000 °C. Das Brenngut wird auf mindestens 1450 °C erhitzt und gesintert. Anschließend wird das gesinterte Material einem Kühler zugeführt und mittels Luft auf ca. 100 °C abgekühlt.

Grundsätzlich ist der Einsatz von Rest- und Gebrauchtholz nach entsprechender Aufbereitung in der Hauptfeuerung mit Temperaturen von 1800 - 2000 °C oder der Zweitfeuerung mit Temperaturen von 800 - 1200 °C möglich.

Als Hauptfeuerung wird die eigentliche Feuerungseinrichtung zur Beheizung des Ofens bezeichnet. Die in der Regel in Form von Brennerlanzen ausgeführte Zweitfeuerung befindet sich im heißesten Bereich des Vorwärmers, wobei die Zufeuerungsraten 10 - 50 % des Gesamtwärmebedarfs betragen.

Organische Belastungen, z. B. aus Holzschutzmittelbehandeltem Holz, werden infolge der hohen Temperaturen beim Feuerungsprozeß zersetzt. Hierbei erweist sich der Einsatz von Gebrauchtholz in der Hauptfeuerung bei sehr hohen Temperaturen ge-

genüber einem Einsatz in der Zweitfeuerung (hier besser unbelastetes Restholz) als vorteilhaft. Schwermetalle mit mittleren und hohen Siedepunkt werden bei Temperaturen um 1450 °C in das schmelzflüssige Material mit aufgenommen und in den Klinker eingeschlossen. Ein großer Vorteil des Einsatzes bei der Zementherstellung besteht darin, daß keine Feuerungsrückstände anfallen.

Problematisch beim Einsatz von schutzmittelbehandelten Hölzern ist vor allem Quecksilber, das aufgrund der extrem hohen Flüchtigkeit weder in den Klinker eingebunden noch über einen Elektrofilter ausreichend abgeschieden werden kann.

3.4.3.3 Holzvergasung

Aus Sicht des Immissionschutzes (Gas verbrennt günstiger als Feststoff) und der Energieeffizienz (Gas kann flexibler genutzt werden) interessante Vergasungsverfahren befinden sich zur Zeit noch in der Entwicklung (HOFFMANN, 1996).

Bei der Vergasung werden C-haltige Bestandteile mit Hilfe eines Vergasungsmittels (z. B. gezielte O₂-Luft-Zugabe) in gasförmigen Brennstoff (Schwachgas oder Synthesegas in Abhängigkeit vom Vergasungsmittel) und Asche umgewandelt. Die Vergasungs- oder Reaktionsgeschwindigkeit ist von der Temperatur, dem Porendurchmesser und der inneren Diffusion des Brennstoffes abhängig. Häufig ist der Vergasung eine Entgasung (Pyrolyse, ohne gezielte O₂-Zugabe) vorgeschaltet, da pyrolysiertes Material besser vergast als unbehandeltes (THOMÉ-KOZMIENSKY, 1994).

Je nach Vergasertyp können in der Oxidationsstufe unterschiedliche Temperaturen erreicht werden, die für eine Vergasung verschieden belasteter Hölzer geeignet sind (TIPPKÖTTER, 1996). Die folgende Abbildung 4 zeigt Beispiele.

Beim Einsatz von Gebrauchtholz als Brennstoff in einer Hochtemperaturvergasung werden neben den entstehenden Teeren und Phenolen auch Lack-, Farb-, Kunststoff- und Kunstharzanteile gespalten. Die mineralischen und metallischen Bestandteile des Brennstoffs, sowie bestimmte Chlorverbindungen werden zu einer inerten glasartigen Schlacke eingeschmolzen. Neben der Schlacke bleibt bei der Vergasung auch Asche zurück. Die anfallende Schlacke- und Aschemenge bewegt sich in Abhängigkeit des Verfahrens und der Qualität der Einsatzstoffe zwischen 1 - 5%.

Nach einer Reinigung und Aufbereitung des im Vergaser erzeugten Schwachgases kann dieses in modifizierten Motoren oder Gas- bzw. kombinierten Gas-Dampfturbinen zur Erzeugung elektrischer oder mechanischer Energie zum Einsatz kommen.

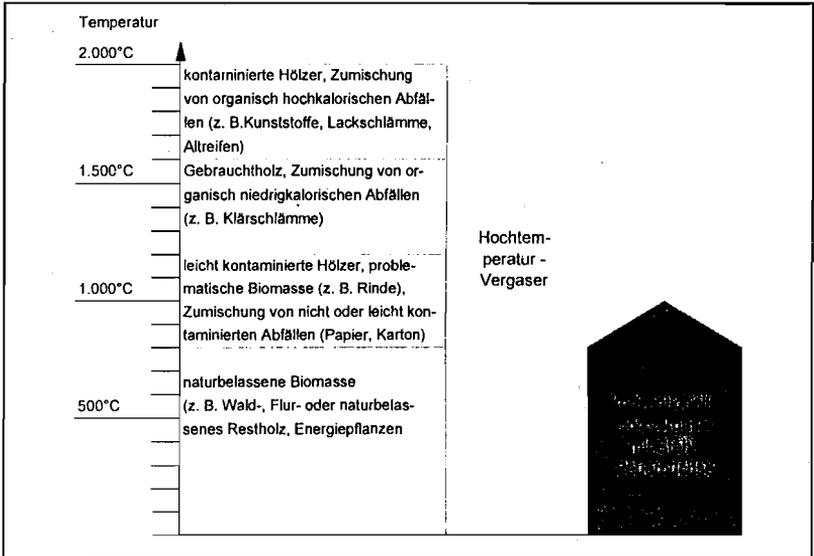


Abb. 4: Temperaturen in der Oxidationsstufe unterschiedlicher Vergasertypen (TIPPKÖTTER, 1996)

Bei der Gasaufbereitung kommt es durch Abkühlen des Schwachgases zu einem Kondensatausfall. Das Kondensat muß je nach Belastung des eingesetzten Brennstoffs einer Aufbereitung unterzogen werden (TIPPKÖTTER, 1996).

3.5 Beseitigung von Gebrauch- und Resthölzern

Für die Beseitigung von Holzabfällen gibt es in Nordrhein-Westfalen die Möglichkeiten der thermischen Behandlung in einer Hausmüllverbrennungsanlage (HMV) oder einer Sonderabfallverbrennungsanlage (SAV) sowie der Ablagerung auf einer Hausmüll- (HMD) oder Sonderabfalldeponie (SAD).

Die Anlagenbetreiber orientierten sich bei der Annahme der Abfälle bis zum Inkrafttreten des KrW-/AbfG an dem LAGA-Abfallartenkatalog, der Listen mit Abfallschlüsselnummern (ASN) enthält.

Mit dem KrW-/AbfG wird der Abfallartenkatalog der LAGA ab dem 01. Januar 1999 durch den europäischen Abfallartenkatalog (EWC) abgelöst.

3.5.1 Ablagerung von Gebrauch- und Restholz sowie Holzaschen

Gegenwärtig werden noch von ca. 80 % der Hausmülldeponien in der BRD Holzabfälle angenommen, die unter den Bereich der nicht besonders überwachungsbedürftigen Abfälle fallen (PASEL, 1996).

Bei der Ablagerung von Gebrauch- und Restholz müssen zukünftig die schon in Kap. 3.3.2 angeführten Zuordnungswerte des Anhang zur TA Siedlungsabfall und der TA Abfall eingehalten werden.

Bei der energetischen Verwertung und thermischen Behandlung von Rest- und Gebrauchholz in Holzfeuerungsanlagen verbleiben Rückstände in Form von Schlacken, Brennkammeraschen und Filterstäuben. Derzeit wird der größte Anteil der anfallenden mineralischen Rückstände aus Holzfeuerungsanlagen auf Hausmülldeponien abgelagert (vgl. Kap. 8). Dabei sind ebenfalls die Grenzwerte der TA Siedlungsabfall bzw. TA Abfall einzuhalten.

3.5.2 Thermische Behandlung von Gebrauch- und Resthölzern

In Abhängigkeit von der Belastung durch Verunreinigungen werden Hölzer, die nicht verwertet oder abgelagert werden, in Hausmüll- bzw. Sonderabfallverbrennungsanlagen verbrannt. Die zur Beseitigung anstehenden Holzabfälle, die zu den nicht besonders überwachungsbedürftige Abfälle zählen, werden von allen Hausmüllverbrennungsanlagen in Nordrhein-Westfalen angenommen. Die besonders überwachungsbedürftigen Holzabfälle sind gesondert zu behandeln (PASEL, 1996).

4. Gebraucht- und Restholzpotential und Situation der Aufbereitung in Nordrhein-Westfalen

4.1 Gebraucht- und Restholzpotential im Jahr 1993 in NRW

4.1.1 Allgemeines

Im Rahmen dieses Kapitels wurde das Potential an Gebraucht- und Restholz in Nordrhein-Westfalen (NRW) abgeschätzt. Anhand dieser Untersuchung sollte die Holzmenge, die noch über andere Fraktionen (Hausmüll, Sperrmüll, Baustellenabfall, etc.) entsorgt und diejenige, die schon verwertet wird, verdeutlicht werden. Das Holzpotential wurde für das Jahr 1993 ausgearbeitet, da für Nordrhein-Westfalen keine neueren amtlichen Statistiken des Landesamt für Datenverarbeitung und Statistik (LDS) und des Abfallentsorgungs- und Altlastensanierungsverband (AAV) zur Verfügung standen.

4.1.2. Vorgehensweise bei der Ermittlung des Gebraucht- und Restholzpotentials in NRW

4.1.2.1 Darstellung des Vorgehens

Zur Ermittlung des Gebraucht- und Restholzpotentials in NRW wurden Gebraucht- und Restholzanteile in Abfallfraktionen (Hausmüll, hausmüllähnlicher Gewerbeabfall, Sperrmüll und Baustellenabfall) bestimmt. Als Datengrundlage dienten eigene Untersuchungen des INFA-Instituts, des Labors für Abfallwirtschaft, Siedlungswasserwirtschaft und Umweltchemie der Fachhochschule Münster (LASU) sowie anderer Institute und Firmen. Aus den Angaben in den verschiedenen Studien wurde für die relevanten Abfallfraktionen Hausmüll, hausmüllähnlicher Gewerbeabfall, Sperrmüll und Bauabfall ein Anteil von Gebraucht- und Resthölzern anhand von begründeten Praxiswerten erarbeitet. Über diese Anteile und die in 1993 in NRW entsorgte Menge der verschiedenen Abfallfraktionen wurden die darin enthaltene Gebraucht- und Restholzmenge ermittelt und auf die verschiedenen Entsorgungswege aufgeteilt. Um das Potential an Gebraucht- und Restholz beziffern zu können, wurde die in 1993 schon verwertete Menge zu der vorher ermittelten Menge addiert.

Die Holzmenge der Fraktion „produktionspezifische Abfälle“ wurde nicht aus den angesprochenen Studien entnommen, da diese Menge sehr von der Gewerbestruktur eines Raumes abhängt. Für diese Abfallart wurde die Holzmenge der Statistiken des

LDS (1996) bzw. AAV (1993) herangezogen, die diese für Gewerbebetriebe in NRW detailliert aufführen.

Die Vorgehensweise bei der Ermittlung des Gebraucht- und Restholzpotentials ist zusammenfassend in Abb. 5 dargestellt und wird im folgenden erläutert.

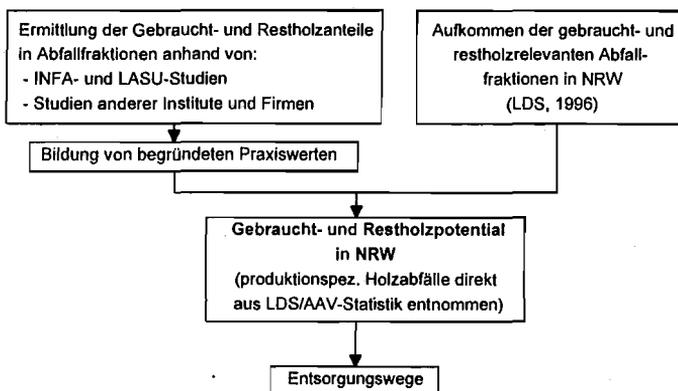


Abb. 5: Vorgehensweise bei der Ermittlung des Gebraucht- und Restholzpotentials in NRW (1993)

4.1.2.2 Eigene Untersuchungen

Als Datengrundlage zur Bestimmung der Gebraucht- und Restholzanteile in Abfallarten dienten verschiedene Abfallanalysen des INFA und LASU von Hausmüll, hausmüllähnlichem Gewerbeabfall, Sperrmüll und Baustellenabfall. In den zugrundegelegten Studien wurde die Zusammensetzung der angesprochenen Abfallfraktionen über Sichtungen und Sortierungen auf Deponien und Behandlungs- sowie Sortieranlagen ermittelt. Die enthaltenen Gebraucht- und Resthölzer wurden anhand von optischen Beurteilungen in die Gruppen:

- unbehandeltes Holz (z. B. Palettenholz),
- behandeltes Holz (z. B. Spanplatten mit Kunststoffbeschichtungen) und
- Möbel (z. B. Stühle)

unterteilt. Ein großes Problem bei einer optischen Beurteilung stellten Belastungen mit Holzschutzmitteln dar. Im folgenden wird daher die Gruppe, die nach optischen Gesichtspunkten als unbehandelt zu bezeichnen war, als „unbehandelt“ („unbeh.“) be-

zeichnet, da nicht ausgeschlossen werden konnte, behandeltes Holz, das keine Farbe oder Beschichtung aufwies, in dieser Gruppe mit erfaßt zu haben. Weiter wurden die Gruppen „behandeltes Holz“ und „Möbel“ in einer Gruppe „behandelt/Möbel“ (beh./Möbel) zusammengefaßt, da in den verschiedenen Untersuchungen nicht immer die gleichen Kriterien für eine Unterscheidung in diese beiden Gruppen gegeben waren.

Um den Einfluß der Gebietsstruktur auf die Abfallmengen und -zusammensetzungen zu berücksichtigen, wurden die untersuchten Kreise und Städte in ländlich und städtisch strukturierte Regionen eingeteilt. Die Zuordnung zu einer Region erfolgte über die Betrachtung der Einwohnerdichte (E/km^2). Die Grenzeinwohnerdichte wurde bei $800 E/km^2$ (LDS, 31.12.1993) festgelegt.

In der Tabelle 9 sind die einzelnen Abfallfraktionen mit den Gebraucht- und Restholzanteilen aus den jeweiligen INFA-/LASU-Untersuchungen aufgeführt. Die Fraktionen können wie folgt beschrieben werden:

- **Hausmüll**

Die Abfallfraktion Hausmüll beinhaltet sowohl in den ländlichen Regionen als auch in den städtischen Regionen nur einen sehr geringen Anteil an Gebraucht- und Restholz.

- **Hausmüllähnlicher Gewerbeabfall**

Die Anteile des Gebraucht- und Restholzes im hausmüllähnlichen Gewerbeabfall werden besonders durch die vorhandene Gewerbestruktur in den Regionen beeinflusst. Zudem wirkt sich bei einer Untersuchung eine vorhandene Gewerbeabfallsortieranlage auf die Zusammensetzung des deponierten hausmüllähnlichen Gewerbeabfalls aus. In dem Fall gelangen nur die nicht mehr sortierfähigen Abfälle und die Sortierreste aus den Anlagen zur Deponie. Die Holzanteile im hausmüllähnlichen Gewerbeabfall lagen zwischen ca. 10 bis 20 Gew.-%

• Sperrmüll

Der Sperrmüllanfall und dessen Zusammensetzung unterliegt vor allem dem Einfluß der Gebietsstruktur, des Erfassungssystems und der zugehörigen Gebührenstruktur (GALLENKEMPER et al., 1996).

Folgende wesentliche Einflußfaktoren sind bei der Sperrmüllmenge und -zusammensetzung zu nennen:

- ländlichen/städtisch: z. B. in ländlichen Gebieten meist mehr Speicherplatz für ausgediente Möbel und sonstiges als in städtischen vorhanden
- Erfassungssysteme: Holsysteme (Straßensammlung, Karte), Bringsysteme (Recyclinghof) z. T. mit Vorsortierung
- Gebührenstruktur: z. B. separate Gebühr für Sperrmüllsammmlung oder kostenlos
- Einfluß von öffentlichen und karitativen Einrichtungen (Möbelbörse)

Der Gebrauch- und Restholzanteil im Sperrmüll liegt zwischen 40 und 60 Gew.-%. Es ist festzustellen, daß der Sperrmüll den höchsten Holzanteil aller hier betrachteten Abfallfraktionen aufweist, wobei er im ländlichen Bereich (im Mittel ca. 44 Gew.%) geringer ist als im städtischen (im Mittel ca. 55 Gew.%).

• Baustellenabfall

Die Untersuchungen zeigten, daß Menge und Zusammensetzung des Baustellenabfalls von den örtlichen Gegebenheiten abhängig sind. Folgende Faktoren sind hier zu nennen:

- Vortrennung der Holzfraktion auf der Baustelle, meist bei größeren Bauvorhaben
- Separation der Holzfraktion in Baustellenabfallsortieranlagen
- keine Vortrennung und Sortierung, komplett auf Deponie entsorgt
- Art der Baumaßnahme und Bauphase (Neubau, Umbau oder Abbruch)
- Transport über Kreis-/Stadtgrenzen zu günstigeren Entsorgungsanlagen

Tendenziell ist festzustellen, daß in ländlich strukturierten Gebieten weniger Holz im Bauabfall (ca. 11 Gew.%) anfiel, als in städtischen (ca. 18 Gew.%).

Tab. 9: Gebrauch- und Restholzanteile in den untersuchten Abfallfraktionen

		Hausmüll			Hmäh. Gewerbeabfall			Sperrmüll			Baustellenabfall		
Gebiets- zuordnung	Daten- grundlage ¹⁾	"unbeh." ²⁾ [Gew.-%]	beh./Möbel ³⁾ [Gew.-%]	Gesamtanteil [Gew.-%]	"unbeh."^{2)} [Gew.-%]	beh./Möbel^{3)} [Gew.-%]	Gesamtanteil [Gew.-%]	"unbeh."^{2)} [Gew.-%]	beh./Möbel^{3)} [Gew.-%]	Gesamtanteil [Gew.-%]	"unbeh."^{2)} [Gew.-%]	beh./Möbel^{3)} [Gew.-%]	Gesamtanteil [Gew.-%]
ländliche Region	Kreis A	— ⁴⁾	— ⁴⁾	— ⁴⁾	9,0	12,0	21,0	13,0	29,0	42,0	1,8 ⁶⁾	10,8 ⁶⁾	12,6 ⁶⁾
	Kreis B	0,3	0,8	1,1	8,0	6,0	14,0	17,0	31,0	48,0	1,8 ⁶⁾	10,8 ⁶⁾	12,6 ⁶⁾
	Kreis C	0,4	1,1	1,5	2,8	6,7	9,5	2,4	38,2	40,6	1,4	8,2	9,6
	Kreis D	— ⁴⁾	— ⁴⁾	— ⁴⁾	— ⁴⁾	— ⁴⁾	— ⁴⁾	— ⁴⁾	— ⁴⁾	— ⁴⁾	1,8 ⁶⁾	10,8 ⁶⁾	12,6 ⁶⁾
städtische Region	Stadt E	0,2	0,6	0,8	— ⁴⁾	— ⁴⁾	— ⁴⁾	— ⁴⁾	— ⁴⁾	— ⁴⁾	— ⁴⁾	— ⁴⁾	— ⁴⁾
	Stadt F	— ⁴⁾	— ⁴⁾	— ⁴⁾	3,7 ⁵⁾	13,9 ⁵⁾	17,6 ⁵⁾	4,7	44,9	49,6	1,9	11,8	13,7
	Stadt G	0,4	2,0	2,4	— ⁴⁾	— ⁴⁾	— ⁴⁾	1,8	58,9	60,7	9,5 ⁷⁾	16 ⁷⁾	25,5 ⁷⁾
	Stadt H	0,2	0,6	0,8	— ⁴⁾	— ⁴⁾	— ⁴⁾	— ⁴⁾	— ⁴⁾	— ⁴⁾	— ⁴⁾	— ⁴⁾	— ⁴⁾

¹⁾ INFA-/LASU-Untersuchungen, durch Sichtungen auf Deponien

²⁾ „unbeh.“ = nach optischen Gesichtspunkten bestimmt

³⁾ beh./Möbel = behandeltes Holz/Möbel

⁴⁾ keine Angaben in der Studie enthalten

⁵⁾ Gewerbeabfallsortieranlage vorhanden

⁶⁾ die Bauabfälle der Kreise A, B und D wurden an die gleiche Sortieranlage geliefert (Sichtungsort)

⁷⁾ Sichtung an einer Sortieranlage

4.1.2.3 Untersuchungen anderer Institute und Firmen

Um die in eigenen Untersuchungen ermittelten Holzanteile in den relevanten Abfallfraktionen abzusichern, wurden diese mit Ergebnissen von Studien anderer Institute verglichen (Tab. 10).

Tab. 10: Gebraucht- und Restholzanteile in bestimmten Abfallfraktionen anhand von Untersuchungen anderer Institute und Firmen

Abfallfraktion	Datengrundlage	Struktur	Holzfraktion	Anteil [%]	Studien des INFA/LASU [Min-Max-%]
HM ¹⁾	„Grundlagen für integrierte Abfallwirtschaftskonzepte...“; K. Ketelsen, 1993	ländlich (Dithmarsch)	Holz	0,7	1,1 - 1,5
	„Abfallanalyse Köln“; ITU, 1993	städtisch (Köln)	Holz	1,1	0,8 - 2,4
Hm&G ²⁾	„Gewerbeabfall-Anfall und Verwertungspotential“; K. Ketelsen, 1991	ländl./städt.	Holz, roh	5,0 - 7,0	2,8 - 9,0
	„Realisierung der Aufbereitung und Verwertung ...“; H. Brümmer, 1991	ländlich (Diepholz)	Holz	14,3	9,5 - 21,0
	„Gewerbeabfallsichtung Höxter“; Töpfer, 1995	ländlich (Höxter)	Holz	20,4	9,5 - 21,0
	„Bundesweite Gewerbeabfalluntersuchung“; UBA/ITU, 1994	Deutschland	Holz	11,6	9,5 - 21,0
Bau ³⁾	„Aufkommen, Zusammensetzung, ...“; H.-J. Roos, 1995	ländl./städt.	Holz	1,0 - 8,0	9,6 - 25,5
	„Betriebs Erfahrungen mit einer Sortieranlage“; P. Speth, 1991	ländl./städt.	Holz (unbeh.)	7,0	1,4 - 9,5
	„Aufbereitung von Baustellenabfall und ...“; G. Schinol, 1991	ländl./städt.	Holz (unbeh.)	4,0	1,4 - 9,5
	„Gewerbeabfallsichtung Höxter“; Töpfer, 1995	ländlich (Höxter)	Holz, (Abbruch)	9,0	9,6 - 12,6
SM ⁴⁾	„Untersuchung der Sperrmüllabfuhr d. Stadt Rheine“; EPS, 1995	ländl./städt. (Rheine)	Holz	48,4	40,6 - 60,7
	„Grundlagen für integrierte Abfallwirtschaftskonzepte...“; K. Ketelsen, 1993	ländlich (Dithmarsch)	Holz	49,1	40,6 - 48,0
	„Sperrmüllanalyse Höxter“; Töpfer, 1995	ländlich (Höxter)	Holz	48,3	40,6 - 48,0

¹⁾ HM = Hausmüll; ²⁾ Hm&G = Hausmüllähnlicher Gewerbeabfall; ³⁾ Bau = Baustellenabfall; ⁴⁾ SM = Sperrmüll

Die Gebraucht- und Restholzanteile in den verschiedenen Abfallfraktionen der Fremdstudien und der Untersuchungen INFA/LASU (als Min/Max-Werte) sind in der Tabelle 10 gegenübergestellt. Auf eine weitere Differenzierung der verschiedenen Holzfraktionen wurde verzichtet, da von unterschiedlichen Deklarationen für unbehandeltes Holz, behandeltes Holz und Möbel auszugehen ist.

Um weiter eine bessere Vergleichbarkeit zu erzielen, wurden die Untersuchungen der anderen Institute und Firmen ebenfalls in die Regionen ländlich und städtisch eingeteilt.

Wie aus der Tabelle 10 deutlich wird, wurden die eigenen Untersuchungsergebnisse über die Gebraucht- und Restholzanteile weitgehend durch die Untersuchungen anderer Institute und Firmen bestätigt.

4.1.2.4 Festlegung von begründeten Praxiswerten von Gebraucht- und Restholzanteilen in Abfallfraktionen

Die Bildung der Praxiswerte orientiert sich an den vorher ermittelten Grundlagendaten und den Ergebnissen der Studien anderer Institute, sowie an Erfahrungen mit der Organisation der Abfallbeseitigung mehrerer Städte in NRW. Diese Werte wurden aufgrund eigener Erfahrungen so festgelegt, daß die zuvor genannten Einflußfaktoren weitgehend Berücksichtigung fanden. Die Tabelle 11 enthält die Ergebnisse der Bildung der begründeten Praxiswerte für die Gebraucht- und Restholzanteile in den bisher betrachteten Fraktionen.

Der Gebraucht- und Restholzanteil im Sperrmüll ist mit 44,8 bzw. 52,9 Gew.-% mehr als doppelt so hoch, wie die Anteile des Gebraucht- und Restholzes im hausmüllähnlichen Gewerbeabfall (15,8 bzw. 17,6 Gew.-%) oder im Baustellenabfall (11,8 bzw. 19,6 Gew.-%). Der beseitigte Hausmüll enthält nur eine geringe Menge an Gebraucht- und Resthölzern und wies, wie der hausmüllähnliche Gewerbeabfall, keine große Differenz in den Gebraucht- und Restholzanteilen in bezug auf die Zuordnung in ländliche und städtische Region auf. Im Gegensatz dazu wird bei der Betrachtung der Anteile in den Fraktionen Baustellenabfall und Sperrmüll ein Unterschied zwischen den Regionsarten deutlich.

Tab. 11: Begründete Praxiswerte für Anteile von Gebraucht- und Resthölzern in den betrachteten Abfallfraktionen

Abfallfraktion	Holzfraktion	ländlich	städtisch
		Gebraucht-/Restholzanteil [Gew.-%]	Gebraucht-/Restholzanteil [Gew.-%]
Hausmüll	Holz "unbeh." ¹⁾	0,3	0,2
	Holz beh./Möbel	0,8	1,1
	Summe	1,1	1,3
Hmäh. Gewerbeabfall ²⁾	Holz "unbeh." ¹⁾	7,0	3,7
	Holz beh./Möbel	8,8	13,9
	Summe	15,8	17,6
Sperrmüll	Holz "unbeh." ¹⁾	8,4	4,0
	Holz beh./Möbel	36,4	48,9
	Summe	44,8	52,9
Baustellenabfall	Holz "unbeh." ¹⁾	1,7	5,7
	Holz beh./Möbel	10,1	13,9
	Summe	11,8	19,6

¹⁾ „unbeh.“ = nach optischen Gesichtspunkten bestimmt

²⁾ Hmäh. Gewerbeabfall = hausmüllähnlicher Gewerbeabfall

In allen untersuchten Fraktionen war der Anteil des behandelten Holzes und der Möbel höher als der des „unbehandelten“ Holzes.

Die erzielten Ergebnisse sind als Richtwerte der Anteile von Gebraucht- und Restholz für die einzelnen Abfallfraktionen zu sehen, da eine exakte Ermittlung aufgrund der erwähnten Einflußfaktoren nicht durchführbar ist.

4.1.2.5 Aufkommen der Abfallfraktionen mit Gebraucht- und Restholzanteilen in NRW 1993

Um die Gebraucht- und Restholzmenge für NRW berechnen zu können, war die Darstellung des Aufkommens der gebrauch- und restholzrelevanten Abfallfraktionen notwendig, die 1993 an öffentlichen Entsorgungsanlagen angeliefert wurden (LDS, 1996). Aus der Darstellung in Tabelle 12 geht hervor, daß in NRW die hier zu betrachtenden Abfallfraktionen überwiegend an öffentlichen Entsorgungsanlagen angeliefert wurden. Aus dem Grund wurde das geringe Aufkommen an gebrauch- und restholzrelevanten Fraktionen an gewerblich betriebenen Entsorgungsanlagen vernachlässigt.

Tab. 12: Aufkommen der gebraucht- und restholzrelevanten Abfallfraktionen an öffentlichen und gewerblichen Entsorgungsanlagen in NRW (1993)

Abfallfraktion	angeliefert an Entsorgungsanlagen in NRW			
	öffentlich (1993) ¹⁾		gewerblich (1993) ¹⁾	
	[kg/(E*a)]	[1.000t/a]	[kg/(E*a)]	[1.000t/a]
Hausmüll	270,5	4.794,4	1,6	28,2
Hmäh. Gewerbeabfall ²⁾	110,3	1.954,1	1,8	31,2
Baustellenabfall	69,3	1.227,6	0,9	16,0
Sperrmüll	41,3	731,4	0,5	8,1

¹⁾ LDS, 1996²⁾ Hmäh. Gewerbeabfall = hausmüllähnlicher Gewerbeabfall

Bei den an öffentlichen Entsorgungsanlagen angelieferten Abfällen handelt es sich im wesentlichen um Hausmüll und hausmüllähnlichem Gewerbeabfall.

Als Datengrundlage für die Menge der an Entsorgungsanlagen angelieferten produktionsspezifischen Holzabfälle im Jahr 1993 diente die Statistik des LDS (1996) und die AAV Statistik (1993). Das entsprechende Aufkommen an Holzabfällen und -reststoffen aus Betrieben belief sich in NRW pro Einwohner auf 44,7 kg/(E*a).

4.1.3 Berechnung des Gebraucht- und Restholzpotentials für NRW

4.1.3.1 Berechnung der an öffentlichen Entsorgungsanlagen angelieferten Gebraucht- und Restholzmenge

Die 1993 in NRW an öffentlichen Entsorgungsanlagen angelieferte Gebraucht- und Restholzmenge wurde durch die Anwendung der begründeten Praxiswerte für Gebraucht- und Restholzanteile (Tab. 11) auf das Aufkommen der relevanten Fraktionen berechnet.

Dabei wurden drei unterschiedliche Fälle betrachtet:

- Potential 1993: unter Anwendung der begründeten Praxiswerte für die ländlich /städtische Verteilung in den einzelnen Regierungsbezirken
- ländlicher Bereich: unter Anwendung der begründeten Praxiswerte für eine ländliche Region

städtischer Bereich: unter Anwendung der begründeten Praxiswerte für eine
städtische Region

Bei allen drei Fällen wurde nach dem gleichen Schema vorgegangen:

Auf der Grundlage der Einwohnerverteilung in den verschiedenen Gebietstrukturen (diese wurde jeweils auf der Ebene der Regierungsbezirke vorgenommen), der entsorgten Abfallmengen in 1993 und der begründeten Praxiswerte wurde die spezifischen Gebraucht- und Restholzmenge in NRW (ohne verwertete Mengen) ermittelt.

In der Abbildung 6 ist eine Gegenüberstellung der errechneten Gebraucht- und Restholzmenge dargestellt. Zusätzlich ist in diese Darstellung die Menge der produktions-spezifischen Holzabfällen im Jahr 1993, die bei $44,7 \text{ kg}/(\text{E}^*\text{a})$ lag, mit aufgenommen.

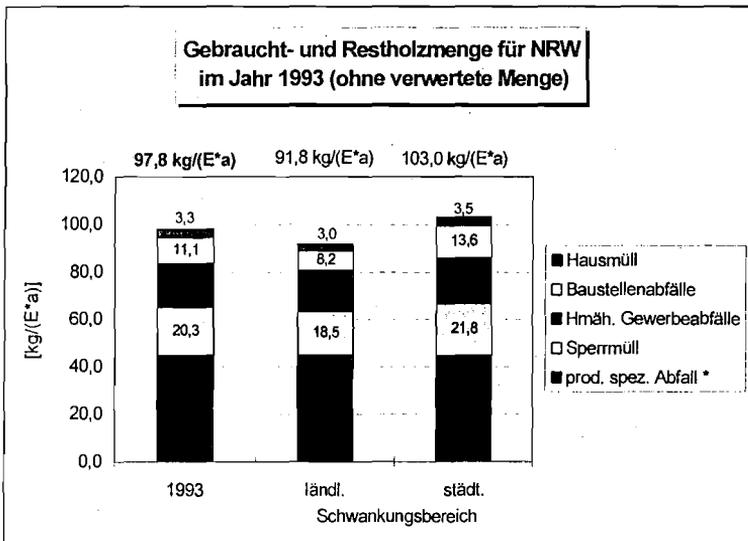


Abb. 6: Gebraucht- und Restholzpotalential für NRW im Jahr 1993 (ohne verwertete Menge); *durchschnittliche Menge NRW, LDS (1996)

Danach ergibt sich für NRW eine Gebraucht- und Restholzmenge von ca. $98 \text{ kg}/(\text{E}^*\text{a})$. Dies entspricht bei 17,8 Mio. Einwohnern (1993) einer Gesamtmenge von 1,7 Mio. t. Etwa die Hälfte davon stammt aus produktions-spezifischen Abfällen ($44,7 \text{ kg}/(\text{E}^*\text{a})$).

Der Schwankungsbereich liegt zwischen 92 kg/(E*a) (entspricht 1,6 Mio. t) und 103 kg/(E*a) (entspricht 1,8 Mio. t). Da die genannten Werte relativ dicht beieinander liegen, wird nachfolgend lediglich der für 1993 ermittelte Wert diskutiert.

Unter Berücksichtigung der Tab. 11 ergibt sich folgende Aufteilung in „unbehandeltes“ und behandeltes Holz (Tab. 13).

Anhand der Aufstellung ist zu erkennen, daß die Gebraucht- und Restholzmenge 1993 zu 22 % aus „unbehandeltem“ und zu 78 % aus behandeltem Holz 1993 bestand. Dabei muß jedoch berücksichtigt werden, daß die Einteilung in die Gruppe „unbehandelt“ nur nach optischen Gesichtspunkten erfolgt ist.

Tab. 13: Verteilung der in NRW 1993 an öffentlichen Entsorgungsanlagen angelieferten Holzmenge in „unbehandeltes“ und behandeltes Holz

Abfallfraktion	Gebraucht-/Restholzmenge (ohne verwertete Mengen) ¹⁾				
	Gesamt [kg/(E*a)]	"unbeh." ²⁾		beh./Möbel ³⁾	
		[kg/(E*a)]	Anteil	[kg/(E*a)]	Anteil
Hausmüll	3,3	0,7	20%	2,6	80%
Hmäh. Gewerbeabfall ⁴⁾	18,4	5,8	32%	12,6	68%
Baustellenabfall	11,1	2,7	24%	8,4	76%
Sperrmüll	20,3	2,5	12%	17,8	88%
Gesamt	53,1	11,7	22%	41,4	78%

¹⁾ unter Anwendung der begründeten Praxiswerte für die ländlich/städtische Verteilung

²⁾ „unbeh.“ = nach optischen Gesichtspunkten bestimmt

³⁾ beh./Möbel = behandeltes Holz/Möbel

⁴⁾ Hmäh. Gewerbeabfall = hausmüllähnlicher Gewerbeabfall

4.1.3.2 Mengenströme Gebraucht- und Restholzmenge in NRW (ohne verwertete Menge)

Die für 1993 ermittelte Gebraucht- und Restholzmenge wurde den Beseitigungswegen

- Deponie,
- Müllverbrennungsanlage (MVA) und
- sonstige Anlage (z. B. Sonderabfallbeseitigung, Sortieranlagen, etc.)

zugeordnet. Die Aufteilung erfolgt anhand der Angaben des LDS (1996) über die Entsorgungswege der Abfallgruppen in NRW.

In der folgenden Abbildung 7 werden die Entsorgungswege des Gebraucht- und Restholzes 1993 dargestellt. Dabei wurde die Annahme getroffen, daß die anfallenden Gebraucht- und Resthölzer in einer Fraktion (Hausmüll, hausmüllähnlicher Gewerbeabfall,

Baustellenabfall, Sperrmüll) genauso entsorgt werden (Anhang C 11), wie die jeweilige Gesamtfraktion.

Aus der Abbildung 7 wird deutlich, daß von der an öffentlichen Entsorgungsanlagen angelieferten Gebraucht- und Restholzmenge im Jahr 1993 48 % (entspricht 47 kg/(E*a)) deponiert, 40 % (entspricht 39 kg/(E*a)) an Verbrennungsanlagen und 12 % (entspricht 12 kg/(E*a)) an sonstigen Entsorgungsanlagen angeliefert wurden. Das bedeutet, daß in NRW 1993 eine Holzmenge von ca. 840 Tsd. t auf Deponien abgelagert und von ca. 700 Tsd. t in Verbrennungsanlagen entsorgt wurde, die eventuell, je nach Verunreinigung, einer Verwertung hätte zugeführt werden können.

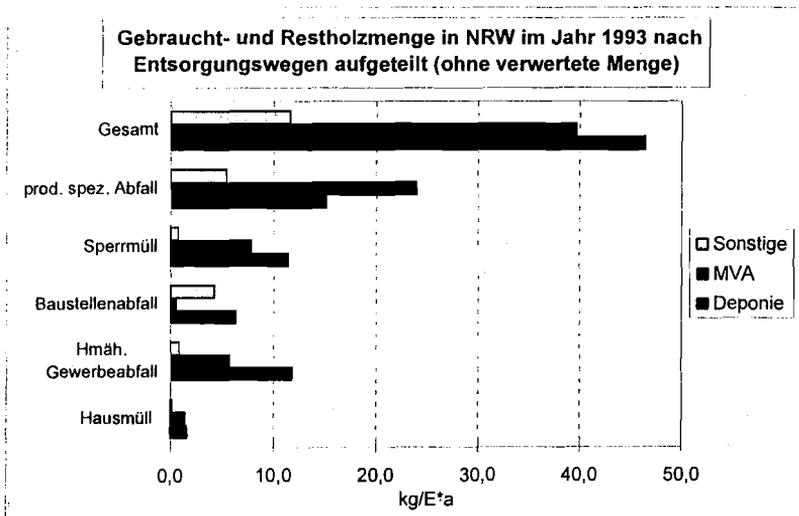


Abb. 7: Gebraucht- und Restholzmenge in NRW 1993 aufgeteilt nach Entsorgungswegen (ohne verwertete Mengen)

4.1.4 Verwertete Gebraucht- und Restholzmengen in NRW

Um die gesamte 1993 angefallene Gebraucht- und Restholzmenge darzustellen, muß auch die bereits verwertete Menge berücksichtigt werden. Dabei handelt es sich im wesentlichen um produktionsspezifische Holzabfälle, die nach den Statistiken (LDS, 1996/AAV, 1993) für 1993 eine verwertete Menge von 1,9 Mio. t (ca. 107 kg/(E*a)) ausmachen. Darin sind alle Verwertungsmöglichkeiten, auch im Ausland (Italien, Belgien) eingeschlossen.

Eine getrennte Erfassung von Gebrauchtholz in anderen Bereichen wurde in 1993 lediglich in sehr begrenztem Umfang durchgeführt und kann daher an dieser Stelle vernachlässigt werden.

4.1.5 Gebrauch- und Restholzpotential in NRW (1993)

Es ergibt sich für NRW eine Gebrauch- und Restholzpotential für das Jahr 1993 von 205 kg/(E*a) bzw. 3,6 Mio. t/a (Tab. 14). Das bedeutet bei einem Gesamtabfallaufkommen in NRW im Jahr 1993 von 68,7 Mio. t/a (LDS, 1996) einen Anteil von 5,2 %.

Tab. 14: Gebrauch- und Restholzpotential für NRW im Jahr 1993

	Gebraucht- und Restholzpotential im Jahr 1993	
	kg/(E*a)	Mio. t/a
an Entsorgungs- anlagen* angeliefert	98	1,7
verwertet	107	1,9
Gesamtmenge	205	3,6

* geringe nicht spezifisch zu definierende Gebrauch- und Restholzmenge wird verwertet

Für eine weitere Entwicklung der Gebrauch- und Restholzmenge in den betrachteten Abfallfraktionen sind Auswirkungen des KrW-/AbfG, der TA Siedlungsabfall und sonstiger geplanter gesetzlicher Neuregelungen auf die Menge und Zusammensetzung von Abfällen zu beobachten, da durch diese Maßnahmen langfristig erhebliche Veränderungen bei der Erfassung, Behandlung, Verwertung und Beseitigung von Abfällen eintreten werden (GALLENKEMPER et al., 1996).

4.2 Organisation der Gebraucht- und Restholzaufbereitung in NRW

4.2.1 Ziel und Ablauf der Firmenbefragung

Mit Hilfe eines ausgearbeiteten Fragebogens sollte der Stand der Gebrauchtholzaufbereitung im Jahr 1995 in Nordrhein-Westfalen ermittelt werden.

Der Fragebogen (s. Anhang D1) gliederte sich grob in vier Themenbereiche (Abb. 8).

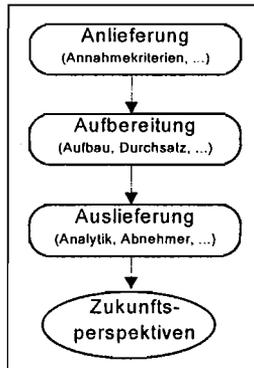


Abb. 8: Grobgliederung des Fragebogens

Der erste Teil des Fragebogens befaßte sich mit Fragen zum angelieferten Gebrauchtholz. Es wurde nach den Herkunftsbereichen (z. B. Recyclinghöfe), den Annahmekriterien/-gruppen, nach den jeweils zugehörigen Mengen und Preisen für das Jahr 1995 und nach der Lagerung des angelieferten Holzes gefragt.

Der zweite Teil enthielt Fragen zum Aufbereitungsablauf. Die Betriebe wurden gebeten, Angaben über den Aufbau der Anlage, z. B. durch ein Anlagenschema, über die Kapazität der Anlage und über die Lagerung des Endproduktes zu machen.

Im dritten Abschnitt wurden die Aufbereiter nach den von ihnen gewählten Verwertungswegen und den Abnehmern für Ihre Produkte befragt. Dabei wurde auch erfragt, ob die Betreiber der Anlagen derzeit schon durch regelmäßig durchgeführte Analysen die Qualität ihrer Produkte überwachen.

Im letzten Teil des Fragebogens wurden die Aufbereiter aufgefordert, Meinungen zur derzeitigen und Ideen zur zukünftigen Gebrauchtholzaufbereitung sowie -verwertung zu äußern.

Für die Ermittlung des Standes der Gebraucht- und Restholzaufbereitung in NRW wurden 79 Betriebe, die weitgehend mit der Holzaufbereitung zu tun hatten, angeschrieben.

Die Adressen der Betriebe stammen im wesentlichen aus Mitgliederverzeichnissen des Bundesverbandes der Gebrauchtholzaufbereiter und -verwerter (BAV) und des Bundesverbandes Sekundärrohstoffe und Entsorgung e. V. (bvse).

4.2.2 Auswertung

4.2.2.1 Rücklauf

Von den 79 angeschriebenen Firmen haben alle, teilweise nach telefonischem Nachfragen, geantwortet. Es beschäftigten sich jedoch lediglich 15 (19 %, Abb. 9) gezielt mit der Gebraucht- und Restholzaufbereitung. Bei den restlichen angesprochenen Firmen handelte es sich um Betriebe, die zwar zum größten Teil im Gebrauchtholzbereich tätig waren, aber 1995 selbst kein Holz aufbereiteten. Darunter waren mit 48 % Containerdienste die größte Gruppe. 11 % der angeschriebenen Betriebe stammten aus dem Bereich der Papierbranche (Herstellung, Rohstoffhandel; auch Altpapier). Dem Palettenhandel waren 3 % sowie dem Bereich „Sonstige“ (z. B. Kunststoffrecycling) 5 % zuzuordnen. Insgesamt 14 % der Antworten enthielten keine konkreten Angaben über die eigentliche Firmentätigkeit.

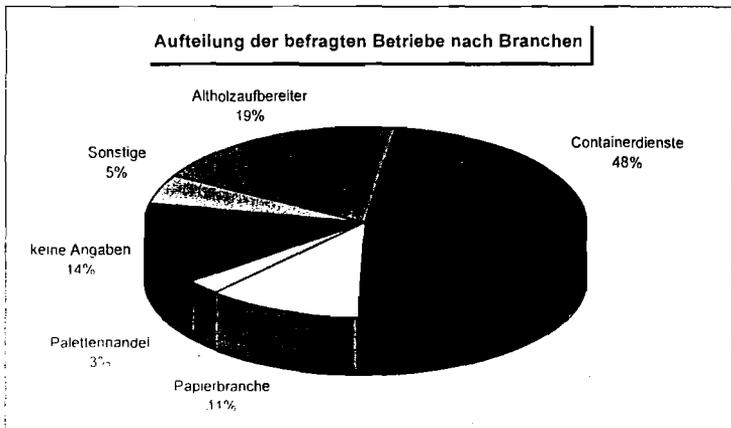


Abb. 9: Aufteilung der befragten Betriebe nach Branchen

Sieben von den 15 angeschriebenen Gebrauchtholzaufbereitern (47 %) waren bereit, Auskünfte über ihren Betrieb zu geben (Anhang D2). Danach hatten fünf Betriebe ihren Tätigkeitsschwerpunkt im Bereich der Aufbereitung von Gebrauchtholz- und Resthölzern zu Hackschnitzeln. Zwei Betriebe beschäftigten sich mit der Herstellung und Reparatur von Verpackungen (z. B. Paletten, Kisten) durch Einsatz von Gebrauchtholz. In den beiden zuletzt genannten Betrieben wurde nur für den Verpackungsbau nicht brauchbares Holz aufbereitet (geschreddert).

Von den übrigen acht Betrieben kam auch nach mehrmaligem Rückfragen keine Antwort, als Grund wurde hierfür die gespannte und umkämpfte Situation auf dem wachsenden Gebrauchtholzmarkt angegeben.

Es konnte festgestellt werden, daß insbesondere zu den Fragen über die aufbereiteten Mengen sowie über Abnehmer und erzielte Erlöse eher zurückhaltend geantwortet wurde.

Im folgenden wird anhand der Antworten aus den Fragebögen versucht, einen Einblick in die Organisation, die Aufbereitungstechniken und Verfahrensabläufe der Gebrauchtholzaufbereitung in Nordrhein-Westfalen zu geben.

4.2.2.2 Anlieferung der Gebrauchthölzer

Anhand der Antworten in den Fragebögen zur Annahme des Gebrauchtholzes konnte festgestellt werden, daß die Betreiber von Holzaufbereitungsanlagen ihre Anlieferungen (1995) im wesentlichen in drei Gruppen unterteilen (Tab.15).

Tab. 15: Annahmegruppen und -preise der Gebrauchtholzaufbereiter (1995)

Annahmegruppe	darin enthaltene Gebrauchtholz- und Resthölzer	Annahmepreise [DM/t]
A ¹⁾	z. B. Paletten, Verpackungshölzer	15,- bis 95,-
B	z. B. Bau- und Abbruchhölzer, Bretter, Balken (behandelt)	40,- bis 120,-
C ²⁾	z. B. Spanplatten, Fenster, Obstkisten	110,- bis 180,-

¹⁾ bei zwei von sieben Betrieben wurden brauchbare Hölzer zum Bau von Paletten und Transportkisten eingesetzt

²⁾ bei zwei von sieben Betrieben in der Gruppe B mit enthalten

Die Anlieferungen in der Gruppe A und gegebenenfalls ein Teil aus Gruppe B wurden in der Regel für den stofflichen Verwertungsweg (vor allem für den Einsatz in der Holzwerkstoffindustrie) aufbereitet. Die restlichen Hölzer der Gruppe B und die der

Gruppe C wurden nach der Aufbereitung dem energetischen Verwertungsweg (vor allem Feuerungsanlagen nach der 4 BlmschV 1.2 und 1.3) zugeführt.

Dementsprechend gestaffelt waren die Annahmepreise (von 15,- bis 180,- DM/t (Tab. 15)) für die verschiedenen Holzgruppen. Die Preise richteten sich nach den Absatzmöglichkeiten der Outputspäne. Für die Holzgruppen, aus denen Recyclingspäne für den stofflichen Verwertungsweg produziert werden konnten, wurden wesentliche niedrigere Annahmepreise angeboten als für diejenigen, aus denen Material für den energetischen Verwertungsweg hergestellt werden konnte. Die Holzsortimente, aus denen Material für die verschiedenen Verwertungswege erstellt wurde, waren jedoch je nach Aufbereiter unterschiedlich zusammengestellt.

Die Tabelle 16 zeigt eine Zusammenstellung der Gebrauchtholzanlieferungen bei den Aufbereitern nach Anfallstellen. Das an den Aufbereitungsanlagen angelieferte Gebrauchtholz und Restholz stammte überwiegend von Recyclinghöfen und aus Sperrmüllsammlungen.

Tab. 16: Aufteilung der Gebrauchtholzanlieferungen nach Anfallstellen

Anlieferungen von	Anteil der Anlieferungen [%]
Recyclinghöfen	35 - 98
Sperrmüllsammlungen	25 - 45
Möbelherstellern	10 - 20
Baustellen	ca. 10
„sonstigen“ Firmen	ca. 5
Privatpersonen	1 - 5

4.2.2.3 Aufbereitung

Bei der Gebrauchtholzaufbereitung wird das angelieferte Holz häufig nach einer Sichtung und Zuordnung zu Annahmegruppen direkt in den Aufbereitungsprozess gegeben und die hergestellten Recyclingspäne nach kurzer Zwischenlagerung in Containern an die Abnehmer geliefert.

Im folgenden werden die Holzaufbereitungsanlagen kurz dargestellt:

• Aufbau der Holzaufbereitungsanlagen

Die Aufbereitung von Gebrauchthölzern zu Recyclingspänen erfolgt in mehreren Schritten. In Abbildung 10 ist ein Schema einer Holzaufbereitungsanlage, wie sie häufig vorzufinden ist, dargestellt.

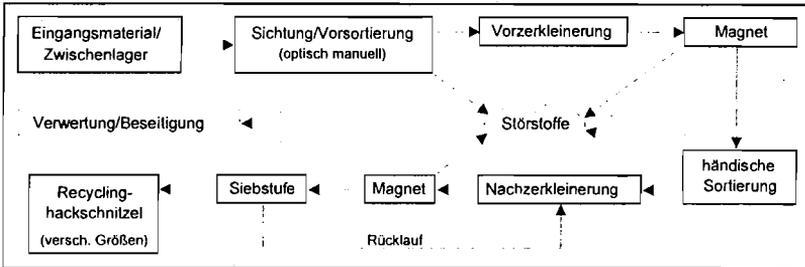


Abb. 10: Allgemeines Ablaufschema einer Holzaufbereitungsanlage

Die angelieferten Gebrauchthölzer werden in der Regel, bevor sie in die Aufbereitungsanlage gelangen, gesichtet und einer Annahmegruppe (A, B oder C) zugeordnet. Die Sichtung erfolgt in der Regel optisch-manuell. Dabei werden einerseits großflächige Störstoffe, wie z. B. Folien, Papier, und andererseits Holz, das eindeutig einer anderen Kategorie zugeordnet werden kann, wie z. B. Paletten im Mischholz der Gruppe B, aus der angelieferten Charge aussortiert.

Die zur Aufbereitung anstehenden Gebrauchthölzer werden mit Hilfe eines Polypgreifers oder eines Radladers in einen Vorzerkleinerer (z. B. langsamlaufenden Walzenbrecher) gegeben, der das Holz auf bis zu 500 mm zerkleinert. Nach Abtrennung der FE-Metalle, gelangen die vorzerkleinerten Hölzer zur händischen Sortierung. An dieser Stelle werden holzfremde Störstoffe, wie Folien, Glas, Papier oder Kunststoffe ausgesondert. Danach erfolgt eine Nachzerkleinerung (z. B. in einer Prallhammermühle), eine weitere Abtrennung von Metallteilen mit einem Überbandmagneten und gegebenenfalls eine Siebung in zwei oder drei Fraktionen (Fein-, Mittel- und Grobfraktion).

Es existieren, neben diesen üblicherweise eingesetzten Verfahren, auch einzelne Anlagen, die eine weitergehende Separierung mit Hilfe von Windsichter und NE-Metallabscheider vornehmen.

Neben den Gebrauchtholzaufbereitern gab es zwei Betriebe, die den Schwerpunkt ihrer Tätigkeit in der Herstellung von Paletten und Verpackungen aus Gebrauchthölzern haben.

In einem dieser Betriebe wurden 1995 nur Altpaletten und in dem anderen zusätzlich Bau- und Abbruchhölzer sowie Spanplatten angenommen. In beiden Fällen erfolgte nach einer gründlichen Sichtung und Sortierung eine Zerkleinerung des nicht für den Verpackungsbau geeigneten Holzes (Abb. 11).

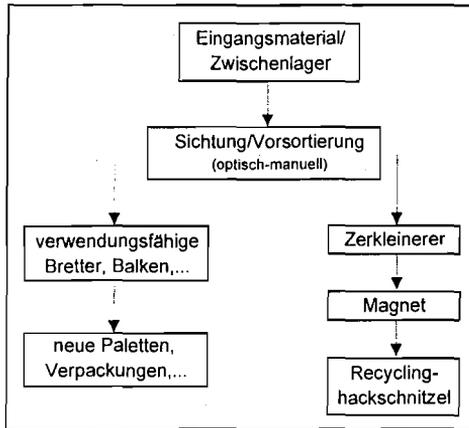


Abb. 11: Ablaufschema für die Herstellung von Verpackungen und Paletten unter Einsatz von Gebraucht- und Restholz

• Kenndaten zu den Aufbereitungsanlagen

Die in die Auswertung einbezogenen sieben Aufbereitungsanlagen wurden erst in den letzten Jahren (ab 1992) in Betrieb genommen.

Die wesentlichen Angaben in bezug auf Durchsatzleistungen, Personalbedarf, etc. sind der folgenden Tabelle 17 zu entnehmen. Dabei wird unterschieden nach klassischen Holzaufbereitungsbetrieben und Betrieben, die hauptsächlich im Verpackungsbau tätig sind.

Tab. 17: Kenndaten zu den Holzaufbereitungsanlagen

Kenndaten der Anlagen	Holzaufbereitungsanlagen	„Verpackungsbau“ ¹⁾
Schichten pro Tag	2 bis 3 Schichten/Tag	1 bis 2 Schichten/Tag
Stundendurchsatz (Input)	8 bis 10 t/h	1 t/h
Jahresdurchsatz	30.000 bis 50.000 t/a	1.300 bis 5.000 t/a
Jahresbetriebsstunden	4.000 bis 5.000 h/a	1.300 bis 5.000 h/a
Personalbedarf ⇒ zur Bedienung der Anlage ⇒ Sortierpersonal	1 bis 3 Personen 2 bis 4 Personen ³⁾	½ bis 1 Person ²⁾ 1 bis 15 Person(en)
Größe der Recyclingspäne bzw. -hackschnitzel	variiert sehr stark; zwischen 1 und 3 Fraktionen ⁴⁾ (Beispiele): ⇒ eine Fraktion: 0 - 500 mm ⇒ zwei/drei Fraktionen: * Feinfraktion: 0 - 20 mm / 0 - 15 mm * Mittelfraktion: --- ⁵⁾ / 15 - 50 mm * Grobfraktion: 0 - 100 mm / 50 - 150 mm	
Störstoffanfall	- sehr unterschiedliche Mengen der einzelnen Störstoffe (z. B. Glas, Pappe/Papier, Bauschutt, Kunststoffe, Sand/Feinanteile); Gesamtanteil < 0,5 % des Durchsatzes - Metalle meistens an den Metallhandel weitergegeben	
zur Verfügung stehende Fläche der Aufbereitungsanlage	- zwischen 1.000 m ² bis 15.000 m ² (Aufteilung der Bereiche Lagerung und Aufbereitung bei der Auswertung nicht möglich); - Flächenangaben beziehen sich auf die Aufbereitungshalle mit -anlage (ca. 1.000 m ²) incl. Vorraum zur Gebrauchtholzablagerung zur unmittelbaren Aufbereitung sowie Fahrwege - Pufferflächen zur kurzfristigen Zwischenlagerung von Gebrauchtholz und Recyclinghackspänen ca. 6.000 bis 8.400 m ² ; teilweise Freilager, Halle, Silos, Container	

¹⁾ Herstellung von Paletten und Transportkisten aus Gebrauchthölzern, nicht brauchbare werden geschreddert

²⁾ Tätigkeit kann neben der Herstellung von neuen Verpackungen und Paletten durchgeführt werden

³⁾ entfallen bei vollautomatischen Anlagen

⁴⁾ abhängig von der Siebanlage

⁵⁾ entfällt bei zwei Fraktionsgrößen

4.2.2.4 Qualität und Vermarktung der Recyclinghackschnitzel

Von den sieben in die Auswertung einbezogenen Gebrauchtholzaufbereitern wurden in drei Betrieben regelmäßig Analysen auf Belastung bei ihren Endprodukten durchgeführt.

Die Parameter, die am häufigsten untersucht werden, sind Blei, Arsen, Cadmium, Chrom, Quecksilber, Chlor, Fluor, Pentachlorphenol und Lindan. Daneben werden z. B. noch Gehalte an Kupfer, Mangan, Tellur, adsorbierbare organische Halogene (AOX) und/oder der pH-Wert bestimmt. Einheitliche Prüfkriterien existieren derzeit nicht.

Recyclinghackschnitzel werden gezielt für die stoffliche oder energetische Verwertung hergestellt und in Stückgrößen bis zu 500 mm bei den Verwertern abgesetzt. Die Größen der Recyclinghackschnitzel richten sich sowohl nach dem Verwertungszweck als auch nach der vorhandenen Verwertungstechnik beim jeweiligen Abnehmer.

Die Abnehmer der für den stofflichen Verwertungsweg aufbereiteten Recyclinghackschnitzel stammten 1995 bei den befragten Aufbereitern fast ausschließlich aus der Holzwerkstoffindustrie. Der Erlös für die Hackschnitzel lag in dem Bereich zwischen 40,- und 85,- DM/t. Nur einer der befragten Aufbereiter gab eines seiner Produkte als Einstreu z. B. für Reitplätze ab (Erlös bis zu 15,- DM/t).

Hackschnitzel, die für den energetischen Verwertungsweg aufbereitet wurden, wurden 1995 von Betreibern von Feuerungsanlagen nach der 1. BImSchV (Möbelindustrie), nach der 4. BImSchV (Möbel-, Spanplattenindustrie) und nach der 17. BImSchV abgenommen. Kosten für diesen Bereich wurden nicht genannt.

Es wurde jeweils darauf hingewiesen, daß der aktuelle Absatzmarkt für Recyclingholzhackschnitzel die Verwertungswege bestimmt. Aus den Angaben der Holzaufbereiter war nicht zu erkennen, welche Art der Verwertung den Vorrang hatte. Die Recyclingprodukte von einigen Aufbereitern wurden zu 90 % stofflich und zu 10 % energetisch verwertet. Bei anderen Aufbereitern war dieses Verhältnis genau umgekehrt.

4.2.2.5 Zukunftsperspektiven aus Sicht der Holzaufbereiter

Die zukünftigen Situation der Gebrauchtholz- und Restholzverwertung wurden von den Aufbereitern wie folgt eingeschätzt und beurteilt:

- Nutzung von unbelastetem Holz aus der Forstwirtschaft für stoffliche Verwertung;

- energetische Verwertung wird positiv beurteilt (Ersatz von Primärbrennstoffen), Kapazitäten jedoch begrenzt;
- neue Möglichkeiten für den Einsatz von Recyclinghackschnitzeln erschließen (z. B. Einsatz als Dämmstoff im Baubereich);
- analytische Schnellerkennung für gezielte Aussortierung belasteter Chargen erforderlich.

4.2.3 Zusammenfassung

Derzeit werden bei den Holzaufbereitern in NRW verschiedene Holzsortimente zu unterschiedlichen Preisen angenommen. Die Auswahl der Sortimentszusammensetzung erfolgt häufig aufgrund subjektiver Einschätzungen über mögliche Belastungen aus Verunreinigungen im Holz und ist darauf gerichtet, verschiedene Verwertungswege, für die es z. Z. keine Qualitätsanforderungen an das Gebraucht- und Restholz gibt, einzuschlagen. Es bestehen selbst in der Holzwerkstoffindustrie unterschiedliche Annahmebedingungen für Recyclingholz.

Verpackungs- sowie Bau- und Abbruchhölzer wurden für die stoffliche Verwertung und Spanplatten sowie sonstige behandelte Hölzer für den thermischen Verwertungsweg aufbereitet. Da beim Absatz von Recyclingholz in der Holzwerkstoffindustrie häufig Erlöse erzielt werden und bei der energetischen Verwertung Kosten für den Aufbereiter entstehen, sind die Annahmepreise für die jeweiligen Holzsortimente entsprechend gestaltet.

Da häufig belastetes Gebrauchtholz optisch nicht erkannt werden kann und derzeit die Belastung von Recyclingholz und damit verbunden der Eintrag von Verunreinigungen in Produkte (Spanplatte) in der Diskussion stehen, benötigen die Holzaufbereiter Regelungen, um eine geordnete Aufbereitung und Verwertung von Gebraucht- und Restholz durchführen zu können.

5 Derzeitige Vorschläge für Anforderungen an Rest- und Gebrauchtholz zur Verwertung

Die Gebraucht- und Restholzverwertung bekommt dadurch, daß immer mehr Abfallholz getrennt gesammelt wird, eine immer größere Bedeutung. Derzeit wird über den Absatz des Holzes für die stoffliche oder energetische Verwertung häufig nur nach Markt- und Kostengesichtspunkten entschieden. Es gibt keine festgelegten Qualitätskriterien für Recyclingholz für die verschiedenen Verwertungsarten.

Da Gebraucht- und Restholz je nach Anfallstelle, Alter und Einsatzort mit sehr unterschiedlich hohen Verunreinigungsgraden vorliegen kann, ist es unbedingt notwendig, Regelungen für den Einsatz von Recyclinghölzern zu treffen, um diffuse Verschleppungen von Verunreinigungen zu vermeiden. Erste richtungsweisende Grenzwertfestlegungen werden derzeit von der Span- und Faserplattenindustrie und vom Landesumweltamt NRW vorgeschlagen.

5.1 Anforderungen an Recyclinghackschnitzel für die stoffliche Verwertung

5.1.1 Anforderungen in der Holzwerkstoffindustrie

Neben den Anforderungen an die Struktur der Recyclingholzspäne ist beim Einsatz von Recyclingholz in der Holzwerkstoffindustrie auch der mögliche Eintrag von Verunreinigungen in das Produkt (BOCKELMANN, 1996) zu beachten. Zur Zeit gibt es jedoch keine verbindlichen Regelungen, die den Eintrag von Verunreinigungen in Holzwerkstoffprodukte beschränken.

Damit die Qualität der Spanplatten trotz des eingesetzten Gebrauchtholzes und den dadurch möglichen Einträgen von Verunreinigungen gewahrt bleibt, stellen die Hersteller von Holzwerkstoffen an Fremdspäne bestimmte Anforderungen. Diese sind von Werk zu Werk verschieden und richten sich teilweise nach den betrieblichen Produktionsnormen. Die folgende Tabelle 18 stellt eine Auswahl solcher Anforderungen dar.

Tab. 18: Annahme- und Ausschlusskriterien für den Einsatz von Recyclingholz in der Holzwerkstoffindustrie (Auswahl) (MARUTZKY, 1996)

Annahmekriterium	Ausschlusskriterium
Holzsortiment¹⁾ – Massivholz aus Abbrüchen – Verpackungsholz – Einwegkisten und -paletten – Holzwerkstoffe	– Holz vermischt oder behaftet mit Kunststoff, Papier, Pappe, Folien oder PVC – unsauberes Bauholz – stark verschmutzte Obstkisten – mit Holzschutzmitteln behandelte Hölzer
Holzart und -qualität – vorwiegend Nadelhölzer – Laubholzanteil nach Vereinbarung	– Holzfäule, Schimmelbefall und Verstokkung
Aufbereitungsbetrieb – Nachweis der Qualitätssicherung – Zertifizierung nach ISO 9000 ff.	
sonstige Anforderungen – Unbedenklichkeitsbescheinigung – Deklarationsanalysen	

¹⁾ Alle Holzsortimente müssen den Bestimmungen der ChemVerbotVO und der GefStoffVO entsprechen.

Da es für die Qualität der Fremdspäne in bezug auf die Verunreinigungen derzeit noch keine verbindlichen Richtlinien gibt, richten sich Unternehmen derzeit noch nach einer von einem Spanplattenhersteller, anhand von vergleichbaren Werten aus anderen Rechtsnormen (Spielzeugnorm), erarbeiteten Liste (Anhang A 6). Die Grenzen der Verunreinigung für die stoffliche Verwertung, die von dem Verwerter gefordert werden, liegen auf einem sehr hohen Niveau. So beträgt in dieser Liste z. B. der Wert für Cadmium 75 mg/kg, zum Vergleich liegt der Wert in der Klärschlammverordnung bei 10 mg/kg (für Klärschlamm).

In der folgenden Tabelle 19 ist eine neuere Zusammenstellung von Leitwerten ausgewählter Elemente und Verbindungen dargestellt, die von der Span- und Faserplattenindustrie für die stoffliche Verwertung von Gebrauchtholz vorgeschlagen wurden.

Tab. 19: Leitwerte ausgewählter Elemente für die stoffliche Verwertung von Gebrauchtholz in der Holzwerkstoffindustrie (MARUTZKY, 1996)

Element/Verbindung	Höchstwert (mg/kg TS)	
Blei	a) 50	b) 30
Chrom	a) 50	b) 30
PCP	a) 5	b) 3
Teeröl	nach Geruch und Färbung ¹⁾	

a) Probenahme aus der Oberfläche

b) Probenahme aus zerkleinertem Material (Mischprobe)

¹⁾ Nachweis nur bei konkretem Verdacht

Je nach Art der Probenahme sind alternativ verschiedene Höchstwerte vorgeschlagen worden. Nach MARUTZKY liegen die Werte dieses Vorschlages für die Parameter Blei, Chrom, PCP und Teeröl im Vergleich zu anderen Normen und Verordnungen (z. B. DIN EN 71, Klärschlammverordnung) auf einem akzeptablen Niveau (MARUTZKY, 1996).

Derzeit werden vom Landesumweltamt NRW noch detailliertere Richtwerte für den Einsatz von Recyclingholz in der Holzwerkstoffindustrie ausgearbeitet. Dabei geht die Tendenz der Grenzwertfestlegung dahin, daß für eine stoffliche Verwertung nur Holz eingesetzt werden sollte, welches die prinzipiell die Belastungen von naturbelassenem Holz (Kap. 5.2; Gruppe 1) einhält (WINKLER, 1996b). Diese Werte liegen noch wesentlich unter denen der Span- und Faserplattenindustrie und sind wesentlich umfassender.

5.1.2 Anforderungen bei der Kompostierung von Klärschlamm mit Recyclingholz als Strukturmaterial

Für den Einsatz von Recyclingholz als Strukturmaterial bei der Kompostierung existieren keine Anforderungen bzw. Richtwerte. Die Bewertung der Qualität von Klärschlammkomposten erfolgt auf der Grundlage der in der Klärschlammverordnung vorgegebenen Grenzwerten. Diese beziehen sich auf die Gehalte im Feststoff.

Klärschlammverordnung (AbfKlärV)

Die Klärschlammverordnung beinhaltet Maßgaben für die Bewertung von Klärschlamm und Klärschlammkomposten und gibt Grenzwerte für landwirtschaftlich und gärtnerisch

genutzte Böden vor, bei denen eine Aufbringung dieser Materialien noch zulässig ist. In der folgenden Tabelle sind die Grenzwerte für den vorhandenen Boden sowie für den Klärschlamm und Klärschlammkompost dargestellt.

Tab. 20: Grenzwerte der Klärschlammverordnung für Boden, Klärschlamm und Klärschlammkompost

Parameter	Einheit	Boden	Klärschlamm	Klärschlammkompost
Blei	mg/kg	100	900	450
Cadmium	mg/kg	1,5 (1)*	10 (5)*	5 (2,5)*
Chrom _{Ges.}	mg/kg	100	900	450
Kupfer	mg/kg	60	800	400
Nickel	mg/kg	50	200	100
Quecksilber	mg/kg	1	8	4
Zink	mg/kg	200 (150)*	2500 (2000)*	1250 (1000)*
PCB	mg/kg	-	0,2	0,1
PCDD/PCDF	ng TE/kg	-	100	50
AOX	mg/kg	-	500	500

* gilt für leichte Böden, pH 5-6

5.2 Anforderungen an den Grad der Verunreinigung in Recycling-hackschnitzeln für verschiedene energetische Verwertungswege

Um eine weitgehend emissionsarme Verbrennung des relativ inhomogenen Holzsortimentes zu gewährleisten, sieht das Immissionsschutzrecht entsprechend den enthaltenen Verunreinigungspotentialen eine Einteilung in unterschiedliche Brennstoffgruppen vor. Es ergibt sich demnach eine Gruppeneinteilung der Hölzer in vier Gruppen (vgl. Kap. 3.3.3). Zur besseren Übersicht ist diese Gruppeneinteilung nochmals nachfolgend in Tab. 21 dargestellt.

Da eine optische Zuordnung der Rest- und Gebrauchthölzer in die vier Gruppen nur bedingt möglich ist, wurden zur Konkretisierung der Gruppeneinteilung Richtwerte anhand charakteristischer Parameter vom Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen in Zusammenarbeit mit dem Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI) erarbeitet.

Bei der Festlegung wurde berücksichtigt, daß auch naturbelassenes Holz in geringe Verunreinigungen aufweist, wie sie in Klebstoffen, Beschichtungsmaterialien und Holzschutzmitteln zu finden sind. Aufgrund von ubiquitären Belastungen ist es möglich, daß selbst PCP und Lindan in reinem Holz vorhanden ist (HOFFMANN, 1996).

Tab. 21: Gruppeneinteilung der Gebraucht- und Resthölzer (HOFFMANN; 1996)

Gruppe	Einteilungskriterien
1	naturbelassenes Holz (Feuerungsanlagen: < 1 MW nach 1. BImSchV)
2	gestrichenes, lackiertes oder beschichtetes Holz oder Holzwerkstoffe (Sperrholz, Spanplatten, Faserplatten, verleimtes Holz) sowie daraus anfallende Reste ohne Holzschutzmittel und ohne halogenorganische Beschichtung (Feuerungsanlagen: 50 kW - 1 MW nach 1. BImSchV; ab 1 MW nach 4. BImSchV Nr. 1.2)
3	Holz oder Holzwerkstoffe sowie daraus anfallende Reste, die mit halogenorganischen Kunststoffen (z. B. PVC) beschichtet sind jedoch ohne Holzschutzmittel (Feuerungsanlagen: ab 100 kW nach 4. BImSchV Nr. 1.3)
4	Holz oder Holzwerkstoffe sowie daraus anfallende Reste, die Holzschutzmittel enthalten (Feuerungsanlagen: ab 100 kW nach 4. BImSchV Nr. 1.3 und 17. BImSchV)

Für Holz der Gruppe 2 wurden Maximalwerte unter Berücksichtigung diffuser Verunreinigungseinträge aus Anstrichstoffen, Pigmenten, Beschichtungsmitteln und Klebstoffen festgelegt.

Da hier beschichtetes (ohne PVC) und lackiertes Holz verbrannt werden darf, sind in dieser Gruppe jedoch nur noch Richtwerte festgeschrieben, die bei Überschreitung auf eine Holzschutzmittelbehandlung bzw. PVC-Beschichtung hinweisen würden. Der Chromgehalt wurde jedoch nicht begrenzt, da Chrom aus verschiedenen Quellen stammen kann (Farben, Trägermaterial von anorganischen Holzschutzmitteln).

Es wurde bei der Festlegung der Richtwerte davon ausgegangen, daß bei einer Überschreitung des Chlorgehaltes von 300 mg/kg von einer halogenorganischen Beschichtung (PVC-Belastung) des Holzes auszugehen (Gruppe 3) ist. Gebraucht- und Restholz, das einen Chlorgehalt größer 300 mg/kg aufweist und bei den restlichen Parametern die Richtwerte der Gruppe 2 einhält, kann nur in Anlagen nach der 4. BImSchV Nr. 1.3 verbrannt werden.

Sind die restlichen Richtwerte für die Gruppe 2 ebenfalls überschritten, kann von einer Holzschutzmittelbehandlung ausgegangen werden. Derart belastetes Holz kann nur in Anlagen, die nach 4. BImSchV Nr. 1.3 genehmigt sind und zusätzlich die Anforderungen der 17. BImSchV erfüllen, entsorgt werden (Gruppe 4)

Die Tabelle 22 zeigt eine detaillierte Darstellung der Zuordnungskriterien für die Gruppen eins bis vier (WINKLER, 1996).

Tab. 22: Zuordnungskriterien für Holz zu den verschiedenen Feuerungsanlagen-typen (nach WINKLER, 1996)

		Die Werte gelten für eine Mischprobe aus mindestens 5 Einzelproben oder einem Mittelwert von mindestens 5 Einzelbestimmungen (in Anlehnung an TA Abfall Anhang B)			
In Feuerungsanlagen nach		Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4
Elemente		(< 1 MW nach 1. BImSchV)	(50 kW - 1 MW nach 1. BImSchV, ab 1 MW nach 4. BImSchV Nr. 1.2)	(ab 100 kW nach 4. BImSchV Nr. 1.3)	(ab 100 kW nach 4. BImSchV i. V. m. 17. BImSchV)
Einheit		Maximalwerte für naturbelassenes Holz	Maximalwerte für Holz, Holzwerkstoffe: lackiert, beschichtet, ohne PVC und ohne Holzschutzmittel (5)	Maximalwerte für Holz, Holzwerkstoffe: lackiert, beschichtet, mit PVC und ohne Holzschutzmittel	Maximalwerte für Holz, Holzwerkstoffe: lackiert, beschichtet, mit PVC und mit Holzschutzmittel
Arsen	mg/kg	0,8	2	2	-
Bor	mg/kg	15	30	30	-
Cadmium	mg/kg	0,5	-	-	-
Chrom	mg/kg	2	-	-	-
Kupfer	mg/kg	5	20	20	-
Eisen (1)	mg/kg	100	-	-	-
Quecksilber	mg/kg	0,05	0,4	0,4	-
Blei	mg/kg	3	-	-	-
Titan	mg/kg	5	-	-	-
Zink	mg/kg	50	-	-	-
Chlor	mg/kg	100	300	-	-
Fluor	mg/kg	10	30	30	-
Stickstoff (1)	Gew. %	0,5 (3)	-	-	-
Polychlorphenol	mg/kg	1 (4)	2 (6)	2 (6)	-
Lindan	mg/kg	0,25 (4)	0,5 (6)	0,5 (6)	-
Teeröle (2)	mg/kg	0,05 (Benzo(a)pyren) (4)	0,1 (Benzo(a)pyren) (6)	0,1 (Benzo(a)pyren) (6)	-
(1)	Analyse nur bei feinem Material (Holzstaub, feine Holzspäne) zur Feststellung einer Schadstoffbelastung				
(2)	Analyse nur bei konkretem Verdacht, z. B. aufgrund optischer Kontrolle oder Geruch				
(3)	bei Anwesenheit von Resin höhere Werte bis 1,0 Gew. % möglich				
(4)	in reinem Holz mögliche Verunreinigungen aufgrund ubiquitärer Belastung				
(5)	unter Berücksichtigung diffuser Einträge und von Spurenstoffgehalten in Anstrichstoffen, Pigmenten Beschichtungsmitteln und Klebstoffen				
(6)	derzeit mögliche ubiquitäre Verunreinigungen in Holzresten aus der Be- und Verarbeitung sowie aus der Anwendung				
-	keine Begrenzung				

Ab der Gruppe 1 oder 2 sind einige Parameter, z. B. Schwermetalle, nicht mehr begrenzt. Hier muß jedoch beachtet werden, daß die entsprechenden Emissionsgrenzwerte aus der TA-Luft und der BImSchV von den Feuerungsanlagen eingehalten werden müssen, so daß nur geeigneter Brennstoff in die Feuerung gegeben werden darf bzw. eine entsprechende Rauchgasreinigung vorhanden sein muß.

6 Ergebnisse aus der Bestimmung von Verunreinigungen in Recyclinghackschnitzeln und Beurteilung der Verwertungsmöglichkeiten

6.1 Ablauf der Untersuchung

Zur Bestimmung des Grads der Verunreinigungen in Recyclinghackschnitzeln wurden in drei Holzaufbereitungsanlagen (Anlagen: A - C: Aufbau im Anhang E 1) fünf detaillierte Untersuchungen durchgeführt. In Abhängigkeit von der angelieferten Gebrauchtholzqualität wurde von den Aufbereitern der Verwertungsweg:

- Aufbereitung für den stofflichen Verwertungsweg (Holzwerkstoffindustrie)
 - Aufbereitung für den energetischen Verwertungsweg (4. BImSchV 1.2 bzw. 1.3)
- für die produzierten Recyclinholz hackschnitzel festgelegt.

In den Anlagen A und B wurden beide Verwertungswegen betrachtet. Bei der Anlage C konnte aus betriebsinternen Gründen lediglich Material beprobt werden, das für den energetischen Verwertungsweg aufbereitet wurde.

Der schematische Ablauf der Untersuchung in den drei Anlagen ist in der nachstehenden Abbildung 12 dargestellt.

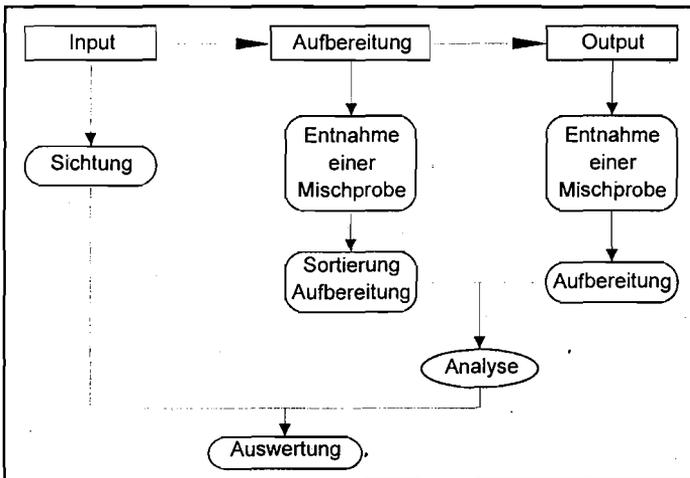


Abb. 12: Ablauf der Untersuchung zur Bestimmung des Grads der Verunreinigungen in Gebrauch- und Resthölzern in Aufbereitungsanlagen

Die Untersuchung in den Holzaufbereitungsanlagen erstreckte sich jeweils über einen Zeitraum von acht Stunden (entspricht jeweils einer Werkschicht). Vor Ort erfolgte eine

Sichtung der Holzanlieferungen, die am Tag der Untersuchung aufbereitet werden sollten und parallel eine Mischprobenentnahme des Anlageninputs sowie des -outputs (Produkte). Der Anlageninput wurde in festgelegte Stoffgruppen (Tab. 24) sortiert.

Nach der Sortierung erfolgte die Probeaufbereitung der einzelnen aussortierten Stoffgruppen und des Outputs, dabei wurden Tagesmischproben erstellt.

Die chemischen Analysen wurden auf die vom LUA vorgeschlagenen Parameter durch ein unabhängiges Labor durchgeführt.

Eine detaillierte Beschreibung der Vorgehensweise während der Untersuchungen ist im Anhang E 2 - E 8 dargestellt. Der Anhang F enthält eine Fotodokumentation des gesamten Vorgehens.

Im folgenden werden die erzielten Ergebnisse der durchgeführten Sichtung, Sortierung und chemischen Analyse dargestellt.

6.2 Ergebnisse der Sichtung und Sortierung

6.2.1 Sichtung

Bei der Sichtung von Holzanlieferungen bei Gebrauchtholzaufbereitern konnte festgestellt werden, daß generell eine Sichtung in die Stoffgruppen „Vollholz“, „Holzwerkstoff“ und „Sonstige“ möglich ist, wenn das Material unzerkleinert angeliefert wird.

In der folgenden Tabelle 23 sind die Ergebnisse der Sichtungen während der fünf Durchgänge in den einzelnen Holzaufbereitungsanlagen nach Herkunftsbereichen zusammengefaßt.

Tab. 23: Sichtungsergebnisse der Anlieferungen an den Holzaufbereitungsanlagen nach Herkunftsbereichen (fünf Durchgänge)

Herkunftsbereich	Vollholz	Holzwerk- stoffe	Sonstige/ Störstoffe
	[Vol.-%]	[Vol.-%]	[Vol.-%]
Sperrmüll	10 - 70	25 - 90	0 - 5
Baustellenabfall ¹⁾	75 - 100	0 - 10	0 - 20
Möbelindustrie	0 - 90	10 - 100	0
Recyclinghof	15 - 90	10 - 70	0 - 15
sonstige ²⁾	90 - 100	0 - 5	0 - 5

¹⁾ überwiegend Abbruch

²⁾ sonstige Anlieferungen von Verpackungsabfall (Paletten, etc.)

In der Tabelle 23 ist zu erkennen, daß nur der Baustellenabfall und die „sonstigen Herkunftsbereiche“ deutliche Tendenzen in ihrer Holzzusammensetzung zeigten. Sie bestanden zum größten Teil aus Vollhölzern, wobei vor allem bei den Baustellenabfällen behandelte Vollhölzer (10 - 20 Vol.-% lackiert, 5 - 30 Vol.-% imprägniert) enthalten waren (vgl. Anhang E 3).

Die Anteile der verschiedenen Stoffgruppen schwankten in den Anlieferungen aus den Bereichen Sperrmüll und von Recyclinghöfen deutlich. Im Gegensatz dazu wurden von der Möbelindustrie häufig Monochargen angeliefert.

Der Störstoffanteil (z. B. Metalle, Folien) lag bei den Anlieferungen durchschnittlich zwischen 0 und 20 Vol.-%.

6.2.2 Sortierung

Die Sortierung des Anlageninputs erfolgte in 14 Stoffgruppen, wie sie in der folgenden Tabelle 24 dargestellt sind.

Tab. 24: Ausgewählte Stoffgruppen für die Sortierung des Holzaufbereitungsanlageninputs

Kurz- bez.	Stoffgruppe
V	Vollholz
V1	Vollholz "unbehandelt" ¹⁾
V1.1	darunter gesondert Obstkisten
V2	Vollholz lackiert (auch klare Lasuren)
V2.1	darunter gesondert Fenster/ Außentüren
V3	Vollholz imprägniert
V4	Vollholz teerölimprägniert
H	Holzwerkstoff (Hwst.)
H1	Hwst. „unbehandelt“ ¹⁾
H2	Hwst. lackiert
H3	Hwst - furnierbeschichtet
H4	Hwst - papierbeschichtet
H5	Hwst - kunststoffbeschichtet ohne PVC
H6	Hwst - kunststoffbeschichtet mit PVC
S	Sondergruppen/Siebdurchgänge
S1	Sonstige Hölzer (Faserplatten, ...)
S2	Feinanteil 10 < d < 40 mm
S3	Feinanteil d < 10 mm
S4	Störstoffe (leicht abtrennbare Nicht- Holzbestandteile)

¹⁾ nach optischen Gesichtspunkten bestimmt

Die Stoffgruppen wurden aufgrund der in den Anlieferungen vorkommenden verschiedenen Holzfraktionen, der in den Anlagen praktizierten Aussortierungen in die einzelnen Holzfraktionen und aufgrund von Literaturrecherchen bestimmt.

Die beiden Feianteile (S2, S3) stellen die Siebdurchgänge dar, die sich aus der Sortierung auf einem Sortiertisch ergeben haben. Eine detaillierte Beschreibung, welche Hölzer in den einzelnen Gruppen zu finden sind, ist im Anhang E2 zu finden.

In der Tabelle 25 ist eine Zusammenfassung der Ergebnisse aus den Sortierungen des Anlageninputs nach der ersten Zerkleinerungsstufe für die übergeordneten Stoffgruppen „Vollholz“, „Holzwerkstoff“ und „Sonstige“ aller fünf Durchgänge dargestellt.

Tab. 25: Zusammenfassung der Sortierergebnisse des Anlageninputs

Verwertungsweg	stofflich	energetisch
Stoffgruppe	[%]	[%]
Vollholz (Vlh.)	69	30
Holzwerkstoff (Hwst.)	11	38
Sondergruppe/ Siebdurchgänge	20	32

Anhand der Tabelle 25 ist zu erkennen, daß der Anlageninput bei der Aufbereitung für die zwei verschiedenen Verwertungswege deutlich anders zusammengesetzt ist. Während bei der Aufbereitung zur stofflichen Verwertung das Vollholz mit 69 % den größten Anteil ausmacht, sind die drei übergeordneten Stoffgruppen bei der Aufbereitung zur energetischen Verwertung gleich stark vertreten.

Die Zusammensetzung des Inputs ist jedoch anlagenspezifisch sehr unterschiedlich (Tab. 26).

Tab. 26: Anlagenspezifische Zusammensetzung des Holzinputs differenziert nach Verwertungswegen

Kurzbz.	Anlage Verwertungsweg Stoffgruppe	A	B	A	B	C
		stofflich [Gew.-%]	stofflich [Gew.-%]	energetisch [Gew.-%]	energetisch [Gew.-%]	energetisch [Gew.-%]
V	Vollholz	62,4	75,7	31,2	36,3	23,8
V1	Vlh. "unbehandelt"	41,5	67,7	20,5	28,3	12,8
V2	Vlh. lackiert	17,8	4,4	9,8	6,1	7,0
V3	Vlh. imprägniert	2,4	3,6	0,8	1,3	4,0
V4	Vlh. teerölimprägniert	0,7	0,0	0,1	0,6	0,0
H	Holzwerkstoff	18,9	3,6	43,6	32,9	37,6
H1	Hwst. "unbehandelt" ⁽¹⁾	4,7	3,0	8,8	8,5	5,7
H2	Hwst. lackiert	3,4	0,0	5,5	1,8	1,0
H3	Hwst. - furnierbeschichtet	3,6	0,2	6,4	3,4	4,2
H4	Hwst. - papierbeschichtet	0,5	0,0	1,8	1,9	4,8
H5	Hwst. - kunststoffbesch. ohne PVC	6,6	0,4	19,3	16,1	6,7
H6	Hwst. - kunststoffbesch. mit PVC	0,1	0,0	1,8	1,2	15,2
S	Sondergruppen/Siebdurchgänge	18,7	20,7	25,2	30,8	38,6
S1	Sonstige Hölzer (Faserplatten, ...)	1,1	0,2	5,7	1,9	5,5
S2	Feinanteil 10<d<40	13,9	14,0	14,2	20,4	23,3
S3	Feinanteil d<10	2,7	6,3	4,1	7,3	8,7
S4	Störstoffe (nicht Holzbestandteile)	1,0	0,2	1,2	1,2	1,1

Bei der Aufbereitung mit dem Ziel der stofflichen Verwertung wurde bei den Anlagenbetreibern darauf geachtet, daß möglichst, soweit erkennbar, unbelastetes Material in die Anlage gelangte. In einem Betrieb wurde dafür gezielt Vollholz (z. B. Paletten, Bauhölzer) gesammelt und getrennt vom sonstigen Mischholz durch die Anlage gesetzt.

Der Vergleich der Zusammensetzung des in den Anlagen A und B für die stoffliche Verwertung angelieferten Gebrauchtholzes zeigt deutliche Unterschiede. Während der Input der Anlage A zu 62 % aus Vollhölzern und zu 19 % aus Holzwerkstoffen bestand waren es bei Anlage B 76 % Vollholz und nur 4 % Holzwerkstoffe. Der Anteil des unbehandelten Vollholzes war in der Anlage B deutlich höher als in der Anlage A.

Bei der Aufbereitung für den energetischen Verwertungsweg wurde bei der Beschickung der Holzaufbereitungsanlage vor allem darauf geachtet, daß kein teerölimprägniertes Holz mit in die Anlage gelangte. Abgesehen davon gab es keine weitergehende Sortierung. Es war somit bei allen Anlagen eine relativ gleichmäßige Verteilung auf die drei übergeordneten Stoffgruppen vorhanden. Bei der Anlage C fiel auf, daß ein größerer Anteil an PVC-beschichteten Holzwerkstoffen verarbeitet wurde. Dies ist

im wesentlichen mit Anlieferungen von Monochargen aus der Möbel- vor allem Küchenindustrie zu begründen. Bei der Aufbereitung zur energetischen Verwertung war der Anteil der Gruppe „Sondergruppen/Siebdurchgänge“ mit 25 bis 39 Gew.-% im Vergleich zur Aufbereitung für die stoffliche Verwertung (≈ 20 Gew.-%) höher. Die Gruppe besteht im wesentlichen aus den bei der Zerkhackung in feinere Bestandteile zerfallenden Holzwerkstoffen (insbesondere Spanplatten).

Zusammenfassend kann aufgrund der Sichtung festgestellt werden, daß bei den Gebrauchtholzaufbereitern Holz aus den unterschiedlichsten Bereichen mit einer ständig variierenden Zusammensetzung angeliefert wurde.

Bei der Sortierung konnten deutliche Unterschiede in der Zusammensetzung des Inputmaterials für die verschiedenen Verwertungswege festgestellt werden. Für die stoffliche Verwertung wurden zum größten Teil nach optischen Kriterien als „unbehandelt“ erkennbare Vollhölzer aufbereitet. Bei der Aufbereitung für die energetische Verwertung waren alle Stoffgruppen zu etwa gleichen Anteilen vertreten.

Anhand des Inputs für die stoffliche Verwertung war die unterschiedliche Vorgehensweise der Anlagenbetreiber bei der Auswahl des Materials für diese Verwertung zu erkennen.

6.3 Ergebnisse der chemischen Analysen

6.3.1 Allgemeines

Bei der vorliegenden Untersuchung wurden aus den Tagesmischproben des Outputs der drei Holzaufbereitungsanlagen drei Parallelproben gebildet. Die aufbereiteten Outputproben und die Proben aus den jeweils sortierten Stoffgruppen aus der Aufbereitung wurden auf die vom LUA NRW vorgeschlagenen Parameter (Kap. 5) analysiert.

Die Auswertung der Ergebnisse erfolgt sowohl anlagenspezifisch, als auch getrennt nach den Siebfractionen und den Verwertungswegen der Recyclinghackschnitzeln.

Da es derzeit keine rechtlichen Anforderungen an die Belastung durch Verunreinigungen von Recyclingholz für die Verwertung gibt, werden die Untersuchungsergebnisse des Output für die stoffliche Verwertung den vorgeschlagenen Leitwerten der Span- und Faserplattenindustrie (Kap. 5.1) und zum Vergleich den Richtwerten des LUA für die Gruppe 1 (naturbelassenes Holz, Kap. 5.2) gegenübergestellt, da nach

Aussagen des Landesumweltamtes NRW prinzipiell nur naturbelassenes Holz stofflich verwertet werden sollte.

Die Analysenergebnisse des Outputs, der für die energetische Verwertung aufbereitet wurde, werden mit den Richtwerten des LUA für die Gruppen 1 bis 4 verglichen.

Die in jedem Untersuchungsgang aussortierten 14 Stoffgruppen (z. B. Vollholz „unbehandelt“, Vollholz lackiert, Holzwerkstoff beschichtet ohne, mit PVC, etc.) des Inputs werden zur Bestimmung einer durchschnittlichen Belastung je Stoffgruppe zusammengefaßt ausgewertet, um damit zu zeigen, aus welchen Stoffgruppen die jeweils auffälligen Belastungen stammen.

Um die Diskussion der Untersuchungsergebnisse und die daraus abzuleitenden Konsequenzen zu vereinfachen, werden Belastungsgruppen gebildet. Es wird dabei unterschieden in typische Belastungen aus:

- anorganischen Holzschutzmitteln (Arsen, Bor, Chrom, Kupfer, Quecksilber, Fluor)
- organische Holzschutzmitteln (Lindan, PCP, PAK)
- Farbpigmenten (Blei, Cadmium, Titan, Zink)
- Beschichtungen (Chlor).

Es werden nur die jeweils relevanten Quellen für die einzelnen Belastungsgruppen angesprochen. Es ist jedoch nicht auszuschließen, daß auch durch die übrigen Quellen entsprechende Belastungen hervorgerufen werden (z. B. Chrombelastung vor allem durch anorganische Holzschutzmittel aber auch teilweise durch Farben verursacht).

Bei den Elementen Chlor und Fluor muß beachtet werden, daß die in dieser Untersuchung dargestellten Ergebnisse mit einem anderen Aufschluß (Wickbold-Verbrennung, in der Abfallwirtschaft gängig, RUHOLL, 1996) als diejenigen, die als Grundlage zur Festlegung des Richtwertes dienten (Schöniger-Verbrennung, veraltet, BOCKELMANN, 1996a), bestimmt wurden, so daß die erzielten Untersuchungsergebnisse nicht mit den Richtwerten des LUA vergleichbar sind.

Bei der Darstellung der Ergebnisse mußte aufgrund der Streuung im Wertebereich der Verunreinigungsgehalte in der Graphik häufig die logarithmische Darstellungsform gewählt werden. Zur besseren Einordnung der Ergebnisse sind die jeweiligen Höchstwerte mit einem Wert gekennzeichnet. Die jeweils anzuwendenden Richtwerte sind in

den Graphiken durch unterschiedliche Pfeile und die Bestimmungsgrenze durch eine gestrichelte Linie dargestellt:

• Bestimmungsgrenze:	----->
• Leitwert der Span- und Faserplatten-industrie	—————>
• Grenzwert naturbelassenes Holz>
• Grenzwert Gruppe 2/3 (gleichzeitig Schwellenwert für Gruppe 4)	----->

6.3.2 Darstellung der Analyseergebnisse für den Output und Vergleich mit vorgeschlagenen Richtwerten

6.3.2.1 Output für die stoffliche Verwertung

Für eine stoffliche Verwertung wird nach Angaben der Holzaufbereiter nur die Grob- und Mittelfraktion des Anlagenoutputs verwendet. Die Feinfraktion wird teils wegen der vermuteten höheren Verunreinigungen und aufgrund der Materialeigenschaften (Sägemehl) i. d. R. zur energetischen Verwertung abgegeben. Die Feinfraktion wird in diesem Kapitel jedoch auch mitbetrachtet, um die unterschiedliche Belastung zu zeigen.

Im folgenden werden die Belastungen aus Holzschutzmitteln, Farben und Beschichtungen anhand der Leitparameter, die das LUA vorgeschlagen hat dargestellt und beurteilt.

• Typische Belastungen durch anorganische Holzschutzmittel:

Die Tabelle 27 zeigt die typischen Belastungen durch anorganische Holzschutzmittel in den Recyclinghackschnitzeln, die für die stoffliche Verwertung aufbereitet wurden, getrennt nach den Siebfraktionen.

Anhand der Untersuchungsergebnisse ist zu erkennen, daß die Belastungen des Recyclingholzes in bezug auf den Borgehalt (Indikator für anorganisches Holzschutzmittel) im Bereich des naturbelassenen Holzes liegen. Beim Arsen überschreiten bei der Grob- und Mittelfraktion je eine Probe den Richtwert von 0,8 mg/kg, bei der Feinfraktion sind es dagegen 3 (entspricht 50 %).

Bei Kupfer und Quecksilber können deutlichere Überschreitungen des Richtwertes der Gruppe 1 festgestellt werden. Während den Kupfergehalt von 5 mg/kg noch 67 % der Outputproben der Grobfraction einhalten können, liegen die Konzentrationen in der Mittel- und Feinfraktion alle darüber. Der Quecksilberrichtwert von 0,05 mg/kg wird von 50 % der Proben aus der Grob- und 100% aus der Feinfraktion überschritten.

Tab. 27: Typische Belastungen durch anorganische Holzschutzmittel in Recyclinghackschnitzeln für die stoffliche Verwertung

Parameter	Output	Probenanzahl	min mg/kg	max mg/kg	mittel mg/kg	Spanplattenind.		LUA Gruppe 1	
						Max.wert mg/kg	Überschr. %	Max.wert mg/kg	Überschr. %
Arsen	GF	n=6	< 0,8	2,10	< 0,8	-	-	0,8	17
	MF	n=3	< 0,8	1,20	< 0,8	-	-		33
	FF*	n=6	< 0,8	1,10	0,85	-	-		50
Bor	GF	n=6	< 5,0	5,60	< 5,0	-	-	15	0
	MF	n=3	5,30	6,30	5,67	-	-		0
	FF*	n=6	7,20	8,20	7,67	-	-		0
Chrom	GF	n=6	< 1,0	32,00	15,31	30	17	2	83
	MF	n=3	22,00	38,00	29,67		33		100
	FF*	n=6	54,00	150,00	77,67		100		100
Kupfer	GF	n=6	2,40	9,60	4,75	-	-	5	33
	MF	n=3	6,10	7,10	6,50		-		100
	FF*	n=6	8,50	14,00	10,43		-		100
Quecksilber	GF	n=6	< 0,05	0,12	0,06	-	-	0,05	50
	MF	n=3	< 0,05	< 0,05	< 0,05		-		0
	FF*	n=6	0,05	0,29	0,16		-		100
Fluor	GF	n=6	139,00	293,00	226,50	-	-	**	
	MF	n=3	128,00	306,00	199,33		-		
	FF*	n=6	120,00	645,00	312,17		-		

* FF: nicht für stoffliche Verwertung vorgesehen

** hier konnte kein Richtwert für naturbelassenes Holz angegeben werden, da aufgrund von verschiedenen Aufschlußverfahren bei der Analytik, der vom LUA bestimmte Richtwert nicht mit den dargestellten Ergebnissen vergleichbar ist

Bei der Belastung aus anorganischen Holzschutzmitteln fallen die Chrom- und Fluorgehalte besonders auf, so daß für diese Parameter nachfolgend eine differenziertere Darstellung vorgenommen wird.

Die Abbildung 13 zeigt die Chrombelastungen im Output für die stoffliche Verwertung. Dabei wird deutlich, daß der Richtwert für naturbelassenes Holz (2 mg/kg) i. d. R. nicht

eingehalten werden kann, es wurden Überschreitungen im Mittel bis zum 35-fachen in der feinen Siebfraction ermittelt. Der für Chrom festgelegte Leitwert der Span- und Faserplattenindustrie von 30 mg/kg kann dagegen von der Mittel- und Grobfraction weitgehend eingehalten werden. Bei der Feinfraction wurden deutliche Überschreitungen auch hinsichtlich dieses Wertes, im Mittel um das Doppelte, festgestellt.

Anhand der Darstellung ist ein Unterschied in der Belastungen der Fraktionen in den zwei Anlagen zu erkennen, in den Recyclinghackschnitzeln der Anlage B wurden höhere Chromgehalte nachgewiesen. Chrom stammt häufig aus Imprägnierungen mit anorganischen Holzschutzmitteln, die in Bauhölzern verwendet werden. In der Anlage B wurden u. a. Bauhölzer für die stoffliche Verwertung aufbereitet.

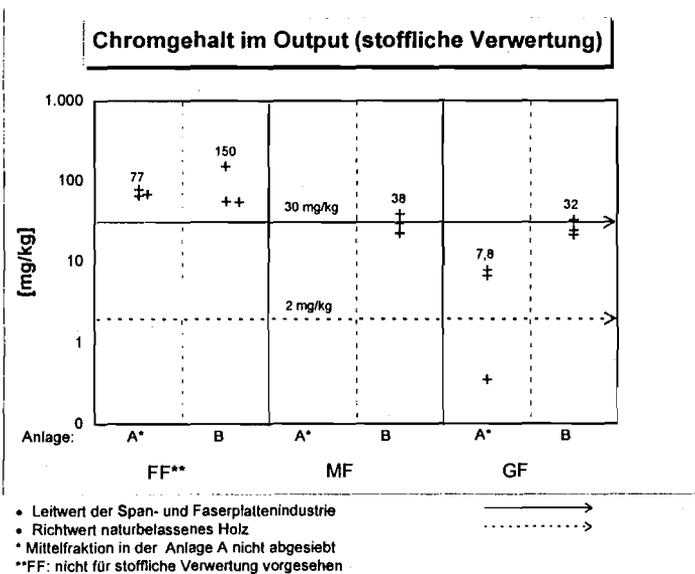
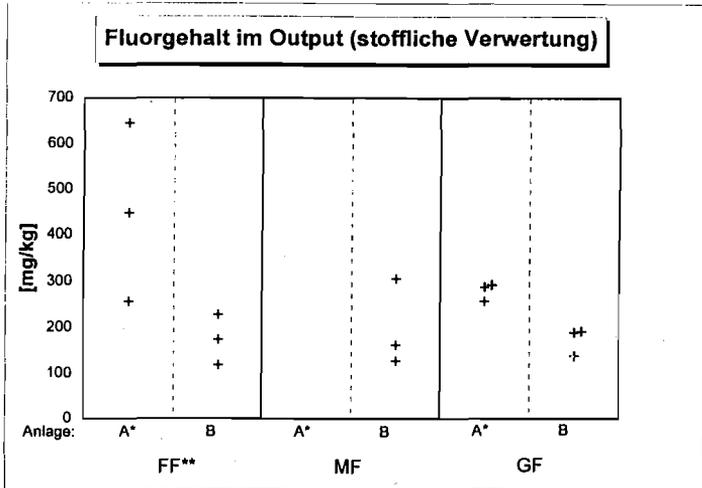


Abb. 13: Chromgehalt im Output für den stofflichen Verwertungsweg

Die bei der Untersuchung gemessenen Fluorkonzentrationen (Mit der Wickbold-Verbrennung als Aufschluß) liegen in der Grob- und Mittelfraction zwischen 100 und 300 mg/kg. In der Feinfraction konnten bei der Anlage A Fluorbelastungen bis zu 650 mg/kg (Abb. 14) gemessen werden. Diese Werte können nicht mit dem vom LUA vorgeschlagenen Richtwert für naturbelassenes Holz (10 mg/kg) verglichen werden, da verschiedene Aufschlußverfahren zur Bestimmung der Fluorkonzentration zugrunde liegen (Kap. 6.3.1).



• hier konnte kein Richtwert für naturbelassenes Holz angegeben werden, da aufgrund von verschiedenen Aufschlußverfahren bei der Analytik, der vom LUA bestimmte Richtwert nicht mit den dargestellten Ergebnissen vergleichbar ist

* Mittelfraktion in der Anlage A nicht abgesiebt

**FF: nicht für stoffliche Verwertung vorgesehen

Abb. 14: Fluorgehalt im Output für den stofflichen Verwertungsweg

• **Typische Belastungen durch organische Holzschutzmittel und Teeröle:**

Die Tabelle 28 zeigt, daß die Lindanbelastung in den Outputproben der Holzaufbereitungsanlagen bis auf wenige Ausnahmen (eine Überschreitung je Siebfraktion) unter dem vom LUA vorgeschlagenen Richtwert der Gruppe 1 liegt.

Für Pentachlorphenol ist neben dem Richtwert für naturbelassenes Holz (1 mg/kg) auch von der Span- und Faserplattenindustrie ein Wert von 3 mg/kg vorgeschlagen. Die Abbildung 15 zeigt die Konzentrationen an PCP in den Recyclinghackschnitzeln. Die Gehalte liegen bis auf einen unter dem von der Span- und Faserplattenindustrie vorgeschlagenen Leitwert von 3 mg/kg. Jedoch überschreiten 73 % der PCP-Gehalte im Output den Richtwert des LUA für naturbelassenes Holz.

Da Pentachlorphenol aus Holzschutzmitteln stammt, ist auch hier wiederum der Einfluß des mit diesen Mitteln behandelten Bauholzes auf den Grad der Verunreinigung der Recyclinghackschnitzel aus Anlage B zu vermuten.

Tab. 28: Typische Belastungen durch organische Holzschutzmittel und Teeröle in Recyclinghackschnitzeln für die stoffliche Verwertung

Parameter	Output	Probenanzahl	min	max	mittel	Spanplattenind.		LUA Gruppe 1		
			mg/kg	mg/kg	mg/kg	Max.wert mg/kg	Überschr. %	Max.wert mg/kg	Überschr. %	
Lindan	GF	n=6	< 0,1	0,30	0,10	-	-	0,25	17	
	MF	n=3	< 0,1	0,30	0,15				-	33
	FF*	n=6	< 0,1	0,30	0,13				-	17
PCP	GF	n=6	0,20	1,90	1,27	3	0	1	67	
	MF	n=3	0,60	2,80	1,83				0	67
	FF*	n=6	0,90	3,20	1,97				17	83
PAK (nur Benzo(a)pyren)	GF	n=6	< 0,05	0,24	0,09	0	0	0,05	50	
	MF	n=3	< 0,05	0,12	0,07				0	33
	FF*	n=6	0,05	2,20	0,91				0	83

*FF: nicht für stoffliche Verwertung vorgesehen

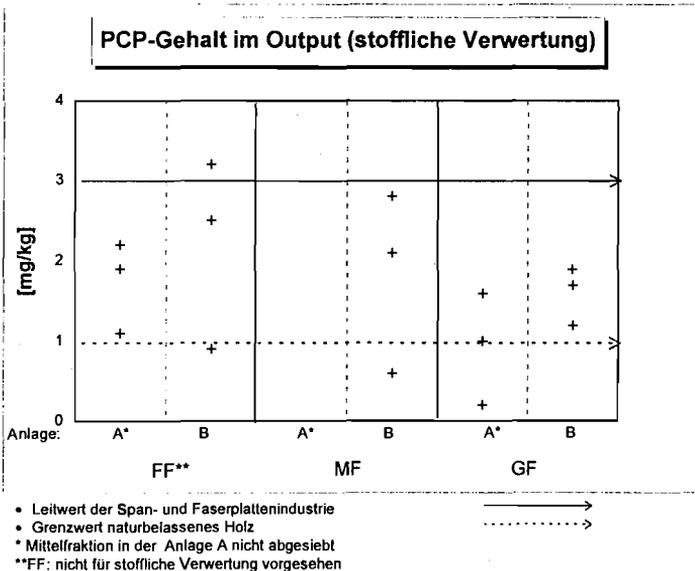


Abb. 15: PCP-Gehalt im Output für den stofflichen Verwertungsweg

Als ein weiterer Leitparameter für den Einsatz von Recyclinghackschnitzeln in der Holzwerkstoffindustrie wurde der PAK-Gehalt für eine Belastung der Späne mit Teeröl

angeführt. Dieser wurde jedoch von der Span- und Faserplattenindustrie nicht durch einen Wert begrenzt, sondern es wurde eine Prüfung auf Verdacht (Geruch, Verfärbung) zur Feststellung des PAK-Gehaltes festgelegt. Sollte dabei eine Teerölbelastung nachgewiesen werden, wäre die Charge von der Verwertung in der Holzwerkstoffindustrie auszuschließen.

Für naturbelassenes Holz wurde vom LUA ein Richtwert für PAK (nur Benzo(a)pyren) von 0,05 mg/kg festgelegt. Bis auf wenige Ausnahmen überschreiten die untersuchten Proben diesen Richtwert (Abb. 16). Es ist demnach davon auszugehen, daß nicht alle teeröhlhaltigen Hölzer vor der Aufbereitung aussortiert werden konnten.

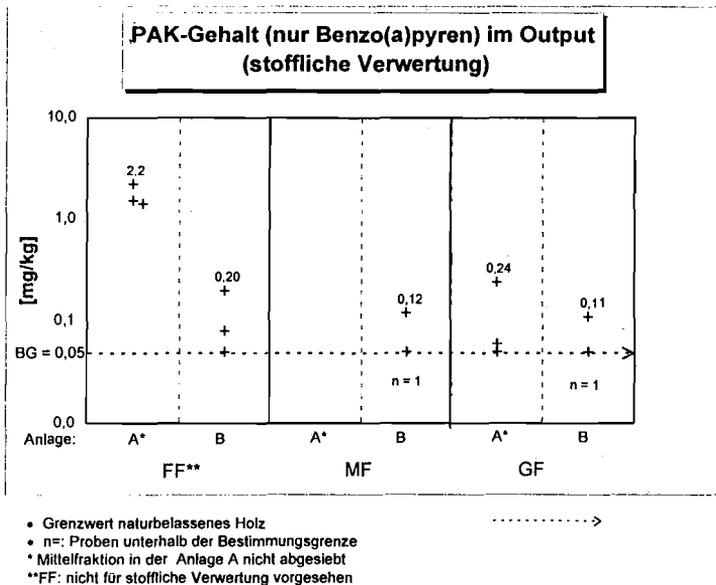


Abb. 16: PAK-Gehalt (nur Benz(a)pyren) im Output für den stofflichen Verwertungsweg

• **Typische Belastungen durch Farbpigmente:**

Die Belastung der Recyclingspäne durch Farbpigmente ist an der Blei, Cadmium-Titan- und Zinkkonzentration festzumachen (Tab. 29). Es ist zu erkennen, daß der Cadmiumrichtwert für naturbelassenes Holz von allen Proben der Grob- und Mittel-

fraktion eingehalten werden kann. Drei Proben der Feinfraktion (entspricht 50 %) überschreiten den Cadmiumwert von 0,5 mg/kg.

Die Konzentrationen an Titan in den untersuchten Chargen der Grobfraktion halten zu 83% den Richtwert der Gruppe 1 ein. In den anderen Siebfraktionen ist dagegen eine Unterschreitung des Richtwertes nicht möglich, im Mittel liegen die Werte um das 2,5-fache (Mittelfraktion) und das zehnfache (Feinfraktion) höher.

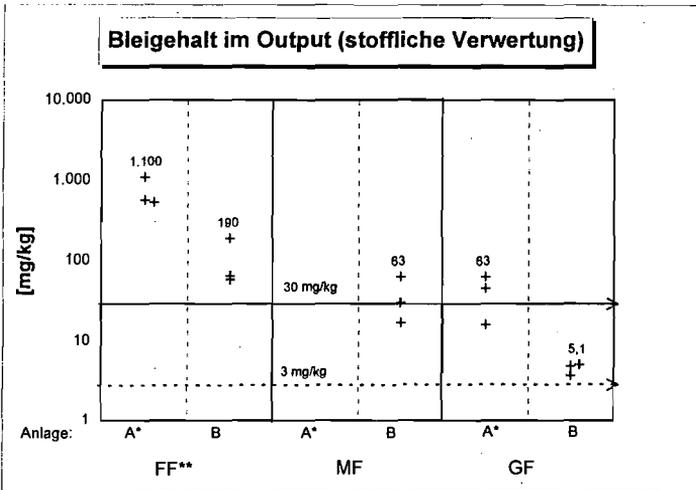
Tab. 29: Typische Belastungen durch Farbpigmente in Recyclinghackschnitzeln für die stoffliche Verwertung

Parameter	Output	Probenanzahl	min mg/kg	max mg/kg	mittel mg/kg	Spanplattenind.		LUA Gruppe 1	
						Max.wert mg/kg	Überschr. %	Max.wert mg/kg	Überschr. %
Blei	GF	n=6	3,70	63,00	22,95	30	33	3	100
	MF	n=3	17,00	63,00	36,67		33		100
	FF*	n=6	59,00	1100,00	419,00		100		100
Cadmium	GF	n=6	0,20	0,50	0,33	-	-	0,5	0
	MF	n=3	0,25	0,40	0,30		-		0
	FF*	n=6	0,25	2,60	1,21		-		50
Titan	GF	n=6	< 5,0	26,00	7,67	-	-	5	17
	MF	n=3	6,50	20,00	12,50		-		100
	FF*	n=6	26,00	98,00	57,17		-		100
Zink	GF	n=6	19,00	220,00	117,00	-	-	50	67
	MF	n=3	42,00	61,00	49,33		-		33
	FF*	n=6	105,00	3400,00	1395,83		-		100

*FF: nicht für stoffliche Verwertung vorgesehen

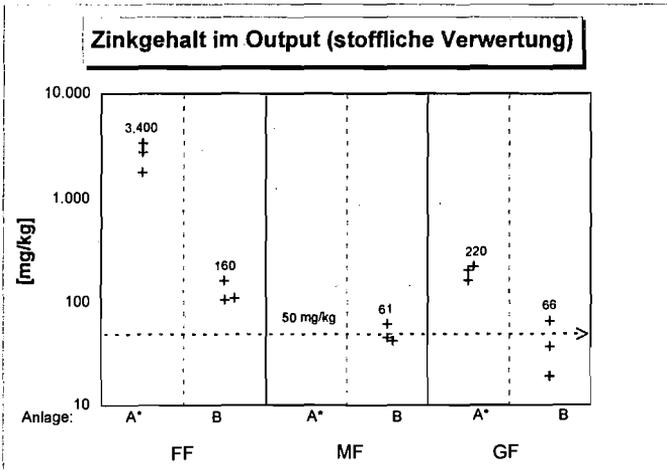
Die deutlichsten Überschreitungen des vom LUA vorgeschlagenen Richtwertes sind bei den Elementen Blei und Zink festzustellen. Diese werden daher in den Abbildungen 17 und 18 differenzierter dargestellt.

Die Abbildung 17 zeigt zum einen, daß die Bleigehalte der untersuchten Recyclinghackschnitzeln zum größten Teil weit über den LUA-Vorgaben für naturbelassenes Holz (3 mg/kg), aber bis auf die Grobfraktion aus Anlage B auch über dem von der Span- und Faserplattenindustrie vorgeschlagenen wesentlich höher angesiedelten Leitwert (30 mg/kg) liegen. In der Feinfraktion wurde ein höchster Bleigehalt von 1.100 mg/kg festgestellt.



- Leitwert der Span- und Faserplattenindustrie
- Grenzwert naturbelassenes Holz
- * Mittelfraktion in der Anlage A nicht abgesiebt
- **FF: nicht für stoffliche Verwertung vorgesehen

Abb. 17: Bleigehalt im Output für den stofflichen Verwertungsweg



- Grenzwert naturbelassenes Holz
- * Mittelfraktion in der Anlage A nicht abgesiebt
- **FF: nicht für stoffliche Verwertung vorgesehen

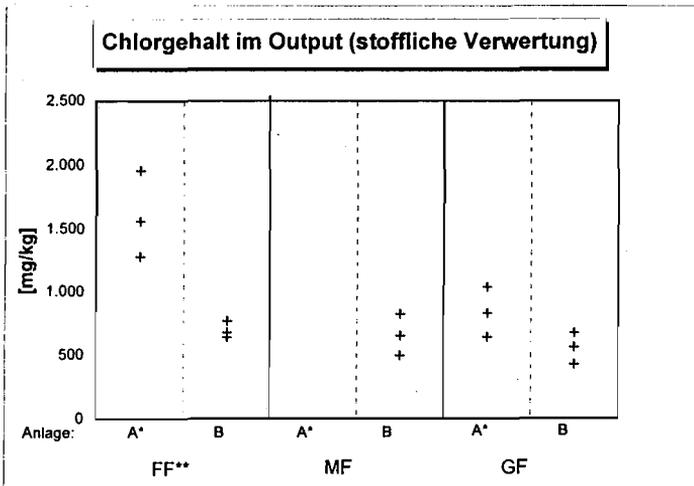
Abb. 18: Zinkgehalt im Output für den stofflichen Verwertungsweg

Die gleiche Tendenz war auch bei den Zinkgehalten der Proben festzustellen, während in der Grob- und Mittelfraktion der Richtwert von 50 mg/kg je nach Anlage nur gering bis 4-fach überschritten wurde, wurden bei der Feinfraktion Zinkkonzentrationen von um 3.000 mg/kg festgestellt. In der Abbildung 18 ist die Streuung der Zinkkonzentrationen in den Proben nochmals beispielhaft dargestellt.

• **Typische Belastungen durch Chlor (PVC- Beschichtungen):**

In Abbildung 19 sind die in den Recyclinghackschnitzeln festgestellten Chlorgehalte in den Outputproben der Holzaufbereitungsanlagen dargestellt. Die Chlorkonzentrationen liegen in der Grob- und Mittelfraktion zwischen 430 und 1.030 mg/kg und in der Feinfraktion bei Anlage A bis zu 1.960 mg/kg (Anhang E 9.1.1.1).

Den gemessenen Chlorkonzentrationen konnte kein Richtwert für naturbelassenes Holz gegenübergestellt werden, da aufgrund von verschiedenen Aufschlußverfahren bei der Analytik, der vom LUA bestimmte Richtwert nicht mit den dargestellten Ergebnissen vergleichbar ist (Kap. 6.3.1).



• hier konnte kein Richtwert für naturbelassenes Holz angegeben werden, da aufgrund von verschiedenen Aufschlußverfahren bei der Analytik, der vom LUA bestimmte Richtwert nicht mit den dargestellten Ergebnissen vergleichbar ist

* Mittelfraktion in der Anlage A nicht abgesiebt

**FF: nicht für stoffliche Verwertung vorgesehen

Abb. 19: Chlorgehalt im Output für den stofflichen Verwertungsweg

Zusammenfassend ist in bezug auf die stoffliche Verwertung der Grob- und Mittelfraktion aus den untersuchten Holzaufbereitungsanlagen festzustellen, daß die vom LUA vorgeschlagenen Richtwerte für diese Verwertung (Gruppe 1, naturbelassenes Holz) nicht eingehalten werden können.

Die Konzentrationen an Verunreinigungen der Recyclinghackschnitzel befinden sich mit der Grob- und Mittelfraktion im Bereich der Leitwerte der Span- und Faserplattenindustrie, die aber auf einem wesentlich höheren Niveau als die LUA-Richtwerte liegen. Es wäre jedoch auch bei diesen Leitwerten zusätzlich für eine Einhaltung immer eine Untersuchung der Holzproben notwendig (vor allem auch PAK). Inwieweit andere Verunreinigungen sich in den Holzwerkstoffen noch als besonders schädigend auswirken, kann hier nicht abschließend geklärt werden. Es ist jedoch gerade bei der stofflichen Verwertung in der Holzwerkstoffindustrie darauf zu achten, daß eine Verschleppung von Belastungen in das Produkt vermieden und daß dieses Produkt auch wieder zu Abfall wird, welcher umweltverträglich entsorgt werden muß.

Die Feinfraktion kann nach beiden Grenzwertvorschlägen aufgrund des deutlich höheren Verunreinigungsgrades nicht stofflich, z. B. in der Spanplatte verwertet werden.

6.3.2.2 Output für die energetische Verwertung

Recyclinghackschnitzel für einen energetischen Verwertungsweg werden von den Holzaufbereitern zum größten Teil an Feuerungsanlagen nach der 4. BImSchV 1.2 oder 1.3 abgegeben. Im folgenden werden daher die Belastungen aus Holzschutzmitteln und Beschichtungen anhand der Leitparameter, die das LUA für diesen Verwertungsweg in den Gruppen 2 bis 4 vorgeschlagen hat (Kap. 5.2), dargestellt und beurteilt.

- **Typische Belastungen durch anorganische Holzschutzmittel:**

In bezug auf die Indikatoren für anorganische Holzschutzmittel können alle Outputproben aus den drei Anlagen den Richtwert der Gruppe 2 (auch den der Gruppe 1) für Bor i. d. R. einhalten. Bei den anderen dargestellten Parametern ist eine Einhaltung des Grenzwertes für naturbelassenes Holz (Gruppe 1) eher die Ausnahme (Tab. 30).

Tab. 30: Typische Belastungen durch anorganische Holzschutzmittel in Recyclinghackschnitzeln für die energetische Verwertung

Parameter	Output	Probenanzahl	min	max	mittel	LUA Gruppe 1		LUA Gruppe 2	
			mg/kg	mg/kg	mg/kg	Max.wert mg/kg	Überschr. %	Max.wert mg/kg	Überschr. %
Arsen	GF	n=9	< 0,8	13,00	3,11	0,8	56	2	44
	MF	n=6	< 0,8	1,00	< 0,8		17		0
	FF	n=9	< 0,8	3,60	1,38		78		11
Bor	GF	n=9	< 5,0	12,00	6,88	15	0	30	0
	MF	n=6	6,10	9,00	7,13		0		0
	FF	n=9	7,30	16,00	10,66		11		0
Kupfer	GF	n=9	4,40	20,00	11,93	5	89	20	0
	MF	n=6	3,80	10,00	7,48		83		0
	FF	n=9	6,50	290,00	44,82		100		44
Quecksilber	GF	n=9	<0,05	0,36	0,13	0,05	78	0,4	0
	MF	n=6	<0,05	0,09	0,07		67		0
	FF	n=9	0,07	0,55	0,16		100		11
Fluor	GF	n=9	< 100	140,00	< 100	10	100	30	100
	MF	n=6	< 100	218,00	< 100		100		100
	FF	n=9	< 100	387,00	160,44		100		100

* hier konnte kein Richtwert für Gruppe 1 oder 2/3 angegeben werden, da aufgrund von verschiedenen Aufschlußverfahren bei der Analytik, der vom LUA bestimmte Richtwert nicht mit den dargestellten Ergebnissen vergleichbar ist

In der Grob- und Mittelfraktion der Recyclinghackschnitzel kann der Richtwert der Gruppe 2 für Kupfer (20 mg/kg) und Quecksilber (0,4 mg/kg) durchgehend eingehalten werden. In der Feinfraktion liegen die Gehalte bei Quecksilber zu 11 % und bei Kupfer zu 44 % über dem Richtwert der Gruppe 2.

Für die weiteren Inhaltsstoffe von anorganischen Holzschutzmitteln, wie Arsen und Fluor, werden die Untersuchungsergebnisse nochmals detailliert dargestellt.

Wie die Abb. 20 zeigt, ist die Grobfraktion in bezug auf Arsen teilweise höher belastet, als die restlichen Fraktionen. 44 % der Holzproben aus der Grobfraktion können den Richtwert von 2 mg/kg nicht einhalten, bei der Feinfraktion sind das nur 11 % und bei der Mittelfraktion liegen die gemessenen Werte alle unter dem Richtwert.

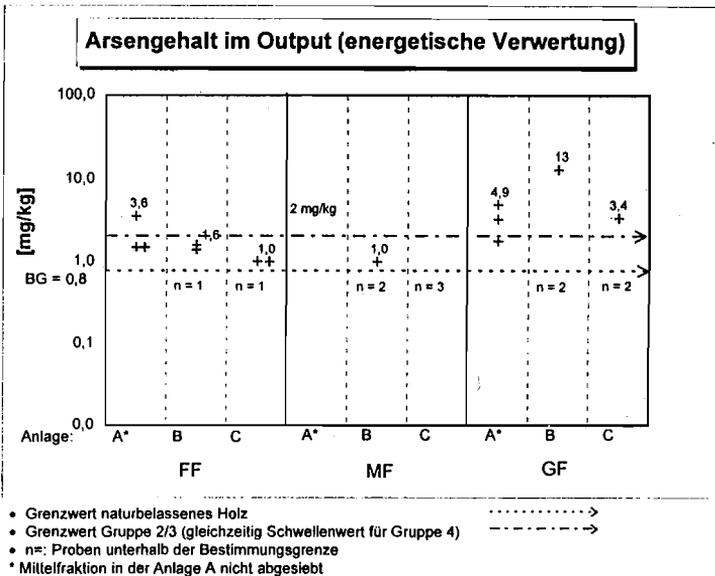


Abb. 20: Arsengehalt im Output für den energetischen Verwertungsweg

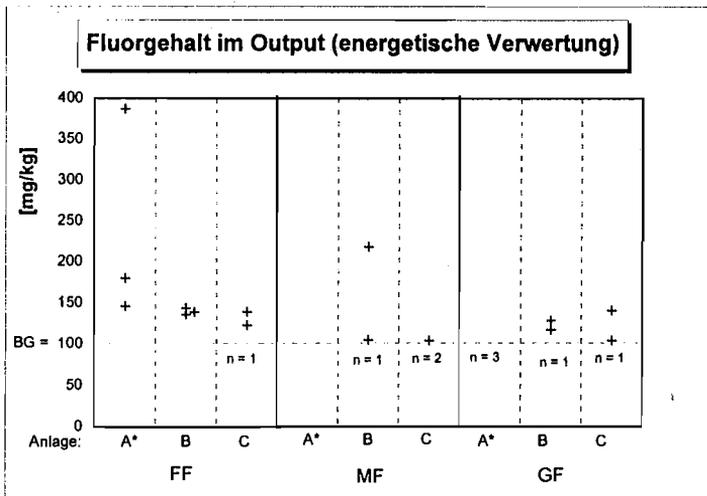


Abb. 21: Fluorgehalt im Output für den energetischen Verwertungsweg

Die Abbildung 21 zeigt die Fluorgehalte in den Outputproben für den energetischen Verwertungsweg. In der Grob- und Mittelfraktion im Mittel unterhalb der Bestimmungsgrenze von 100 mg/kg. Die Maximalkonzentration ist bei Anlage B mit 220 mg/kg zu finden. Die Feinfraktion von Anlage A zeigt eine Fluorkonzentration von bis zu 390 mg/kg.

Diese Untersuchungsergebnisse sind wiederum nicht mit einem Richtwert des LUA zu vergleichen, da unterschiedliche Aufschlüsse (Kap. 6.3.1) bei der Analytik zugrunde liegen.

• **Typische Belastungen durch organische Holzschutzmittel und Teeröle:**

Die folgende Tabelle 31 zeigt die festgestellten Belastungen der untersuchten Outputproben im Hinblick auf organische Holzschutzmittelparameter.

Dabei zeigt sich, daß die Lindankonzentrationen in den untersuchten Proben alle unterhalb des Richtwertes der Gruppe 1 liegen. Beim Pentachlorphenol kann der größte Teil der Holzproben den Richtwert der Gruppe 2 (2 mg/kg) einhalten. Bei der Grobfraktion gibt es 11 % Überschreitungen und bei den beiden anderen Fraktionen 33 %, wobei höchstens der doppelte Richtwert erreicht wurde.

Tab. 31: Typische Belastungen durch organische Holzschutzmittel und Teeröle in Recyclinghackschnitzeln für die energetische Verwertung

Parameter	Output	Probenanzahl	min	max	mittel	LUA Gruppe 1		LUA Gruppe 2	
			mg/kg	mg/kg	mg/kg	Max.wert mg/kg	Überschr. %	Max.wert mg/kg	Überschr. %
Lindan	GF	n=9	< 0,1	0,20	< 0,1	0,25	0	0,5	0
	MF	n=6	< 0,1	0,20	0,13				
	FF	n=9	< 0,1	0,20	0,11				
PCP	GF	n=9	0,20	2,40	0,94	1	33	2	11
	MF	n=6	0,70	2,90	1,62				
	FF	n=9	0,70	3,60	1,81				
PAK (nur Benzo(a)pyren)	GF	n=9	0,06	4,60	0,80	0,05	100	0,1	67
	MF	n=6	0,05	0,67	0,35				
	FF	n=9	0,18	0,60	0,37				

Benzo(a)pyren, als Parameter für eine mögliche Teerölbelastung, kann dagegen wesentlich häufiger festgestellt werden (Abb. 22). Die wenigsten Proben (insgesamt nur 4 von 24) weisen einen Benzo(a)pyrengelhalt von unter 0,1 mg/kg auf.

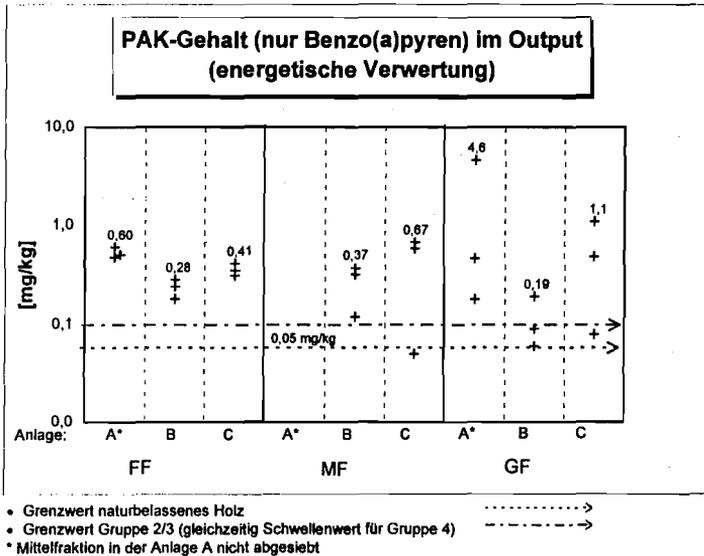
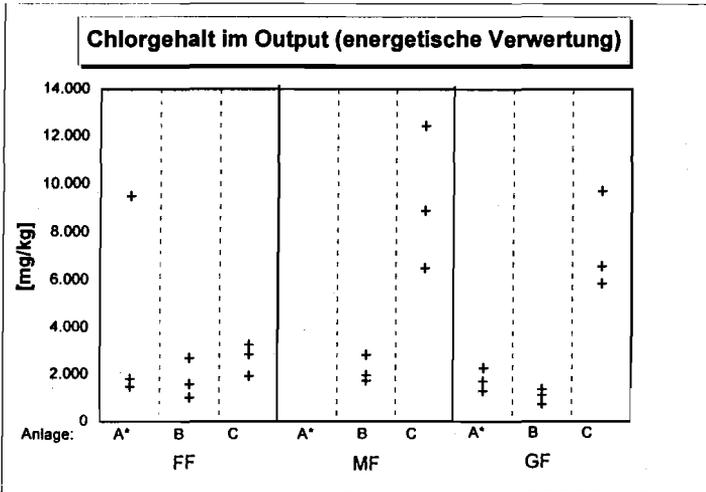


Abb. 22: PAK-Gehalt im Output für den energetischen Verwertungsweg

Bis auf wenige Ausnahmen ist eine durchschnittliche Belastung über alle Siebgrößen von 0,2 bis 0,6 mg/kg zu erkennen. Es ist demnach anzunehmen, daß nicht alle teeröl-impregnierten Holzstücke aussortiert werden konnten.

• Typische Belastungen durch Chlor (PVC-Beschichtungen)

Bei der Betrachtung der Chlorgehalte, die auf eine PVC-Beschichtung hindeuten sollen, fällt auf, daß diese sich im Mittel zwischen 3.000 bis 6.000 mg/kg bewegen. Die Werte der Anlage C treten deutlich hervor. Der Grund für die dort gefundenen hohen Chlorwerte liegt in der derzeitigen Anlagenbeschickung begründet, denn es werden gezielt größere Mengen PVC-beschichteter Hölzer (aus der Küchenindustrie) in der Aufbereitungsanlage verarbeitet, deren Späne in Feuerungsanlagen nach der 4. BImSchV 1.3 verbrannt werden sollen. Die folgende Abbildung 23 zeigt die Chlorgehalte der Outputfraktionen der Anlagen zusammengefaßt, dabei konnte den Untersuchungsergebnissen kein Richtwert des LUA gegenübergestellt werden, da unterschiedliche Aufschlußverfahren bei der Analytik zugrunde liegen (Kap. 6.3.1).



• hier konnte kein Richtwert des LUA angegeben werden, da aufgrund von verschiedenen Aufschlußverfahren bei der Analytik, der vom LUA bestimmte Richtwert für Gruppe 2/3 nicht mit den dargestellten Ergebnissen vergleichbar ist

* Mittelfraktion in der Anlage A nicht abgesiebt

Abb. 23: Chlorgehalt im Output für den energetischen Verwertungsweg

• **Typische Belastungen durch Farbpigmente und Chrom:**

Für die Belastungen aus Farben (Blei, Cadmium, Titan, und Zink) bzw. für Chrom (zum größten Teil aus anorganischen Holzschutzmitteln) sind im Vorschlag des Landesumweltamtes nur Richtwerte für die Gruppe 1 festgelegt worden. Werden diese überschritten sollen die Holzchargen, je nach weiteren Verunreinigungsgehalten, in Feuerungsanlagen nach der 4. BImSchV verbrannt werden. Der Grad der zulässigen Verunreinigung wird dann durch die Emissionsgrenzwerte für die bestehenden Feuerungsanlagen beschränkt.

Um dennoch darzustellen, in welchen Bereichen die Belastung mit diesen Elementen sich bewegt, ist in der nachfolgenden Tabelle 32 die Durchschnittsbelastung der Proben dargestellt. Als ein annähernder Vergleichsmaßstab sind die Maximalwerte konventioneller Regelbrennstoffe nach Nr. 1.2 der 4. BImSchV für Kohle dargestellt. In Abhängigkeit der Verfahrenstechnologie sind höhere Belastungen zulässig (WINKLER, 1995a).

Die von WINKLER angegebenen Richtwerte (in mg/MJ) wurden mit einem Heizwert für lufttrockenes Holz von 15.600 MJ/kg für einen Vergleich der Outputprobenbelastungen umgerechnet.

Anhand der Werte in Tabelle 32 ist festzustellen, daß die Grobfraktionen der einzelnen Outputproben durchgehend den Richtwert für einen konventionellen Regelbrennstoff einhalten können. In bezug auf den Cadmium- und Chromgehalt trifft das auch im weitesten für die Mittel- und Feinfraktion zu.

Die Mittelfraktion der Recyclinghackschnitzel kann den Bleirichtwert für Regelbrennstoffe von 156 mg/kg einhalten. In der Feinfraktion liegt die Bleikonzentration dagegen zu 67 % über diesem Richtwert. In bezug auf den Zinkgehalt der Outputproben ist zu erkennen, daß schon die Mittelfraktion den Maximalwert konventioneller Regelbrennstoffe für Zink von 125 mg/kg i. M. nicht unterschreiten kann. Bei der Feinfraktion liegt eine Zinkbelastung von i. M. 611 mg/kg vor.

Tab. 32: Typische Belastungen durch Farbpigmente und Chrom in Recyclinghackschnitzeln für die energetische Verwertung

Parameter	Output	Probenanzahl	min	max	mittel	LUA Gruppe 1		konv. Regelbrennst.	
			mg/kg	mg/kg	mg/kg	Max.wert mg/kg	Überschr. %	Max.wert mg/kg	Überschr. %
Blei	GF	n=9	< 2,5	150,00	60,47	3	89	156	0
	MF	n=6	93,00	160,00	111,50		100		17
	FF	n=9	70,00	420,00	248,33		100		67
Cadmium	GF	n=9	0,40	3,50	1,07	0,5	89	4,7	0
	MF	n=6	0,30	2,70	1,30		67		0
	FF	n=9	0,80	3,40	1,57		100		0
Titan	GF	n=9	< 5,0	20,00	9,30	5	89	-	-
	MF	n=6	7,10	17,00	12,52		100		-
	FF	n=9	12,00	93,00	30,44		100		-
Zink	GF	n=9	58,00	110,00	86,11	50	100	125	0
	MF	n=6	75,00	230,00	149,00		100		67
	FF	n=9	160,00	1200,00	611,11		100		100
Chrom	GF	n=9	15,00	49,00	31,44	2	100	58	0
	MF	n=6	1,00	26,00	19,83		83		0
	FF	n=9	15,00	73,00	31,89		100		22

6.3.3 Belastungen der einzelnen Stoffgruppen des Inputs

Die in den vorangegangenen Kapiteln dargestellten Outputbelastungen sind abhängig von einem spezifischen Input. Im folgenden werden die 14 aus dem Anlageninput der drei Holzaufbereitungsanlagen aussortierten Stoffgruppen (Kap. 6.2.2, genaue Bezeichnungen Anhang E 2) hinsichtlich ihrer Belastung aus Holzschutzmitteln, Farben und Beschichtungen dargestellt. In der Tabelle 33 sind die übergeordneten Stoffgruppen mit ihren zugehörigen Untergruppen zur Verdeutlichung nochmals dargestellt.

Tab. 33: Für die Sortierung festgelegte übergeordnete Stoffgruppen mit ihren zugehörigen Untergruppen

Kurzbez.	übergeordnete Stoffgruppen	zugehörige Untergruppen
V	Vollholz	V1 bis V3
H	Holzwerkstoff	H1 bis H6
S	Sondergruppen/Siebdurchgänge	S1 bis S4
N	naturbelassenes Holz aus Sägewerk	N

In den im folgenden dargestellten Diagrammen ist zur Einordnung der Analysenergebnisse der Richtwert für naturbelassenes Holz angegeben.

• Typische Belastungen durch anorganische Holzschutzmittel:

Im folgenden werden die Quellen für die Belastung des Outputs mit Arsen, Bor, Quecksilber, Kupfer, Chrom und Fluor näher betrachtet.

In bezug auf die Belastung mit Arsen ist festzustellen, daß die Gehalte in fast allen untersuchten Holzproben unterhalb der Nachweisgrenze (0,8 mg/kg) liegen. Geringfügig höhere Arsengehalte, aufgrund von einigen wenigen sehr hohen Werten, zeigen die Stoffgruppe Vollholz imprägniert (V3) und die Siebdurchgänge (S2, S3).

Bor wird hauptsächlich in imprägnierten Vollhölzern (V3; im Mittel 18 mg/kg) und dem feineren Siebdurchgang (S3; im Mittel 14 mg/kg) gefunden. Bei den anderen Stoffgruppen liegt die Borkonzentration unterhalb der Bestimmungsgrenze (5 mg/kg) bzw. geringfügig darüber. Bei den Quecksilbergehalten kann ähnliches festgestellt werden. In der Stoffgruppe Vollholz imprägniert liegt i. M. eine Quecksilberbelastung von 6,1 mg/kg vor. Geringere Belastungen, i. M. zwischen 0,1 und 0,4 mg/kg, sind in den Gruppen Vollholz lackiert (V2), Fenster (V2.1), Vollholz imprägniert und den Sieb-

fraktionen (S2, S3) feststellbar. Die Quecksilberkonzentrationen in den übrigen Stoffgruppen liegen unterhalb der Nachweisgrenze von 0,05 mg/kg.

Wie schon bei den anderen Indikatoren für anorganische Holzschutzmittel liegen hohe Konzentrationen an Kupfer in der Stoffgruppe imprägnierte Vollhölzer (i. M. 61 mg/kg) und dem feinen Siebdurchgang (i. M. 75 mg/kg). Beim Siebdurchgang schlägt jedoch ein Wert mit 520 mg/kg deutlich heraus, im Vergleich dazu liegt der Medianwert für Kupfer bei 18 mg/kg. Einige wenige höhere Kupferkonzentrationen (30 bis 40 mg/kg) waren auch im „unbehandelten“ (V1) und lackierten Holz (V2) zu finden vor.

Die folgende Abbildung 24 stellt die Chromgehalte in den untersuchten Proben dar. Auch hier zeigen wiederum die Gruppe imprägniertes Holz und die Siebfraction ($d < 10$ mm) die höchsten Chromkonzentrationen, aber auch in anderen Stoffgruppen (u. a. „unbehandeltes“ (V1), lackiertes Vollholz (V2), Holzwerkstoff-kunststoffbeschichtet mit PVC (H6)) zeigen sich größere Chromgehalte (i. M. zwischen 20 und 36 mg/kg).

Auch im unbelasteten Holz aus einem Sägewerk sind Chromkonzentrationen i. M. von 5 mg/kg zu finden.

In den Outputproben deutet vor allem der Kupfer- und Chromgehalt daraufhin, daß in der Stoffgruppe „unbehandeltes“ Holz, trotz sehr genauer Sortierung, imprägnierte Holzteile zu finden sind. Andererseits ist festzustellen, daß lackierte Hölzer auch teilweise Holzschutzmittel enthalten.

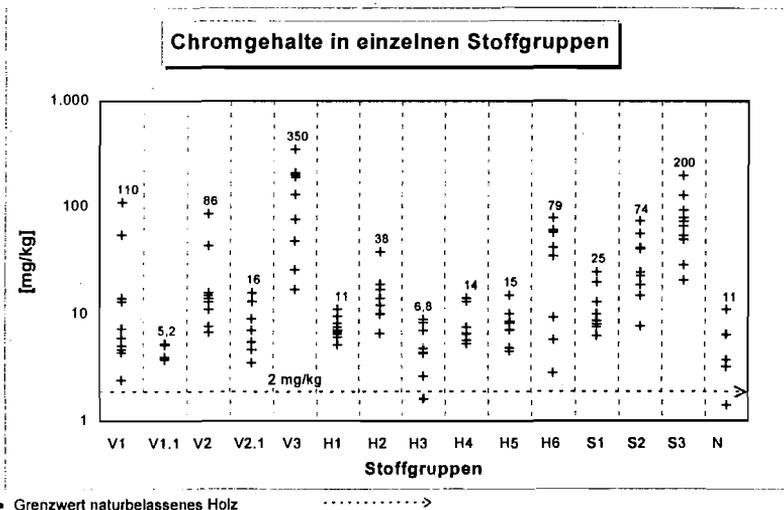
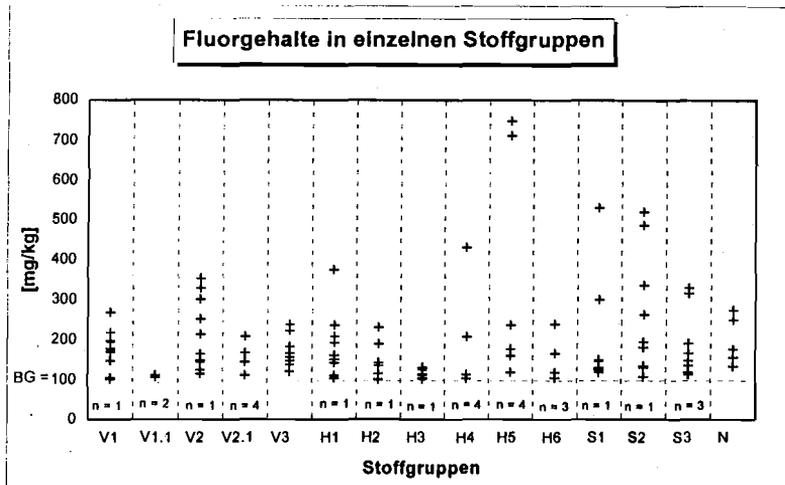


Abb. 24: Chromgehalte in den einzelnen aussortierten Stoffgruppen des Inputs



- hier konnte kein Richtwert für naturbelassenes Holz angegeben werden, da aufgrund von verschiedenen Aufschlußverfahren bei der Analytik, der vom LUA bestimmte Richtwert nicht mit den dargestellten Ergebnissen vergleichbar ist
- n: Proben unterhalb der Bestimmungsgrenze

Abb. 25: Fluorgehalte in den einzelnen aussortierten Stoffgruppen des Inputs

Die Abbildung 25 zeigt die Fluorgehalte in den Stoffgruppen. Die niedrigsten Fluorbelastungen zeigen u. a. die Stoffgruppen Fenster (V2.1), Holzwerkstoffe furnierbeschichtet (H3) und Holzwerkstoffe PVC-beschichtet (H6) mit im Mittel ca. 110 mg/kg. Demgegenüber liegen die Gehalte an Fluor in den Stoffgruppen, in denen lackierte Hölzer und Holzwerkstoffe (V2, H5) zusammengefaßt wurden, und einigen Siebfraktionen (S1, S2) im Mittel zwischen 200 und 250 mg/kg (Anhang E 9.2.2). Die ermittelten Fluorergebnisse sind wiederum nicht mit dem Richtwert des LUA für naturbelassenes Holz zu vergleichen, da unterschiedliche Aufschlußverfahren (Kap. 6.3.1) bei der Analytik verwandt wurden.

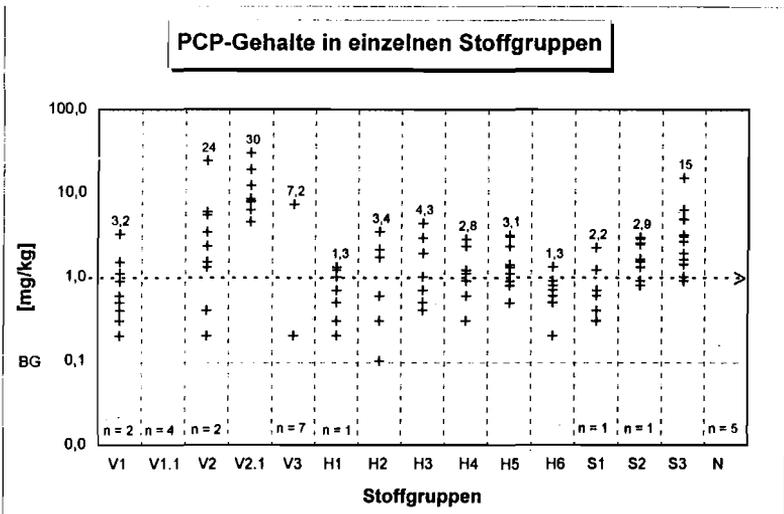
• Typische Belastungen durch organische Holzschutzmittel und Teeröle:

Die Lindankonzentration in den untersuchten Outputproben liegt fast immer im Bereich von naturbelassenem Holz (Kap. 6.3.2 ff). Anhand der Stoffgruppen des Inputs ist festzustellen, daß diese i. M. fast ausschließlich unterhalb der Bestimmungsgrenze (0,1 mg/kg) liegen. Geringfügig höhere Werte wurden in der Gruppe lackierte Vollhölzer (V2; i. M. 0,4 mg/kg) und Fenster (V2.1; i. M. 0,7 mg/kg) gemessen.

Die Abbildung 26 zeigt, daß in den lackierten Vollhölzern (V2) und der Stoffgruppe Fenster (V2.1) höhere Pentachlorphenolgehalte auftreten. Diese liegen im Mittel bei 4

mg/kg bzw. bei 12 mg/kg. Es ist zudem zu erkennen, daß die feine Siebfraction hohe PCP-Belastungen ausweist. Man kann auch feststellen, daß in der Gruppe „unbehandeltes Vollholz“ imprägnierte Holzteile mit erfaßt wurden, da der PCP-Gehalt in dieser Gruppe wesentlich höher ist als in der Gruppe der Sägewerkshölzer (alle Proben unterhalb der Nachweisgrenze).

In den aussortierten Stoffgruppen konnte Teeröl kaum nachgewiesen werden. Nur in den Siebfractionen sind etwas höhere PAK-Gehalte (nur Benzo(a)pyren), i. M. bis zu 1 mg/kg, zu finden.



- Grenzwert naturbelassenes Holz
- n=: unterhalb der Bestimmungsgrenze

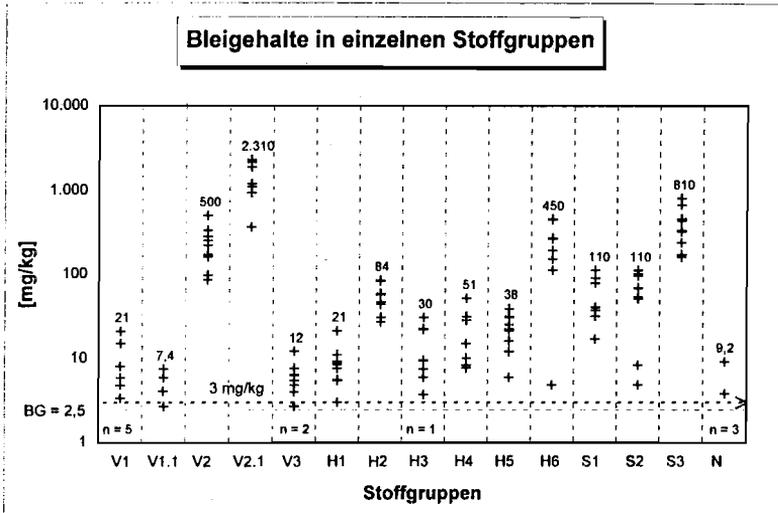
Abb. 26: PCP-Gehalte in den einzelnen aussortierten Stoffgruppen des Inputs

• **Typische Belastungen durch Farbpigmente:**

Im folgenden wird die Belastung der Stoffgruppen, die durch Farben hervorgerufen werden betrachtet. Dabei kann festgestellt werden, daß die Cadmiumkonzentrationen im Mittel zwischen 0,2 und 0,7 mg/kg liegen. Deutlich höhere Cadmiumgehalte (i. M. 16 mg/kg) zeigen hier Holzwerkstoffe mit PVC-Beschichtung (H6). Es ist zu vermuten, daß die Cadmiumbelastung hier durch Zusätze im PVC-Kunststoff verursacht wird.

Die Abbildung 27 zeigt die Bleigehalte in den Stoffgruppen. Dabei ist zu erkennen, daß Blei vor allem in lackierten Vollhölzern (V2; i. M 220 mg/kg), Fenstern (V2.1; i. M.

1.480 mg/kg), PVC-beschichteten Holzwerkstoffen (H6; i. M. 225 mg/kg) und der feinen Siebfraction (S3; i. M. 406 mg/kg) zu finden ist.



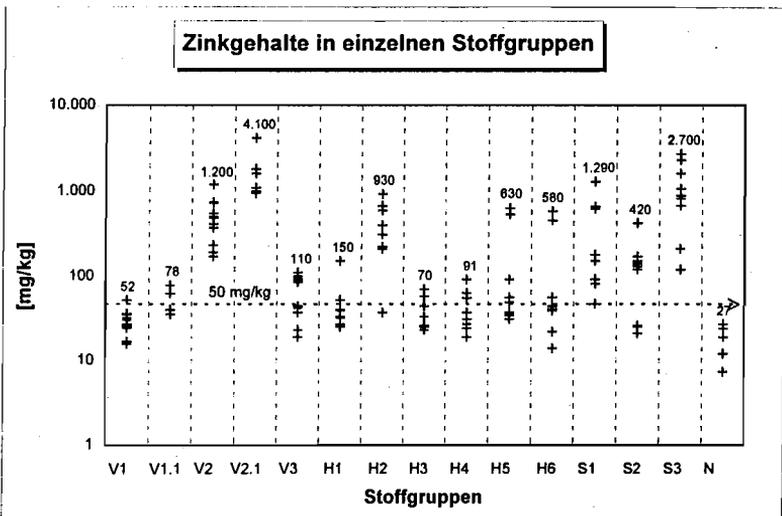
- Grenzwert naturbelassenes Holz →
- n=: unterhalb der Bestimmungsgrenze

Abb. 27: Bleigehalte in den einzelnen aussortierten Stoffgruppen des Inputs

Bei der Titankonzentration in den untersuchten Stoffgruppen fällt neben der Siebfraction (42 mg/kg) noch die Gruppe Fenster (i. M. 37 mg/kg) mit höheren Werten auf. Die Stoffgruppe lackierte Vollhölzer weist dagegen nur einen mittleren Titangehalt von 9,6 mg/kg auf. Demgegenüber sind in den Holzwerkstoffen Titangehalte von i. M. zwischen 9,5 bis 17,3 mg/kg nachgewiesen worden.

Bei den Zinkgehalten zeigt sich ein ähnliches Bild wie beim Blei (Abb.28).

Die Stoffgruppen, in denen lackierte Hölzer (V2, 2.1) und Holzwerkstoffe (H2) zusammengefaßt wurden, und die feine Siebfraction zeigen deutlich höhere Zinkkonzentrationen als die anderen. Darüber hinaus weisen auch die kunststoffbeschichteten Holzwerkstoffe durchgängig erhöhte Zinkbelastungen auf.



• Grenzwert naturbelassenes Holz

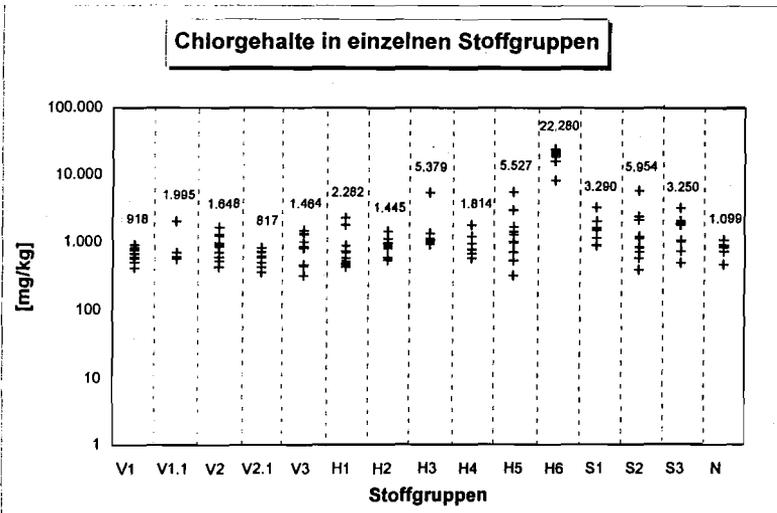
Abb. 28: Zinkgehalte in den einzelnen aussortierten Stoffgruppen des Inputs

• **Typische Belastungen durch Chlor (PVC-Beschichtungen)**

Anhand der Abbildung 29 kann man deutlich die Chlorbelastung aus PVC in der Stoffgruppe Holzwerkstoffe PVC-beschichtet mit einem Höchstwert von 22.280 mg/kg (i. M. 19.360 mg/kg) erkennen.

Bei anderen höher chlorbelasteten Stoffgruppen liegen die Konzentrationen im Mittel bei 1.600 mg/kg, dazu gehören: Holzwerkstoffe furnierbeschichtet (H3) oder lackiert (H5) sowie die Siebfraktionen (S1, S2). Die naturbelassenen Hölzer aus dem Sägewerk zeigen Chlorgehalte um 800 mg/kg.

In der folgenden Graphik konnte kein Richtwert für naturbelassenes Holz angegeben werden, da aufgrund von verschiedenen Aufschlußverfahren (Kap. 6.3.1) bei der Analytik, der vom LUA bestimmte Richtwert nicht mit den dargestellten Ergebnissen vergleichbar ist.



• hier konnte kein Richtwert für naturbelassenes Holz angegeben werden, da aufgrund von verschiedenen Aufschlußverfahren bei der Analytik, der vom LUA bestimmte Richtwert nicht mit den dargestellten Ergebnissen vergleichbar ist

Abb. 29: Chlorgehalte in den einzelnen aussortierten Stoffgruppen des Inputs

6.3.4 Zusammenfassende Betrachtung zur Belastung der untersuchten Holzproben

Nachfolgend wird anhand der durchgeführten Untersuchung dargestellt, aus welchen Stoffgruppen die größten Einträge an Verunreinigungen in den Output für die stoffliche oder energetische Verwertung stammen.

In der Tabelle 34 wird die Outputbelastung im Vergleich zu den vom LUA vorgeschlagenen Richtwerten und für die Schwermetalle und Chrom im Vergleich zu den Maximalwerten für konventionelle Regelbrennstoffe dargestellt. Liegen die Belastungen in den Proben des Output für die stoffliche Verwertung über dem Richtwert der Gruppe 1 (naturbelassenes Holz), werden vergleichbare Richtwerte für die energetische Verwertung herangezogen (Darstellung: vgl. Gruppe 2). Die bei der Sortierung angefallenen Siebdurchgänge werden als Feianteile bezeichnet.

Tab. 34: Darstellung der typischen Belastung der untersuchten Recyclinghackschnitzel und deren Herkunft aus aussortierten Stoffgruppen

anorganische Holzschutzmittel		durchschnittliche Belastung der Recyclinghackschnitzel		überwiegende Herkunft aus sortierten Stoffgruppen
		stoffliche Verwertung	energetische Verwertung	
Arsen	GF	Gruppe 1	Gruppe 2 (4)	<ul style="list-style-type: none"> • Vollholz imprägniert • Feianteile
	MF	Gruppe 1	Gruppe 2	
	FF	Gruppe 1	Gruppe 2	
Bor	GF	Gruppe 1	Gruppe 1	<ul style="list-style-type: none"> • Vollholz imprägniert • Feianteile
	MF	Gruppe 1	Gruppe 1	
	FF	Gruppe 1	Gruppe 1	
Chrom	GF	vgl. konv. Regelbr.	vgl. konv. Regelbr.	<ul style="list-style-type: none"> • Vollholz imprägniert • Feianteile • Vollholz „unbehandelt“ • Vollholz lackiert • Holzwerkstoff PVC-besch.
	MF	vgl. konv. Regelbr.	vgl. konv. Regelbr.	
	FF	überschritten	vgl. konv. Regelbr.	
Kupfer	GF	Gruppe 1	Gruppe 2	<ul style="list-style-type: none"> • Vollholz imprägniert • Feianteile • Vollholz „unbehandelt“ • Vollholz lackiert • Fenster
	MF	vgl. Gruppe 2	Gruppe 2	
	FF	vgl. Gruppe 2	Gruppe 4	
Quecksilber	GF	Gruppe 1	Gruppe 2	<ul style="list-style-type: none"> • Vollholz imprägniert • Feianteile • Vollholz lackiert • Fenster
	MF	Gruppe 1	Gruppe 2	
	FF	vgl. Gruppe 2	Gruppe 2	
Fluor	GF MF FF	keine vergleichbare Gruppe, da unterschiedliche Aufschlüsse bei der Analytik (Kap. 6.3.1)		
org. Holzschutzmittel und Teeröle				
Lindan	GF	Gruppe 1	Gruppe 1	<ul style="list-style-type: none"> • Vollholz lackiert • Fenster
	MF	Gruppe 1	Gruppe 1	
	FF	Gruppe 1	Gruppe 1	
PCP	GF	vgl. Gruppe 2	Gruppe 2	<ul style="list-style-type: none"> • Vollholz lackiert • Fenster • Feinfraktion
	MF	vgl. Gruppe 2	Gruppe 2	
	FF	vgl. Gruppe 2	Gruppe 2	
PAK als Benzo(a)pyren	GF	vgl. Gruppe 2	Gruppe 4	<ul style="list-style-type: none"> • Feinfraktion
	MF	vgl. Gruppe 2	Gruppe 4	
	FF	vgl. Gruppe 2	Gruppe 4	

		durchschnittliche Belastung der Recyclinghackschnitzel		überwiegende Herkunft
Farbpigmente		stoffliche Verwertung	energetische Verwertung	aus sortierten Stoffgruppen
Blei	GF	vgl. konv. Regelbr.	vgl. konv. Regelbr.	<ul style="list-style-type: none"> • Vollholz lackiert • Holzwerkstoff PVC-besch. • Feinanteile
	MF	vgl. konv. Regelbr.	vgl. konv. Regelbr.	
	FF	überschr.	überschr.	
Cadmium	GF	Gruppe 1	vgl. konv. Regelbr.	<ul style="list-style-type: none"> • Holzwerkstoff PVC-besch.
	MF	Gruppe 1	vgl. konv. Regelbr.	
	FF	vgl. konv. Regelbr.	vgl. konv. Regelbr.	
Titan	GF	kein Richtwert außer Gruppe 1		<ul style="list-style-type: none"> • Fenster • Feinanteile
	MF			
	FF			
Zink	GF	vgl. konv. Regelbr.	vgl. konv. Regelbr.	<ul style="list-style-type: none"> • Vollholz lackiert • Fenster • Holzwerkstoffe • Feinanteile
	MF	vgl. konv. Regelbr.	überschr.	
	FF	überschr.	überschr.	
Beschichtungen				
Chlor	GF	keine vergleichbare Gruppe, da unterschiedliche Aufschlüsse bei der Analytik (Kap. 6.3.1)		
	MF			
	FF			

- Gruppe 1: Feuerung nach 1. BImSchV, Maximalwert für naturbelassenes Holz
- Gruppe 2: Feuerung nach 4. BImSchV Nr. 1.2, Holz und -werks-gestrichen, lackiert, beschichtet, ohne HSM
- Gruppe 4: Feuerung nach 17. BImSchV, mit HSM behandeltes Holz
- Liegen die Belastungen in den Proben des Output für die stoffliche Verwertung über dem Richtwert der Gruppe 1 (naturbelassenes Holz), werden vergleichbare Richtwerte für die energetische Verwertung herangezogen (Darstellung: vgl. Gruppe 2).
- vgl. konv. Regelbr.: vergleichbar Maximalwert für konventionelle Regelbrennstoffe für Feuerungen nach der 4. BImSchV Nr. 1.2

Zusammenfassend ist aus den dargestellten Untersuchungsergebnissen abzuleiten, daß die untersuchten Outputchargen der Holzaufbereitungsanlagen die Richtwerte des LUA für die stoffliche Verwertung (Gruppe1) nicht einhalten können. Läßt man die Werte für Chlor und Fluor wegen der unterschiedlichen Aufschlußverfahren bei der Analytik (Kap. 6.3.1) zunächst außer Betracht, so kann festgestellt werden, daß die Outputchargen für die stoffliche Verwertung im Bereich der Gruppe 2 der LUA-Richtwerte liegen.

Bei den Recyclinghackschnitzeln, die für die energetische Verwertung aufbereitet wurden, konnten abgesehen von den Chlor- und Fluorkonzentrationen bei den Para-

metern Arsen, Kupfer, PAK und Zink Überschreitungen der Richtwerte der Gruppen 2/3 festgestellt werden.

Unabhängig, ob es sich um Recyclinghackschnitzel für die stoffliche oder energetische Verwertung handelt, weist die Feinfraktion i. d. R. die höchste Belastung auf. Dies zeigt sich vor allem bei den für Farbpigmente typischen Parametern. Es ist davon auszugehen, daß sich der größte Teil, der in den Anlagen abgetrennten Farbpartikel in der Feinfraktion aufkonzentriert.

Anhand der Untersuchungsergebnisse der Stoffgruppen konnte zudem festgestellt werden, daß eine Aussortierung von bestimmten Holzfraktionen, z. B. unbehandelte Hölzer, lackierte Hölzer ohne Holzschutzmittel aus Mischholz, manuell optisch nicht möglich ist. Denn in den Proben der Stoffgruppe „unbehandeltes“ Holz (V1) hat sich gezeigt, daß auch Parameter für anorganische und organische Holzschutzmittel nachzuweisen waren. Daraus ist zu schließen, daß auch Hölzer, die optisch keine Behandlung vermuten lassen, holzschutzmittelbehandelt sein können. Auch bei der Analytik der lackierten Hölzer konnte festgestellt werden, daß diese häufig Holzschutzmittel enthalten.

Bei der Untersuchung haben sich im Hinblick auf die vorgeschlagenen Richtwerte des LUA bei dem Parameter Chrom (Gruppe 1) Zweifel ergeben.

Der vorgeschlagene Grenzwert für naturbelassenes Holz liegt bei 2 mg/kg. Bei der Untersuchung der Stoffgruppe Frischholz aus einem Sägewerk (N) haben sich Chromgehalte im Mittel von 5 mg/kg ergeben. In anderen Untersuchungen (BOCKELMANN, 1996) werden Chromgehalte bei Frischholz von < 1 mg/kg genannt. Auf der Grundlage einer größeren Anzahl von Analysenwerten sollte die Streuung des Chromgehaltes in Frischhölzern nochmals überprüft werden.

Für die Bestimmung von Richtwerten für die Elemente Chlor und Fluor, deren Konzentrationen in dieser Untersuchung mit Hilfe der Wickbold-Verbrennung, die in der Abfallwirtschaft als das gängige Aufschlußverfahren gilt, bestimmt wurden, im Gegensatz zu den Gehalten in den Proben, die als Grundlagendaten für die Festlegung der Richtwerte (Aufschluß mit Schöniger-Verbrennung, veraltet) verwandt wurden, sollte nochmals eine größere Holzprobenmenge auf die Parameter Chlor und Fluor mit Hilfe der gängigen Wickbold-Verbrennung analysiert werden. Aus den dabei gewonnenen Erkenntnissen sollten gesicherte Richtwerte für die Elemente Chlor und Fluor unter Angabe des zu verwendenden Aufschlußverfahrens bei der Analytik festgelegt werden.

7 Untersuchungen zur Klärschlamm-Recyclingholz-Kompostierung

7.1 Darstellung der Untersuchung

Ziel der Untersuchung war es, die Auswirkungen des Einsatzes von Recyclingholz, das für die stoffliche Verwertung (naturbelassenes Holz) vorgesehen ist und als Strukturmaterial bei der Kompostierung mit Klärschlamm eingesetzt wird, hinsichtlich der Entwicklung und Verlagerung von Verunreinigungen sowie des Kompostierungsverlaufs zu untersuchen. Es sollten hierbei keine „worst-case-Bedingungen“ simuliert, sondern der Einsatz üblicherweise in den Kompostierungsanlagen eingesetzter Gebrauchthölzer untersucht werden.

Bei den Versuchen wurden zwei unterschiedliche Fraktionen der Recyclingholzaufbereitung, zum einen Holzspäne (feines (0-10 mm) i. d. R. höher belastetes Recyclingholz) und zum anderen Hackschnitzel (grobes (10-60 mm) i. d. R. geringer belastetes Recyclingholz) eingesetzt werden.

Die Beschreibung der Versuchseinrichtung, der Probenahme sowie der Analysenparameter ist dem Anhang G zu entnehmen.

Für die Versuche standen zwei Bioreaktoren (Beschreibung im Anhang) zur Verfügung, die je ein- bzw. zweimal mit unterschiedlichen Mischungsverhältnissen und z. T. verschiedenen Materialien befüllt wurden. Hieraus ergeben sich drei Versuchsansätze, die in der Tabelle 35 kurz dargestellt sind.

Tab. 35: Darstellung des Untersuchungsprogramms

Versuchsansatz	Mischungsverhältnis KS : RH	Belüftungsrate	Manteltemperierung	Korngröße RH
I Reaktor I	60% : 40%	8 l/min 0,25 h an, 1,75 h aus	nach Kerntemperatur	10-60 mm
II Reaktor II	60% : 40%	8 l/min 0,25 h an, 1,75 h aus	nach Kerntemperatur	0-10 mm
III Reaktor I	50% : 50%	8 l/min 0,25 h an, 1,75 h aus	nach Kerntemperatur	0-10 mm

KS: Klärschlamm
RH: Recyclingholz

Der Versuchsansatz III wurde nach Abschluß des Versuchsansatzes I begonnen. Die in der Tabelle angegebenen Mischungsverhältnisse des Rotteguts sind mit den in der Praxis bei der Reaktorkompostierung eingesetzten Anteilen vergleichbar.

Untersuchungen von GALLENKEMPER et al. (1995) zur Klärschlammkompostierung haben gezeigt, daß eine Belüftungsrate, wie in genannter Tabelle angegeben, optimale Randbedingungen für den Kompostierungsprozeß von Klärschlamm und Sägemehl aufweist. Die Belüftungsrate von 8 l/min entspricht, bezogen auf die Dauer der Belüftung (0,25 h an, 1,75 h aus), einer Belüftungsrate von 60 l/h.

Zur Minimierung von Wärmeverlusten sind die für die Kompostierungsversuche genutzten Reaktoren mit Heizdrähten und einer Isolierung ausgestattet. Die Manteltemperatur des Bioreaktors wurde nach der Kerntemperatur geregelt und betrug i. d. R. ca. 2°C weniger als die Kerntemperatur.

Als Ausgangsmaterial für die Kompostierung wurde ein Klärschlamm aus einer kommunalen Abwasserreinigungsanlage ausgewählt, der sich aus Primär- und Überschußschlamm zusammensetzte. Dieses Gemisch wurde in zwei in Reihe geschalteten Faultürmen für ca. 30-40 Tage ausgefault. Nach Abschluß der anaeroben Stabilisierung wurde der Schlamm unter Zugabe eines Flockungsmittels mit Hilfe einer Zentrifuge entwässert. Nach der Behandlung besitzt der Faulschlamm i. d. R einen TS-Gehalt von ca. 22 bis 35 %, bei den in den Versuchen eingesetzten Klärschlamm lag er bei 33,5 bzw. 35,1%, d.h. im oberen Bereich. Aufgrund erhöhter AOX-Gehalte wird der Faulschlamm derzeit deponiert. Da in den Holzanteilen keine AOX-Belastungen aufgetreten sind, bleibt der AOX-Gehalt in der weiteren Betrachtung unberücksichtigt.

Die Untersuchung der für die Versuche eingesetzten Klärschlamm zeigt die in der Tabelle 36 dargestellten Ergebnisse (Eluat und Feststoff). Diese sind den Klärschlammgrenzwerten gegenübergestellt.

Tab. 36: Kenndaten der eingesetzten Klärschlämme

Parameter	Einheit	Klärschlamm 1 I. + II. Ansatz	Klärschlamm 2 III. Ansatz	Klärschlamm KVO-KS
Feststoff				
Wassergehalt	%FS	66,5	64,9	-
Glühverlust	% TS	52,6	54,7	-
pH-Wert	-	8,05	7,72	-
TOC	g/kg	236	253	-
N-Ges	g/kg	31,3	31,4	-
C/N-Verhältnis		7,5	8,1	-
PAK nach EPA	mg/kg	n.n	-	-
Fluor	mg/kg	<100	-	-
Chlor	mg/kg	300	-	-
Blei	mg/kg	110	210	900
Cadmium	mg/kg	1,2	0,9	10 (5)*
Chrom	mg/kg	56	92	900
Kupfer	mg/kg	440	520	800
Nickel	mg/kg	23	38	200
Quecksilber	mg/kg	0,5	0,6	8
Zink	mg/kg	1300	1500	2500 (2000)*
Eluat				
Blei	µg/l	<3	<3	-
Cadmium	µg/l	<0,6	<0,6	-
Chrom	µg/l	<4	8	-
Kupfer	µg/l	340	140	-
Nickel	µg/l	82	120	-
Quecksilber	µg/l	<5	<5	-
Zink	µg/l	110	<50	-
Chlorid	mg/l	49	-	-
Fluorid	mg/l	0,20	-	-

KVO-KS: Grenzwerte für Klärschlamm nach der Klärschlammverordnung

n.n.: nicht nachweisbar

* gilt für leichte Böden, pH 5-6

Als Zuschlagstoff für die Kompostierungsversuche wurden zwei unterschiedlich belastete Fraktionen Recyclingholz aus der stofflichen Verwertung und zwar Holzspäne (0 bis 10 mm) und Hackschnitzel (10 bis 60 mm) in den insgesamt drei Versuchsansätzen eingesetzt. Die Kenndaten des Recyclingholzes sind der Tabelle 37 zu entnehmen.

Tab. 37: Kenndaten des Recyclingholzes (Zuschlagstoff)

Parameter	Einheit	Recycling- holz 0-10mm I. Ansatz	Recycling- holz 10-60mm II. Ansatz	Recycling- holz 0-10mm III. Ansatz
Feststoff				
Wassergehalt	%FS	6,8	7,7	7,42
Glühverlust	% TS	99,2	99	99,3
TOC	g/kg	451	443	453
N-Ges	g/kg	3,5	1,9	4,4
C/N-Verhältnis		129	233	103
PAK nach EPA	mg/kg	8,34	-	-
Fluor	mg/kg	400	-	-
Chlor	mg/kg	200	-	-
Blei	mg/kg	60	68	95
Cadmium	mg/kg	0,36	0,29	0,3
Chrom	mg/kg	16	20	19
Kupfer	mg/kg	9	2,9	4
Nickel	mg/kg	1,1	<6	4
Quecksilber	mg/kg	<0,2	<0,2	<0,2
Zink	mg/kg	210	88	150
Eluat				
Blei	µg/l	68	72	150
Cadmium	µg/l	2,0	1,2	1,5
Chrom	µg/l	34	90	86
Kupfer	µg/l	60	<50	90
Nickel	µg/l	<6	<6	<6
Quecksilber	µg/l	<5	<5	<5
Zink	µg/l	1500	620	600
Fluorid	mg/l	1,65	-	-
Chlorid	mg/l	22	-	-

Eine Vergleichbarkeit der in der obigen Tabelle dargestellten Analyseergebnisse für Recyclingholz mit den anderen im Rahmen dieses Forschungsvorhabens durchgeführten Analysen für Altholz ist nicht direkt gegeben. Da das Recyclingholz für die Klärschlammkompostierung eingesetzt wurde und die Analysenvorschrift für Klärschlamm bzw. Klärschlamm-Gemische einen Königwasserauflösung (KöWa) vorschreibt, weisen diese Recyclingholzanalysen geringere Werte auf als die anderen Altholzanalysen, die gemäß der Analysenvorschrift mit Salpetersäure aufgeschlossen wurden.

Im Rahmen der Versuche wurden folgende Meßgrößen erfaßt:

- Temperaturverlauf während der Rotte
- Temperaturprofil der Manteltemperatur
- Belüftungsmenge/-verlauf während der Rotte
- Respirationskoeffizient (CO_2/O_2 -Verhältnis)
- verschiedene Parameter zur Beurteilung der Rotte und der Qualität der eingesetzten Materialien

Das Rottegut wurde in regelmäßigen Abständen (z. T. in Abhängigkeit vom Temperaturverlauf) umgesetzt. Dabei wurde, falls erforderlich, ein optimaler Wassergehalt eingestellt.

7.2 Darstellung und Bewertung der Untersuchungsergebnisse

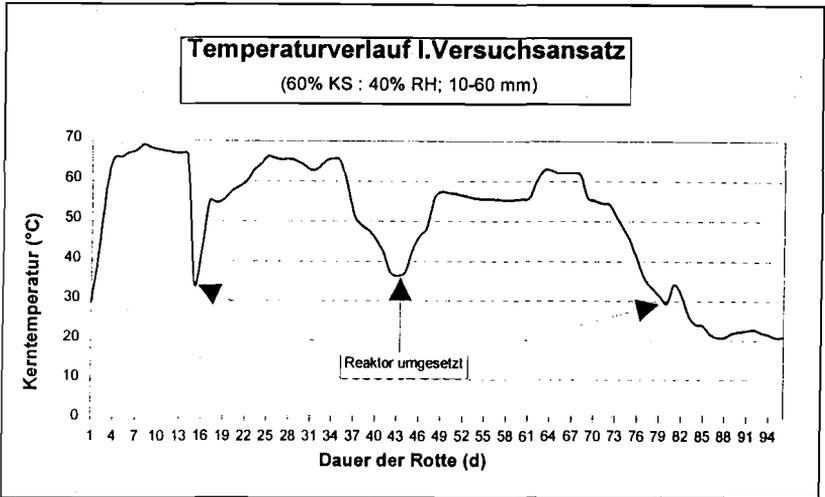
Im folgenden wird zunächst der Kompostierungsprozeß für die drei Versuchsansätze kurz dargestellt.

Im weiteren werden die ermittelten Daten für den Grad der Verunreinigung in den Ausgangsmaterialien Holz und Klärschlamm sowie in den Input- und Output-Mischungen dargestellt und die beiden letztgenannten mit den Grenzwerten der Klärschlammverordnung (s. Kapitel 3.4.1.3.2) verglichen.

7.2.1 Darstellung des Kompostierungsprozesses

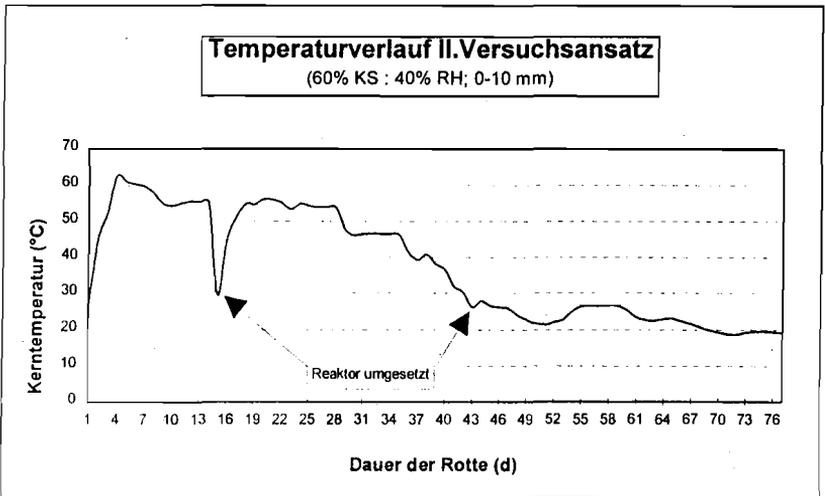
Der Kompostierungsprozeß wird im folgenden anhand des Temperaturverlaufs während der Rotte dargestellt. Dabei zeigten die drei Versuchsansätze z. T. unterschiedliche Entwicklungen (Abb. 30).

Der Temperaturverlauf des I. Versuchsansatzes zeigt einen Anstieg der Temperatur auf ca. 65°C über ca. 10 Tage. Die erste Umsetzung erfolgte nach 15 Tagen. Dabei sank die Temperatur zunächst auf 30°C ab, stieg anschließend wieder auf über 60°C und hielt diese Temperatur wieder ca. 15 Tage. Nach dem Absinken der Temperatur auf 35°C fand die zweite Umsetzung statt. Durch diesen Umsetzungsvorgang wurde ein erneutes Ansteigen der Temperatur auf über 55°C für eine Dauer von 25 Tagen bewirkt. Nach dem dritten Umsetzungsvorgang nach 80 Tagen konnte kein weiteres Ansteigen der Temperatur festgestellt werden, so daß man davon ausgehen kann, daß der Rotteprozeß weitgehend abgeschlossen ist. Der Versuch wurde nach 96 Tagen beendet.



Erläuterung der Abkürzungen:
KS: Klärschlamm
RH: Recyclingholz, Hackschnitzel 10-60 mm

Abb. 30: Temperaturverlauf I. Versuchsansatz



Erläuterung der Abkürzungen:
KS: Klärschlamm
RH: Recyclingholz, Holzspäne 0-10 mm

Abb. 31: Temperaturverlauf II. Versuchsansatz

Der Temperaturverlauf des II.Versuchsansatzes ist mit dem des I.Versuchsansatzes bis zum zweiten Umsetzungsvorgang vergleichbar. Lediglich die Temperaturhöhe liegt beim II.Versuchsansatz ca. 10°C niedriger. Nach dem zweiten Umsetzungsvorgang ist kein weiteres Ansteigen der Temperaturkurve zu verzeichnen. Dies bedeutet, daß der Rotteprozeß nach ca. 40 Tagen weitgehend abgeschlossen war. Die im Vergleich zum I.Versuchsansatz niedrigere Temperatur und der schnellere Rotteprozeß sind im wesentlichen auf die kleineren, besser abbaubaren Holzspäne (0-10mm) im Vergleich zu den größeren Hackschnitzeln (10-60mm) zurückzuführen.

Der Temperaturverlauf des III.Versuchsansatzes zeigt einen ähnlichen Verlauf wie der des I. und II.Versuchsansatzes.

Die Belüftungsmenge und der -verlauf ist bei den drei Versuchsansätzen vergleichbar, d.h., daß eine kontinuierliche gleichbleibende Belüftung der Reaktoren stattgefunden hat.

Die punktuellen Messungen des Respirationskoeffizienten (CO_2/O_2 -Verhältnis) zeigten Werte < 1 , so daß davon ausgegangen werden kann, daß eine ausreichende Belüftung des Materials (keine anaeroben Verhältnisse) gewährleistet war.

7.2.2 Darstellung und Bewertung der Verunreinigungen im Klärschlamm-Recyclingholz-Kompost

Die Meßergebnisse der drei Versuchsansätze sind der folgenden Tabelle 37 zu entnehmen. Dabei ergibt sich die Skala der analysierten Parameter im wesentlichen aus der Vorgabe der Klärschlammverordnung. Ergänzend hierzu wurden die Eluatgehalte sowie einige für Rotteprozesse typische Parameter analysiert. Beim II.Versuchsansatz wurden zusätzlich zur Abschätzung der Entwicklung einzelner für Holz typische Parameter (PAK sowie Chlor und Fluor im Feststoff und Eluat) gemessen.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, daß die Schwermetallbelastungen im Feststoff des Recyclingholzes geringer sind als im Klärschlamm. Dies gilt für die Eluatgehalte jedoch häufig nicht. Hier zeigt sich bei den Parametern Blei, Chrom und Zink eine gegenläufige Tendenz.

Die Schwermetallgehalte im Input-Material entsprechen ungefähr den Gehalten im Klärschlamm.

		I. Versuchsansatz 60 % KS, 40 % RH (10 bis 60 mm)				II. Versuchsansatz 60 % KS (wie I. Versuchsansatz), 40 % RH (0 bis 10 mm)				III. Versuchsansatz 50 % KS, 50 % RH (0 bis 10 mm)			
Parameter	Einheit	RH	KS	Input	Output	RH	KS	Input	Output	RH	KS	Input	Output
Feststoff													
Wassergehalt	%FS	7,7	66,5	50,2	53,6	6,8	66,5	54,9	64,3	7,4	64,9	53,4	51,6
Glühverlust	%TS	99	52,6	70,5	66,7	99,2	52,6	69,3	65,7	99,3	54,7	71,7	72,8
TOC	g/kg	443	236	271	276	451	236	289	279	453	253	338	357
N-Ges	g/kg	1,9	31,3	25,7	18,5	3,5	31,3	25,5	10,9	4,4	31,4	18,5	19,1
C/N-Verhältnis		233	7,5	10,5	14,9	129	7,5	10,5	25,6	103	8,1	18,3	18,7
PAK (EPA)	mg/kg	-	-	-	-	8,34	n.n	2,77	n.n	-	-	-	-
Fluor	mg/kg	-	-	-	-	400	<100	<100	<100	-	-	-	-
Chlor	mg/kg	-	-	-	-	200	300	300	300	-	-	-	-
Blei	mg/kg	68	110	100	120	60	110	100	91	95	210	180	160
Cadmium	mg/kg	0,3	1,2	1	1	0,4	1,2	1	1	0,3	0,9	0,9	0,7
Chrom ges.	mg/kg	20	56	48	60	16	56	45	65	19	92	78	73
Kupfer	mg/kg	2,9	440	380	350	9	440	350	320	4	520	310	310
Nickel	mg/kg	2	23	17	23	1	23	15	23	4	38	24	20
Quecksilber	mg/kg	<0,2	0,5	0,3	0,5	<0,2	0,5	0,3	0,3	<0,2	0,6	0,5	-
Zink	mg/kg	88	1300	1100	880	210	1300	1300	890	150	1500	1000	1000
Eluat													
Fluorid	mg/l	-	-	-	-	1,65	0,2	0,21	0,12	-	-	-	-
Chlorid	mg/l	-	-	-	-	22	49	44	55	-	-	-	-
Blei	mg/l	0,072	<0,003	<0,003	<0,003	0,068	<0,003	<0,003	<0,003	0,15	<0,003	<0,003	<0,003
Cadmium	mg/l	0,0012	<0,0006	<0,0006	<0,0006	0,002	<0,0006	<0,0006	<0,0006	0,0015	<0,0006	<0,0006	<0,0006
Chrom ges.	mg/l	0,09	<0,004	<0,004	<0,004	0,034	<0,004	<0,004	<0,004	0,086	0,008	0,012	0,007
Kupfer	mg/l	<0,05	0,34	0,16	0,23	0,06	0,34	0,18	0,18	0,09	0,14	0,15	0,4
Nickel	mg/l	<0,006	0,082	0,053	0,023	<0,006	0,082	0,063	0,027	<0,006	0,12	0,078	0,033
Quecksilber	mg/l	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Zink	mg/l	0,62	0,11	0,11	0,1	1,5	0,11	0,11	0,16	0,6	<0,05	0,15	0,12

RH: Recyclingholz

KS: Klärschlamm

n.n: nicht nachweisbar

Tab. 38: Untersuchungsergebnisse der drei Versuchsansätze

Die bessere Löslichkeit der Parameter Blei, Cadmium, Chrom und Zink beim Recyclingholz konnte beim Input-Gemisch mit Ausnahme von Zink beim III.Versuchsansatz nicht festgestellt werden. D. h., daß durch die Zugabe von Recyclingholz keine negativen Auswirkungen auf die Qualität des Input-Materials nachgewiesen werden konnten.

Der Vergleich der Input- und Output-Werte zeigt lediglich eine unwesentliche Veränderung bei den Schwermetallgehalten. Beim I. und III.Versuchsansatz ist ein Anstieg der Kupfergehalte im Eluat zu verzeichnen, wobei jedoch zu berücksichtigen ist, daß die Belastungen durch Kupfer vom Klärschlamm und nicht vom Recyclingholz herühren.

Auch die Parameter, die sich bei der Untersuchung von Recyclingholz als kritisch herausgestellt haben (Chlor, Fluor und Chrom), erweisen sich bei den vorliegenden Ergebnissen nicht als nachteilig. I. d. R. ist der Einfluß gegenüber den Belastungen aus dem Klärschlamm zu vernachlässigen.

Die Stickstoffgehalte (N_{Ges}) nehmen beim I. und II. Versuchsansatz im Vergleich zum Glühverlust überproportional ab. Diese Abnahme könnte insbesondere vor dem Hintergrund der hohen Temperaturen auf ein Ausstrippen des Stickstoffs als Ammoniak zurückgeführt werden. Bei der geringen Abnahme der TOC-Gehalte ist folglich ein Anstieg des C/N-Verhältnisses im Gegensatz zu einem typischen Rotteverlauf (Abnahme des C/N-Verhältnisses) zu verzeichnen.

Im Rahmen der Kompostierung von Klärschlamm mit Recyclingholz ergab sich kein Hinweis auf eine Verschlechterung des Input-Materials oder auf eine Veränderung des Löslichkeitsverhaltens, die auf die Zugabe von Recyclingholz zurückgeführt werden kann.

Vergleich mit Richtwerten

Sämtliche Schwermetallgehalte im Feststoff der untersuchten Klärschlamm-Recyclingholz-Komposte unterschreiten die Klärschlammkompostrichtwerte der Klärschlammverordnung. Beispielhaft ist in der folgenden Abbildung der Parameter Kupfer dargestellt.

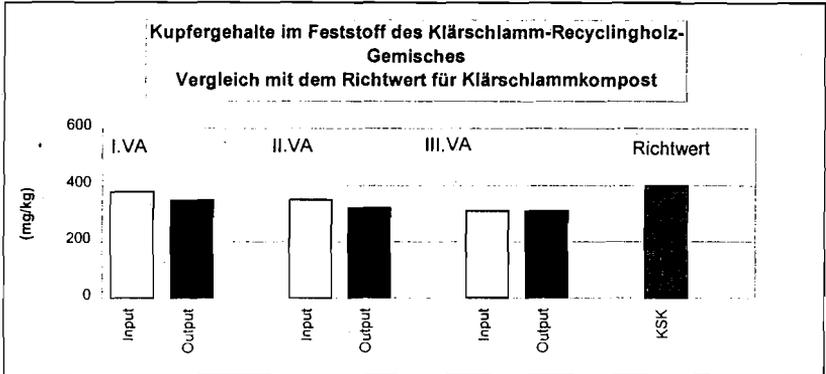


Abb. 32: Kupfergehalte im Feststoff des Klärschlamm-Recyclingholz-Gemisches im Vergleich zu dem Richtwert für Klärschlammkompost

7.3 Zusammenfassung der Ergebnisse der Klärschlamm-Recyclingholz-Kompostierung

Im Rahmen der Kompostierungsversuche wurden die Auswirkungen des Einsatzes von Recyclingholz aus der stofflichen Verwertung als Strukturmaterial bei der Kompostierung mit Klärschlamm hinsichtlich der Entwicklung und Verlagerung von Verunreinigungen sowie des Kompostierungsverlaufs untersucht. Bei den Versuchen wurden zwei unterschiedliche Fraktionen der Recyclingholzaufbereitung, zum einen Holzspäne (feines (0-10mm) Recyclingholz) und zum anderen Hackschnitzel (grobes (0-60mm) Recyclingholz) eingesetzt, die für den Einsatz bei der Klärschlammkompostierung hergestellt worden sind.

Die Kompostierungsversuche wurden in regelbaren (Belüftung und Temperierung) Edelstahlreaktoren durchgeführt.

Die im Rahmen der Untersuchung gewonnenen Analysedaten der Materialien wurden dargestellt, und im Feststoff mit den Anforderungen der Klärschlammverordnung (Grenzwert Klärschlammkompost) verglichen und bewertet.

Die Beurteilung der Analysedaten und der Verwertungsmöglichkeiten führt zu den folgenden Schlußfolgerungen:

Durch die Zugabe von Recyclingholz bei der Klärschlammkompostierung konnte weder eine Verschlechterung beim Input-Material noch eine wesentliche Veränderung des Löslichkeitsverhaltens beim Output-Material festgestellt werden.

Kritisch ist an dieser Stelle lediglich anzumerken, daß eine Verwertung von Recyclingholz bei der Klärschlammkompostierung eine gleichbleibende Qualität des eingesetzten Holzes voraussetzt. Die Ergebnisse in Kapitel 6 haben gezeigt, daß die Sicherung einer gleichmäßigen Qualität des Holzes sehr schwierig ist (vgl. Kap. 9).

8 Verunreinigungen von Holzaschen und Konsequenzen für deren Entsorgung

8.1 Allgemeines

Bei der energetischen Verwertung von Gebraucht- und Restholz in Holzfeuerungsanlagen verbleiben Rückstände in Form von Schlacken, Brennkammeraschen und Filterstäuben. Je nach eingesetztem Brennmaterial entstehen verschiedene spezifische Holzaschemengen. Die folgende Tabelle 39 zeigt den Aschegehalt von verschiedenen Holzsortimenten und Holzwerkstoffen.

Tab. 39: Übersicht über den Aschegehalt von Holz, Rinde und Holzwerkstoffen (POHLANDT, 1995)

Brennstoff	Aschegehalt [%]
Holz ohne Rinde	0,2 - 1
Rinde, rein	3 - 4
Rinde, verschmutzt	5 - 15
Holzwerkstoffe	0,5 - 3
Holzwerkstoffe, beschichtet	1 - 3
Holz, imprägniert (organisch)	0,5 - 2
Holz, imprägniert (anorganisch)	2 - 5
Gebrauchtholz	0,5 - 10

Bei der Verbrennung von naturbelassenen Holzresten ist mit einem Ascheanfall von 0,2 - 1 % zu rechnen. Spanplatten oder sonstige beschichtete Holzwerkstoffe liefern 0,5 - 3 % Asche. Bei der Verbrennung von Rinden und Gebrauchthölzern ist i. d. R. ein Ascheanteil von bis zu 15 % zu erwarten.

Bei den meisten Feuerungen fallen an zwei Stellen Verbrennungsrückstände an. Das sind zum einen die Rostaschen aus dem Feuerungsraum und zum anderen die Flugstäube aus dem nachgeschalteten Abscheider (Zyklon, Elektrofilter). Bei einigen Feuerungsanlagen wird die Rostasche durch ein Wasserbad geführt (Naßentaschung), um Glutnester zu löschen.

Für die Entsorgung der Holzaschen ist der Grad der Verunreinigung ausschlaggebend. Im folgenden werden zunächst Verunreinigungen in den Aschen dargestellt, um einen groben Überblick über die Belastung zu bekommen.

8.2 Verunreinigungen von Holzaschen

In einer umfangreichen Studie am Wilhelm-Klauditz-Institut wurden die Belastungen von verschiedenen Holzaschen ermittelt (POHLANDT, 1994). Die Ergebnisse werden im folgenden kurz dargestellt, eigene Untersuchungen wurden nicht durchgeführt.

Holzaschen setzen sich aus unverbranntem Kohlenstoff, dessen Anteil sich nach der Verbrennungsgüte richtet, mineralischen Bestandteilen des Holzes und den Resten der Nicht-Holzbestandteile zusammen. Die Hauptbestandteile von Holzaschen, unabhängig von der Herkunft des Holzes sind Kalzium, Eisen, Kalium, Magnesium, Mangan, Natrium und Phosphor. Im folgenden werden die Belastungen von Frischholzaschen (in der Quelle als reine Holzaschen bezeichnet) und Rest- und Gebrauchtholzaschen (in der Quelle als Restholzaschen bezeichnet) dargestellt.

Rest- und Gebrauchtholzaschen können zusätzlich Belastungen durch im Holz enthaltene Fremdstoffe aufweisen. Frischholzaschen weisen vor allem bei Chlor, Chrom, Blei, Kupfer und Zink wesentlich geringere Konzentrationen auf (Tab. 40).

Tab. 40: Chlor-, Fluor- und Schwermetallgehalte in Frischholzaschen und Rest- und Gebrauchtholzaschen (POHLANDT, 1996)

Element	Gehalt (bezogen auf trockene Asche)	Frischholz- aschen	Rest- und Ge- brauchtholz- aschen
Chlor	mg/kg	33 - 4.510	< 10 - 13.800
Fluor	mg/kg	1 - 530	< 2 - 564
Arsen	mg/kg	< 1 - 35	< 2 - 60
Cadmium	mg/kg	< 1 - 20	< 5 - 17
Chrom	mg/kg	< 10 - 592	16 - 8100
Kupfer	mg/kg	99 - 498	43 - 1.450
Nickel	mg/kg	20 - 250	18 - 235
Blei	mg/kg	9 - 450	49 - 7.300
Zink	mg/kg	54 - 1900	16 - 6.200

Der Grund für den teilweise sehr hohen Chlorgehalt der Rest- und Gebrauchtholzaschen kann darin begründet sein, daß chloridhaltige Holzwerkstoffe oder PVC-beschichtete Spanplatten in den Feuerungen mitverbrannt wurden. Erhöhte Schwermetallgehalte an Blei, Zink und Chrom können durch Beschichtungen und Lacke verursacht worden sein (POHLANDT, 1996).

Die Gehalte der übrigen Elemente (Fluor, Arsen, Cadmium und Nickel) liegen im Bereich derjenigen von Frischholzaschen.

Wird z. B. bei den Rest- und Gebrauchtholzaschen zwischen Schlacken, Brennkammeraschen und Filterstäube unterschieden, ist zu erkennen, daß Elemente wie z. B. Chlor und Fluor bzw. deren Verbindungen sich in den Filterstäuben anreichern (Tab. 41). Das gleiche gilt auch für Blei und Zink.

Tab. 41: Chlor-, Fluor-, und Schwermetallgehalte in Rest- und Gebrauchtholzaschen in Abhängigkeit vom Anfallort der Asche in den Feuerungen (POHLANDT, 1996)

Element	Gehalt (bezogen auf trockene Asche)	Schlacken	Brennkammer- aschen	Filterstäube
Chlor	mg/kg	< 10 - 113	< 10 - 14.900	38 - 138.000
Fluor	mg/kg	< 2 - 9	7 - 288	25 - 564
Arsen	mg/kg	< 2	< 2 - 47	< 2 - 60
Cadmium	mg/kg	n. b.	< 5	< 5 - 17
Chrom	mg/kg	26 - 38	16 - 795	17 - 810
Kupfer	mg/kg	146 - 1.280	43 - 605	55 - 1.450
Nickel	mg/kg	n. b.	18 - 235	27 - 235
Blei	mg/kg	n. b.	49 - 1.280	134 - 7.300
Zink	mg/kg	16 - 133	91 - 1.810	109 - 6.200

8.3 Ablagerung von Holzaschen

Im folgenden werden Untersuchungsergebnisse des WKI (POHLANDT, 1994), Ergebnisse von Holzascheeluatuntersuchungen aus der Abfallanalysedatei des Landesumweltamtes NRW (LUA, 1996) und aus eigenen Untersuchungen des Landesumweltamtes (WINKLER, 1996a) mit den Vorgaben der TA Siedlungsabfall und der TA Abfall verglichen.

Die in die Auswertung eingeflossenen Aschenuntersuchungen sind nachfolgend zusammengestellt:

- LUA/ Abfallanalysedatei

In dieser Datei werden Analysenwerte aus Untersuchungen verschiedener Betriebe in NRW, die Holz im eigenen Betrieb verbrennen, gesammelt. Die Analysen werden

von den Betrieben selbst auf unterschiedliche Parameter durchgeführt und dem LUA gemeldet. In dieser Datei sind verschiedenste Feuerungsanlagentypen mit unterschiedlichen Holzbrennstoffen erfaßt. Es ist bei diesen Angaben keine Unterscheidung der Aschenarten möglich, daher werden die Aschen als Holzaschen nicht näher bestimmt (Kurzbezeichnung: **HLD**; Umfang: 29 Proben).

- LUA/Winkler

Diese Holzaschenergebnisse stammen aus einer Untersuchung des Landesumweltamtes in Spanplattenwerken in NRW. Es handelt sich hier um 8 Proben, davon 4 Proben aus Rostaschen (Kurzbezeichnung: **RW**) und 4 Proben aus Filterstäuben (Kurzbezeichnung: **FW**).

- WKI

Die mineralischen Rückstände, die in die Untersuchung des WKI eingegangen sind, stammen aus industriellen Feuerungen von Betrieben der Holzwirtschaft, dazu zählen: Sägewerke, Furnier- und Spanplattenhersteller und Möbelwerke, in denen zum größten Teil Resthölzer verbrannt wurden. Es wurden 35 Proben untersucht, davon 19 Proben Rostaschen (Kurzbezeichnung **RP**), 14 Proben Filterstäube (Kurzbezeichnung: **FP**) und 2 Proben Schlacken (Kurzbezeichnung **SP**). Zum Vergleich wurden noch in einer anderen Untersuchung des WKI beprobte Holzaschen von unbehandelten Hölzern herangezogen (4 Proben; Kurzbezeichnung: **UH**).

Da nicht in allen Untersuchungen im Eluat die gleichen Parameter bestimmt wurden, beschränkt sich die Auswertung der Ergebnisse auf die in der folgenden Tabelle 42 aufgeführten Parameter.

Da eine größere Grundgesamtheit bei den Aschenuntersuchungen vorliegt und große Streuungen festzustellen sind, wird zum Vergleich mit den Deponiegrenzwerten neben dem Mittelwert noch das 90%-Quantil herangezogen.

Bei der Auswertung kann festgestellt werden, daß bei den Elementen Arsen, Kupfer, Nickel, Zink, Fluorid, und der el. Leitfähigkeit die entsprechenden Grenzwerte nach der TA Siedlungsabfall Deponieklasse I sicher eingehalten werden können. Nur bei Cadmium, Zink, und Fluorid gibt es einzelne Maximalwerte, die weit über dem Grenzwert liegen. Diese können jedoch als Ausreißer betrachtet werden.

Tab. 42: Zusammenfassende Darstellung der Belastungen von Holzaschen in bezug zu Deponiegrenzwerten

Anzahl Proben	Parameter		MIN	MAX	Mittelwert	90 % Quantil	TASI		TA Abfall
	Eluate	Einheit					Deponiekl. 1	Deponiekl. 2	
50	pH-Wert		6,9	13,60	11,68	13,20	5,5-13,0	5,5-13,0	4 bis 13
50	el. Leitfähigkeit	µS/cm	0,2	24.300	3.761	15.580	≤ 10.000	≤ 50.000	≤ 100.000
41	Arsen	mg/l	0,0001	0,07	0,01	0,01	≤ 0,2	≤ 0,5	≤ 1
33	Blei	mg/l	0,005	2,60	0,40	1,85	≤ 0,2	≤ 1	≤ 2
31	Cadmium	mg/l	0,0005	24,50	0,81	0,05	≤ 0,05	≤ 0,1	≤ 0,5
64	Chrom-VI	mg/l	0,01	300,00	5,48	2,80	≤ 0,05	≤ 0,1	≤ 0,5
59	Kupfer	mg/l	0,005	1,70	0,10	0,16	≤ 1	≤ 5	≤ 10
20	Nickel	mg/l	0,005	0,16	0,04	0,06	≤ 0,2	≤ 1	≤ 2
60	Zink	mg/l	0,005	27,00	1,06	1,47	≤ 2	≤ 5	≤ 10
47	Fluorid	mg/l	0,01	10,00	0,69	1,47	≤ 5	≤ 25	≤ 50
	Feststoff								
55	Glühverlust	Gew.-%	0,10	56,60	15,54	45,12	≤ 3	≤ 5	≤ 10

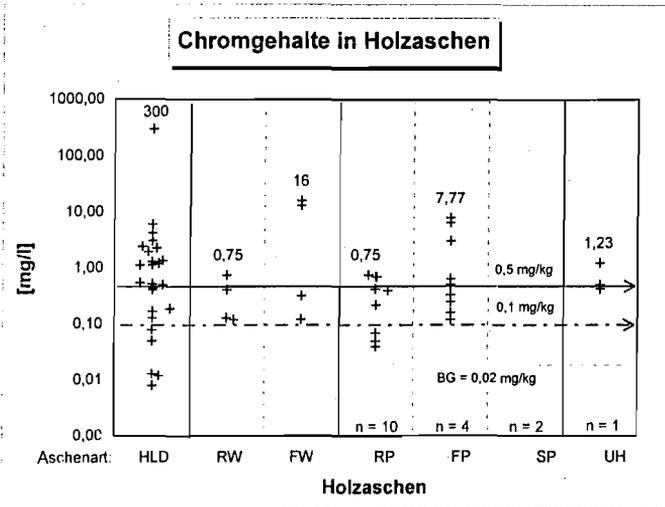
Holzaschen können dennoch teilweise die Eluatkriterien für eine Ablagerung auf einer Deponie der Klasse II bzw. einer Sonderabfalldeponie in bezug auf den Chromgehalt sowie den hohen Glühverlusten nicht erfüllen.

Nachfolgend werden für die besonders auffälligen Parameter Chrom und den Glühverlust die ermittelten Ergebnisse differenzierter dargestellt. Die jeweils anzuwendenden Richtwerte sind in den Graphiken durch unterschiedliche Pfeile und die Bestimmungsgrenze durch eine gestrichelte Linie dargestellt:

• Bestimmungsgrenze:	.....
• Grenzwerte der TA Abfall	—————>
• Grenzwerte der TA Siedlungsabfall Deponieklasse II	- - - - ->

Während bei den Schwermetallen im allgemeinen davon ausgegangen werden kann, daß der hohe pH-Wert der Eluate eine Fixierung der Schwermetalle als Hydroxide begünstigt, hat Chrom hier eine Sonderstellung, da es zu 95 % in anionischer Form als Chromat (Cr-VI) vorliegt, das mit steigendem pH-Wert eine zunehmende Löslichkeit aufweist (POHLANDT, 1996).

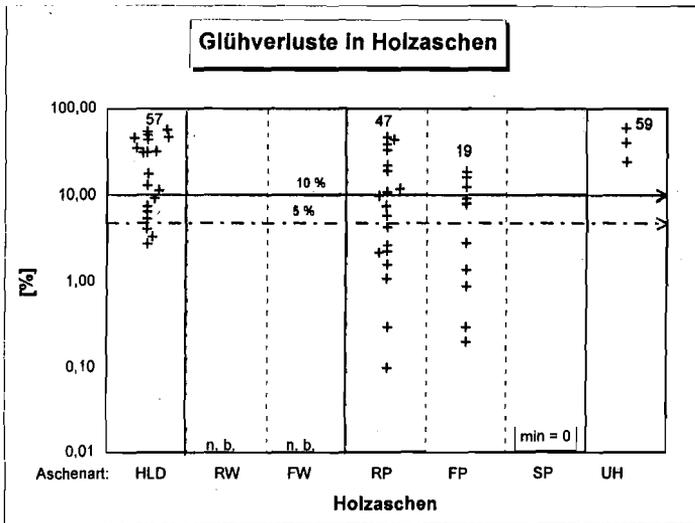
Der Eluatwert für Chrom für die Deponieklasse II wird von 47 der 64 Proben (entspricht 73%) überschritten, 23 (entspricht 36%) überschreiten davon noch den entsprechenden Grenzwert der TA Abfall. Selbst die Asche aus unbehandeltem Holz kann den Chromwert der TA Siedlungsabfall Deponieklasse II nicht einhalten.



- HLD: Holzaschen LUA Datei, RW: Rostaschen (WINKLER), FW: Flugaschen (WINKLER), RP: Rostaschen (POHLANDT), FP: Flugaschen (POHLANDT), SP: Schlacken (POHLANDT), UH: Aschen aus Frischhölzern (POHLANDT)
- Grenzwerte der TA Abfall →
- Grenzwert der TA Siedlungsabfall Deponieklasse II - - - - ->
- n=: Proben unterhalb der Bestimmungsgrenze

Abb. 33: Zusammenstellung der Chromgehalte in Holzaschen

Der Glühverlust zeigt den Anteil an unverbranntem Material. Art und Konstruktion der Feuerung sowie die Ausbrandgüte der Öfen haben Einfluß auf den Glühverlust. Kritisch sind Werte über 5 %, da damit der festgelegte Grenzwert der TA Siedlungsabfall für eine Ablagerung auf einer Deponie der Klasse II überschritten wird. Bei den Untersuchungen liegen 37 der 55 (entspricht 67 %) bestimmten Glühverluste über 5 % und 28 (entspricht 51 %) über dem Wert der TA Abfall von 10 %.



- HLD: Holzaschen LUA Datei, RW: Rostaschen (WINKLER), FW: Flugaschen (WINKLER), RP: Rostaschen (POHLANDT), FP: Flugaschen (POHLANDT), SP: Schlacken (POHLANDT), UH: Aschen aus Frischhölzern (POHLANDT)
- Grenzwerte der TA Abfall \longrightarrow
- Grenzwert der TA Siedlungsabfall Deponieklasse II \dashrightarrow
- n. b. : nicht bestimmt

Abb. 34: Zusammenstellung der Glühverluste in Holzaschen

Aus den Untersuchungen geht hervor, daß, selbst wenn der Glühverlust der Aschen durch besseren Ausbrand minimiert werden kann, für den größten Teil der untersuchten Aschen eine Ablagerung auf einer Deponie der Klasse II nach TA Siedlungsabfall aufgrund der hohen Chromatgehalte nicht möglich ist. Teilweise können die Aschen (auch von unbehandelten Hölzern) selbst die Grenzwerte der TA Abfall für Chromat nicht einhalten.

Da auch schon Aschen unbehandelter Hölzer sehr hohe Chromatgehalte aufweisen, sollten die Auswirkungen des Chromatgehaltes in Abfällen bei der Deponierung nochmals überprüft und ggf. die Grenzwerte der TA Siedlungsabfall bzw. TA Abfall diskutiert werden.

8.4 Sonstige Entsorgungsmöglichkeiten von Holzaschen

Als weitere Entsorgungsmöglichkeiten kommen die thermische Behandlung der Holzaschen oder eine eingeschränkte Verwertung in Frage.

Derzeit werden folgende Verwertungsmöglichkeiten für Rest- und Gebrauchtholzaschen diskutiert (POHLANDT, 1994):

- als Straßenbaumaterial oder
- als Zementzuschlagstoff
- als Sekundärbrennstoff in der Zementindustrie bzw. als Brennstoff in Großfeuerungsanlagen
- als Adsorptionsmittel für Schwermetalle in der Abwasserreinigung
- Bodenverbesserungs- oder Düngemittel.

Aufgrund der zuvor gezeigten Ergebnisse ist jedoch eine Verwertung der Holzaschen vor allem wegen des hohen Chromatgehaltes generell kritisch einzuschätzen. Es ist zu vermeiden, daß eine Chromanreicherung im Produkt oder im Boden stattfindet.

Zusätzlich erscheint auch wegen fehlender bautechnischer Eigenschaften ein Einsatz von Holzaschen z. B. im Straßenbau nicht möglich.

Als Entsorgungswege bliebe für Holzaschen wegen der hohen Glühverluste am ehesten eine Verwertung als Brennstoff in der Zementindustrie bzw. in Großfeuerungsanlagen denkbar. Einen weiteren Entsorgungsweg stellt die thermische Behandlung der Aschen in Müllverbrennungsanlagen dar.

Bei allen diesen Entsorgungswegen könnte sich der Chromatgehalt der Aschen negativ auf das Produkt (Zement) oder auf die Rückstände der Feuerungsanlagen auswirken. Diese Auswirkungen müßten im Rahmen weitgehender Arbeiten detaillierter untersucht werden.

8.5 Untersuchung des Landesumweltamtes NRW zum Chromatgehalt in Rückständen aus der Verbrennung und Pyrolyse

Wie zuvor bereits erläutert, kommt dem Chromgehalt in Holzaschen eine besondere Bedeutung zu (Kap. 8.2, 8.3). Chrom liegt in Holzaschen zu etwa 95 % in anionischer Form als Chromat (Cr-VI) vor und ist so mit steigendem pH-Wert gut löslich.

Vom Landesumweltamt NRW (LUA, 1996) wurde untersucht, ob eine Abhängigkeit zwischen dem Chromatgehalt in Rückständen und der Art der thermischen Behandlung (Verbrennung, Pyrolyse) besteht. Dazu wurde Kiefern-Leimholz, wie es z. B. in Wohnbereichen zum Einsatz kommt, mit Kaliumdichromat-Lösung angereichert und unter verschiedenen Bedingungen in einem speziellen Ofen (nähere Erläuterungen im Anhang H8) im Labor verbrannt bzw. pyrolysiert.

Nach der Verbrennung oder Pyrolyse wurde in allen Proben Chrom-VI im Eluat bzw. der Gesamtchromgehalt (nach einem oxidierenden Schmelzaufschluß mit K_2CO_3/KNO_3) mit Schnelltests (Nachweisgrenze: 0,03 mg/l) bestimmt.

Die folgende Tabelle 43 zeigt einen Überblick über das Untersuchungsprogramm (Einzelheiten s. Anhang H 7):

Tab. 43: Untersuchungsprogramm des Landesumweltamtes NRW zur Bestimmung des Chromgehaltes in Rückständen aus der thermischen Behandlung von unbehandeltem und mit Chrom-VI behandeltem Holz unter Luft und Stickstoff (LUA, 1996)

Proben-bez.	Beaufschlagung mit Kaliumdichromat	Verbrennung, Pyrolyse	Analyse
1, 2	nein „Nullprobe“	Verbrennung im Luftstrom (40 l/h)	Cr-ges., Cr-VI im Eluat
3	2,8 mg Cr-VI pro g Holz	Verbrennung im Luftstrom (10 l/h)	Cr-VI, Cr-III und Cr-ges. im Eluat
4		Verbrennung im Luftstrom (100 l/h)	
5	2,8 mg Cr-VI pro g Holz	Verbrennung im Luftstrom (60 l/h)	K_2CO_3/KNO_3 -Schmelzaufschluß, Schmelzkuchen in H_2O gelöst, Analyse Cr-ges.
6,7	2,8 mg Cr-VI pro g Holz	Pyrolyse im Stickstoffstrom (40 l/h)	Cr-VI im Eluat
8	2,8 mg Cr-VI pro g Holz	Pyrolyse im Stickstoffstrom (60 l/h), anschließend Verbrennung der Pyrolyserückstände im Luftstrom (60 l/h)	K_2CO_3/KNO_3 -Schmelzaufschluß, Schmelzkuchen in H_2O gelöst, Analyse Cr-ges.
9,10			Cr-VI im Eluat

Die Untersuchungsergebnisse des Landesumweltamtes NRW sind in der Abbildung 36 dargestellt. In den Proben 1 und 2 (Nullproben) konnte mit dem Schnelltest kein Chrom im Eluat gefunden werden.

In den Proben 3 und 4 wurde in beiden Fällen Cr-VI im Eluat festgestellt. Bei der Probe 4, die bei einem höheren Luftstrom verbrannt wurde, wurde doppelt so viel Cr-VI eluiert wie bei Probe 3, wobei kein Cr-III festgestellt werden konnte und der analysierte Wert für Cr-ges dem von Cr-VI entsprach.

Die Rückstände aus Probe 5 wurden nach einem oxidierenden Schmelzaufschluß mit anschließender Lösung des Schmelzkuchens in Wasser auf Cr-ges analysiert, dabei konnte das gesamte aufgebrauchte Chrom wiedergefunden werden. Mit dem Schmelzaufschluß wird das gesamte in der Probe befindliche Chrom zu Cr-VI oxidiert und kann in der Lösung festgestellt werden. Es handelt sich hier um eine Kontrollanalyse.

In den Eluaten der Rückstände aus den Proben 6 und 7 (Pyrolyse unter Luftabschluß) wurde kein Chromat festgestellt.

Die Proben 8 bis 10 wurden zunächst pyrolysiert und anschließend unter O₂-Überschuß verbrannt. In den Eluaten der Rückstände aus Probe 9 und 10 konnte im Rahmen der Meßgenauigkeit das gesamte, zuvor aufgebrauchte, Chrom als Cr-VI gefunden werden. In der Probe 8 wurde das gleiche Ergebnis nach einem Schmelzaufschluß mit anschließender Lösung des Schmelzkuchens in Wasser erzielt.

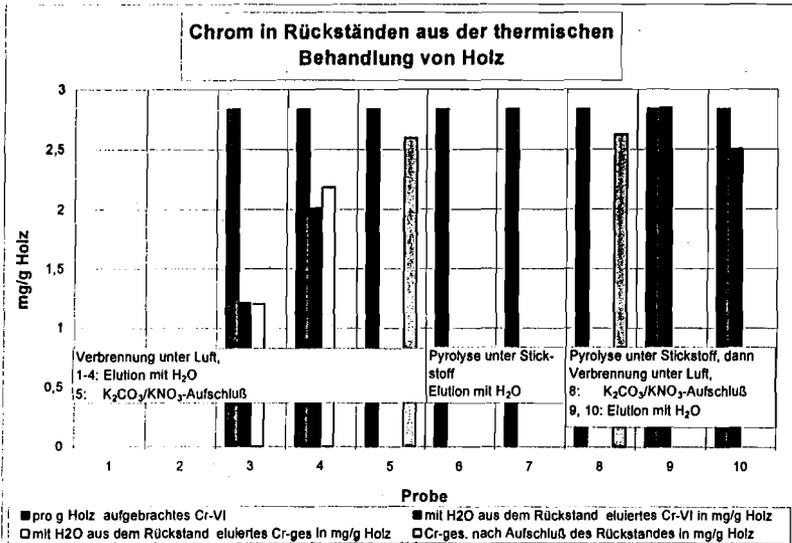


Abb. 35: Chrom in Rückständen aus der thermischen Behandlung von Holz (LUA, 1996)

Die Ergebnisse des LUA zeigen, daß bei einer Holzverbrennung im Luftstrom das im Holz enthaltene Chrom zu Cr-VI oxidiert wird und sich in der Asche wiederfinden läßt. Je größer der Luftstrom ist, mit dem verbrannt wird, desto mehr Chrom liegt in der oxidierten Form als Chromat in den Rückständen vor.

Im Pyrolysekoks dagegen, der unter der Einwirkung von Stickstoff und unter Luftabschluß entsteht, ist kein Cr-VI nachzuweisen. Chrom liegt hier in der Form von Cr-III vor und ist nicht eluierbar.

Bei einer Pyrolyse und anschließenden Verbrennung des Pyrolysekoks findet sich in der zurückbleibenden Asche das gesamte sich im Holz befindende Chrom als Cr-VI in der Holzasche wieder.

8.6 Behandlungs- und Aufbereitungsmöglichkeiten

Das Ziel einer Behandlung oder Aufbereitung von Holzaschen sollte sein, ein ablagerungsfähiges Gut zu erhalten. Vordringlich muß eine Behandlung der Aschen darauf abzielen, den Glühverlust erheblich zu senken und die Chromatgehalte im Eluat zu verringern.

Durch eine Verbesserung der Ausbrandgüte läßt sich der Glühverlust in den mineralischen Rückständen verringern. Dazu wären jedoch teilweise große Investitionen bei den Feuerungsanlagenbetreibern notwendig.

Da bereits bei der Verbrennung von naturbelassenen Hölzern Aschen anfallen können, die den Chromgrenzwert der TA Siedlungsabfall für Deponieklasse II überschreiten, stellt die Minimierung des Chromatgehaltes in den Aschen ein noch größeres Problem dar. Diesem kann aus v. g. Gründen auch nicht durch eine Vorsortierung des Brennmaterials Rechnung getragen werden.

Eine Behandlungs- oder Aufbereitungsmethode muß somit darauf abzielen, das lösliche Chromat aus der Asche zu entfernen.

Untersuchungen des WKI (POHLANDT, 1996) haben gezeigt, daß erste Ansatzmöglichkeiten für die Reduktion des Chromates in den Holzaschen die Naßentaschung darstellt. Dabei gelangt die Asche nach Durchlaufen der Verbrennungszone in einen Wasserbehälter, aus dem sie kontinuierlich ausgetragen wird. In entsprechenden Untersuchungen hat sich gezeigt, daß Holzaschen, die derart behandelt wurden, in der Regel deutlich niedrigere Chromatgehalte aufwiesen als unbehandelte Aschen.

Bei einer Untersuchung des Naßentascherwassers wurde vom WKI festgestellt, daß sich in den ersten Tagen Chrom-VI im Wasser anreichert, aber nach 4-5 Tagen kein Chromat mehr festgestellt werden kann. Es wird vermutet, daß sich das Chromat im Naßentascherwasser durch Inhaltsstoffe, die sich dort anreichern, oder katalytische

Effekte selbst zu Cr-III reduziert. Bei dieser Art der Aschenbehandlung erfolgt jedoch immer eine Verlagerung der Chrombelastung in das Abwasser.

8.7 Konsequenzen für die Entsorgung von Holzaschen

Aus den Untersuchungen zur Deponiefähigkeit von Rest- und Gebrauchtholzaschen wird deutlich, daß eine Ablagerung von Aschen auf Deponien der Klasse II unter Berücksichtigung der Eluatkriterien der TA Siedlungsabfall häufig nicht möglich ist. Der hohe Glühverlust und der hohe Chromgehalt der meisten Aschen ist zudem dafür verantwortlich, daß Holzaschen teilweise auch nicht auf einer Sonderabfalldeponie nach TA Abfall abgelagert werden können. Da auch Aschen unbehandelter Hölzer sehr hohe Chromwerte aufweisen, sollten die entsprechenden Deponiegrenzwerte überprüft werden.

Ein großer Verwertungs-, Aufbereitungs- oder Behandlungsaufwand von Holzaschen ist uneffektiv, da oft nur kleine Mengen der Aschen in den einzelnen Feuerungsanlagen anfallen und die Zusammensetzung der einzelnen Chargen, je nach Brennstoff, sehr streut.

Aufgrund der vorhandenen Belastungen und des oft geringen Ausbrandgrades ist am ehesten eine Verwertung als Sekundärbrennstoff in der Zementindustrie, als Brennstoff in Großfeuerungsanlagen und die thermische Behandlung in Müllverbrennungsanlagen möglich. Hier müßten jedoch die Auswirkungen des hohen Chromatgehaltes auf das Produkt bzw. auf die Rückstände aus der Feuerung detailliert untersucht werden.

9 Konsequenzen aus der Untersuchung

Die Untersuchungen im Rahmen des vorliegenden Vorhabens haben gezeigt, daß bei der derzeitigen Vorgehensweise bei der Gebrauchtholzaufbereitung und -entsorgung in Verbindung mit der Einführung der vorgeschlagenen Richtwerte des LUA für die verschiedenen Verwertungswege eine stoffliche Verwertung i. d. R. nicht möglich und eine energetische Verwertung gesichert nur in Feuerungsanlagen nach der 4. BImSchV i. V. mit der 17. BImSchV erfolgen kann.

Bei der stofflichen Verwertung, bei der prinzipiell nur naturbelassenes Holz eingesetzt werden sollte, kann dieses unter den gegebenen Bedingungen nicht erreicht werden, da unbehandelte Hölzer nicht gesichert optisch manuell aussortiert werden können (Kap. 6.3.4). Ähnlich stellt sich die Situation bei der Holzaufbereitung für Feuerungsanlagen nach der 4. BImSchV 1.2 und 1.3 dar. Nach der Verordnung sind Hölzer zugelassen, die lackiert und beschichtet (ohne PVC bei Nr. 1.2) aber nicht holzschutzmittelbehandelt sind. Die Ergebnisse aus der Untersuchung haben jedoch gezeigt, daß aus Mischsortimenten aussortierte lackierte Hölzer häufig Holzschutzmittelbehandlungen aufweisen. Es kann also auch beim Einsatz dieser Sortimente nicht ausgeschlossen werden, daß der Output der Anlage Holzschutzmittelbelastungen aufweist und somit nur in Anlagen nach der 4. BImSchV i. V. mit der 17. BImSchV verbrannt werden darf.

Wenn die vorgeschlagenen Richtwerte des LUA zukünftig angewendet werden sollen, müßte eine aufwendige und restriktive Sortierung einzelner Holzsortimente erfolgen. Da derzeit nur nach optischen Gesichtspunkten aussortiert werden kann, müßten große Gruppen von Hölzern von einer höherwertigen Verwertung ausgeschlossen werden.

Eine gezielte Getrennthaltung von Sortimenten ist dann schon an der Anfallstelle durch geeignete Maßnahmen sicherzustellen. Beim Aufbereiter sollten regelmäßige Kontrollen des angelieferten Holzmaterials und eine differenziertere Aufbereitung für verschiedene Verwertungswege stattfinden, um die geforderten Recyclinghackschnitzelqualitäten erreichen zu können.

Die Gebraucht- und Restholzmengen werden sich aufgrund der Umsetzung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes (KrW-AbfG) und der TA Siedlungsabfall voraussichtlich noch erhöhen, da eine Deponierung zukünftig nicht mehr möglich sein wird.

Die Ermittlung der Gebraucht- und Restholzmenge (Kap. 4), die 1993 in NRW noch entsorgt wurde hat ergeben, daß eine Holzmenge von ca. 840.000 t auf Deponien abgelagert und von ca. 700.000 t in Verbrennungsanlagen entsorgt wurde.

Von dieser ermittelten Holzmenge steht zukünftig ein zusätzlicher Teil zur anderweitigen Entsorgung an. Eine Verbrennung in Anlagen nach der 4. BImSchV i. V. m. der 17. BImSchV würde oft eine ortsferne und kostenintensive Entsorgung bedeuten.

Um weiterhin einige Holzfraktionen verwerten, aber gleichzeitig eine Anreicherung von Verunreinigungen im Wertstoffkreislauf verhindern zu können, ist die frühzeitig gezielte Getrennthaltung dieser Hölzer notwendig.

Um die Vorgehensweise bei der zukünftigen Gebraucht- und Restholzentorgung näher konkretisieren zu können, ist es erforderlich:

- Gespräche mit Holzanlieferern, -aufbereitern,- verwertern und Kontrollbehörden über Getrennthalmöglichkeiten der Hölzer, Aufbereitungsmöglichkeiten, Verwertungsbereiche und deren Anforderungen sowie über die festgelegten Richtwerte und Qualitätssicherungsmaßnahmen zu führen
- eine sichere Datenbasis der Holzbelastungen zu schaffen, indem bei Aufbereitern über einen längeren Zeitraum gezielt zusammengestellte Hölzer aufbereitet werden und die Qualität des Output ermittelt wird
- Maßnahmen zur Qualitätssicherung bei der Holzaufbereitung umzusetzen. Ein Vorschlag dazu befindet sich im Anhang J.

10. Zusammenfassung

Vor dem Hintergrund des am 07. Oktober 1996 in Kraft getretenen Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes und der Anforderungen der TA Siedlungsabfall ist es erforderlich, daß Gebraucht- und Resthölzer vom restlichen Abfall getrennt erfaßt und einer geeigneten Entsorgung zugeführt werden. Aufgrund der Getrennthaltung von Holz vor allem im Baustellen- und Sperrmüllbereich werden in Zukunft größere Holz-mengen zu entsorgen sein.

• Situation der Gebraucht- und Restholzentsorgung

In einer im Rahmen dieser Untersuchung (Kap. 4.1) durchgeführten Ermittlung des Gebraucht- und Restholzpotentials für NRW (1993), in der u. a. die Holzmenge bestimmt wurde, die über den Hausmüll, Sperrmüll, hausmüllähnlichen Gewerbeabfall und Baustellenabfall entsorgt wurde, konnte eine Holzmenge von 205 kg/(E*a) bzw. 3,6 Mio. t/a (Tab. 44, inkl. produktionsspezifische Holzabfälle) festgestellt werden.

Das bedeutet bei einem Gesamtabfallaufkommen in NRW im Jahr 1993 von 68,7 Mio. t/a (LDS, 1996) einen Anteil von 5,2 %.

Von den 205 kg/(E*a) wurden im wesentlichen die produktionsspezifischen Holzabfälle mit 107 kg/(E*a) verwertet und die restlichen Holzabfälle zusammen mit den anderen o. g. Abfällen beseitigt.

Tab. 44: Gebraucht- und Restholzpotential für NRW im Jahr 1993

	Gebraucht- und Restholzpotential im Jahr 1993	
	kg/(E*a)	Mio. t/a
an Entsorgungs- anlagen* angeliefert	98	1,7
verwertet	107	1,9
Gesamtmenge	205	3,6

* geringe nicht spezifisch zu definierende Gebraucht- und Restholzmenge wird verwertet

Von den verschiedenen generellen Möglichkeiten zur Verwertung von Gebraucht- und Restholz (stofflich, z. B. in der Holzwerkstoffindustrie und energetisch z. B. als Sekundärbrennstoff) werden derzeit im wesentlichen die energetischen Verfahren genutzt.

• Situation bei der Holzaufbereitung

Die Entscheidung, wie Holz verwertet oder ob es beseitigt wird, ist u. a. von dessen Verunreinigungsgrad abhängig. Die Auswahl der Sortimentszusammensetzung bei den Holzaufbereitern erfolgt i. d. R. aufgrund subjektiver Einschätzungen über optisch erkennbare mögliche Belastungen aus Verunreinigungen im Holz. Dabei werden oft folgende Sortimente aufbereitet:

- für die stoffliche Verwertung: Verpackungs-, Bau- und Abbruchhölzer
- für die energetische Verwertung: Spanplatten und sonstige behandelte Hölzer.

Qualitätsanforderungen an die produzierten Recyclingspäne existieren derzeit noch nicht (Kap.4.2).

Erste richtungsweisende Grenzwertfestlegungen werden derzeit von der Span- und Faserplattenindustrie und vom Landesumweltamt NRW vorgeschlagen (Kap. 5). Die Zuordnungskriterien des Landesumweltamtes NRW sind in der Tabelle 45 dargestellt.

Tab. 45: Zuordnungskriterien für Holz zu den verschiedenen Feuerungsanlagen-typen (stoffliche Verwertung prinzipiell Holz nach Gruppe 1; nach WINKLER, 1996)

Die Werte gelten für eine Mischprobe aus mindestens 5 Einzelproben oder einem Mittelwert von mindestens 5 Einzelbestimmungen (in Anlehnung an TA Abfall Anhang B)					
in Feuerungsanlagen nach		Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4
		(< 1MW nach 1. BImSchV)	(50 kW - 1 MW nach 1. BImSchV, ab 1 MW nach 4. BImSchV Nr. 1.2)	(ab 100 kW nach 4. BImSchV Nr. 1.3)	(ab 100 kW nach 4. BImSchV i. V. m. 17. BImSchV)
Elemente	Einheit	Maximalwerte für naturbelassenes Holz	Maximalwerte für Holz, Holzwerkstoffe: lackiert, beschichtet, ohne PVC und ohne Holzschutzmittel (5)	Maximalwerte für Holz, Holzwerkstoffe: lackiert, beschichtet, mit PVC und ohne Holzschutzmittel	Maximalwerte für Holz, Holzwerkstoffe: lackiert, beschichtet, mit PVC und mit Holzschutzmittel
Arsen	mg/kg	0,8	2	2	-
Bor	mg/kg	15	30	30	-
Cadmium	mg/kg	0,5	-	-	-
Chrom	mg/kg	2	-	-	-
Kupfer	mg/kg	5	20	20	-
Eisen (1)	mg/kg	100	-	-	-
Quecksilber	mg/kg	0,05	0,4	0,4	-
Blei	mg/kg	3	-	-	-
Flan	mg/kg	5	-	-	-
Zink	mg/kg	50	-	-	-
Chlor	mg/kg	100	300	-	-
Fluor	mg/kg	10	30	30	-
Stickstoff (1)	Gew. %	0,5 (3)	-	-	-
Pentachlorphenol	mg/kg	1 (4)	2 (6)	2 (6)	-
Lindan	mg/kg	0,25 (4)	0,5 (6)	0,5 (6)	-
Teerole (2)	mg/kg	0,05 (Benzo(a)pyren) (4)	0,1 (Benzo(a)pyren) (6)	0,1 (Benzo(a)pyren) (6)	-

(1) Analyse nur bei reinem Material (Holzstaub, keine Holzspäne) zur Feststellung einer Schadstoffbelastung
 (2) Analyse nur bei konkretem Verdacht, z. B. aufgrund optischer Kontrolle oder Geruch
 (3) bei Anwesenheit von Rinde höhere Werte bis 1,0 Gew. % möglich
 (4) in reinem Holz mögliche Verunreinigungen aufgrund ubiquitärer Belastung
 (5) unter Berücksichtigung diffuser Einträge und von Spurenstoffgehalten in Anstrichstoffen, Pigmenten Beschleunigungsmitteln und Klebstoffen
 (6) derzeit mögliche ubiquitäre Verunreinigungen in Holzresten aus der Be- und Verarbeitung sowie aus der Anwendung keine Begrenzung

• Ergebnisse aus Untersuchungen bei Holzaufbereitern

Im Rahmen der Untersuchung wurden bei drei Holzaufbereitern in NRW Sichtungen des angelieferten Holzes, Sortierungen des Anlageninputs und Analysen des sortierten Anlageninputs sowie des -outputs durchgeführt (Kap. 6).

Zusammenfassend kann aufgrund der Sichtung festgestellt werden, daß bei den Gebrauchtholzaufbereitern Holz aus den unterschiedlichsten Bereichen mit einer ständig variierenden Zusammensetzung angeliefert wurde (Tab. 46).

Tab. 46: Sichtungsergebnisse der Anlieferungen an den Holzaufbereitungsanlagen nach Herkunftsbereichen (fünf Durchgänge)

Herkunftsbereich	Vollholz [Vol.-%]	Holzwerk- stoffe [Vol.-%]	Sonstige/ Störstoffe [Vol.-%]
Sperrmüll	10 - 70	25 - 90	0 - 5
Baustellenabfall ¹⁾	75 - 100	0 - 10	0 - 20
Möbelindustrie	0 - 90	10 - 100	0
Recyclinghof	15 - 90	10 - 70	0 - 15
sonstige ²⁾	90 - 100	0 - 5	0 - 5

¹⁾ überwiegend Abbruch

²⁾ sonstige: Anlieferungen von Verpackungsabfall (Paletten, etc.)

Bei der Sortierung konnten deutliche Unterschiede in der Zusammensetzung des Anlageninputmaterials für die verschiedenen Verwertungswege festgestellt werden:

- stoffliche Verwertung: Aufbereitung von nach optischen Kriterien als „unbehandelt“ erkennbare Vollhölzer
- energetische Verwertung: Aufbereitung aller Stoffgruppen zu etwa gleichen Anteilen (Tab. 47).

Tab. 47: Zusammenfassung der Sortiererergebnisse des Anlageninputs

Verwertungsweg	stofflich	energetisch
Stoffgruppe	[%]	[%]
Vollholz (Vlh.)	69	30
Holzwerkstoff (Hwst.)	11	38
Sondergruppe/ Siebdurchgänge	20	32

Aus den Ergebnissen der durchgeführten Analysen ist zusammenfassend folgendes abzuleiten:

- Die untersuchten Outputchargen der Holzaufbereitungsanlagen halten die Richtwerte des LUA für die stoffliche Verwertung (Gruppe 1) nicht ein, sondern bewegen sich weitgehend im Bereich der Gruppe 2, wenn man die Chlor- und Fluorergebnisse wegen nicht abschließend gekläarter Unklarheiten bezüglich der anzuwendenden Analysenmethode zunächst außer Betracht läßt (Kap. 6.3.1).
- Bei den Recyclinghackschnitzeln, die für die energetische Verwertung aufbereitet wurden, wurden abgesehen von den Chlor- und Fluorkonzentrationen bei den Parametern Arsen, Kupfer, PAK und Zink Überschreitungen der Richtwerte der Gruppen 2/3 deutlich.
- In bezug auf die in den Anlagen häufig abgesiebten Feinfraktionen der Recycling-späne konnte, unabhängig ob es sich um Recyclinghackschnitzel für die stoffliche oder energetische Verwertung handelt, festgestellt werden, daß die Feinfraktion i. d. R. die höchste Belastung aufweist. Dies zeigt sich vor allem bei den für Farbpigmente typischen Parametern (Kap. 6.3.4).
- Anhand der Untersuchungsergebnisse für die einzeln aussortierten Stoffgruppen des Anlageninputs wurde deutlich, daß eine Aussortierung von bestimmtem Holzfraktionen, z. B. unbehandelte Hölzer, lackierte Hölzer ohne Holzschutzmittel aus Mischholz, manuell optisch nicht möglich ist. In Proben der Stoffgruppe „unbehandeltes“ Holz (V1) zeigten sich z. T. auch Belastungen aus anorganischen und organischen Holzschutzmitteln. Auch bei der Analytik der lackierten Hölzer konnte festgestellt werden, daß diese häufig Holzschutzmittel enthalten.

Die folgende Tabelle zeigt zusammenfassend die Ergebnisse.

Tab. 48: Darstellung der typischen Belastung der untersuchten Recyclinghackschnitzel und deren Herkunft aus aussortierten Stoffgruppen

anorganische Holzschutzmittel	durchschnittliche Belastung der Recyclinghackschnitzel			überwiegende Herkunft aus sortierten Stoffgruppen
		stoffliche Verwertung	energetische Verwertung	
Arsen	GF	Gruppe 1	Gruppe 2 (4)	<ul style="list-style-type: none"> • Vollholz imprägniert • Feinanteile
	MF	Gruppe 1	Gruppe 2	
	FF	Gruppe 1	Gruppe 2	
Bor	GF	Gruppe 1	Gruppe 1	<ul style="list-style-type: none"> • Vollholz imprägniert • Feinanteile
	MF	Gruppe 1	Gruppe 1	
	FF	Gruppe 1	Gruppe 1	
Chrom	GF	vgl. konv. Regelbr.	vgl. konv. Regelbr.	<ul style="list-style-type: none"> • Vollholz imprägniert • Feinanteile • Vollholz „unbehandelt“ • Vollholz lackiert • Holzwerkstoff PVC-besch.
	MF	vgl. konv. Regelbr.	vgl. konv. Regelbr.	
	FF	überschritten	vgl. konv. Regelbr.	
Kupfer	GF	Gruppe 1	Gruppe 2	<ul style="list-style-type: none"> • Vollholz imprägniert • Feinanteile • Vollholz „unbehandelt“ • Vollholz lackiert • Fenster
	MF	vgl. Gruppe 2	Gruppe 2	
	FF	vgl. Gruppe 2	Gruppe 4	
Quecksilber	GF	Gruppe 1	Gruppe 2	<ul style="list-style-type: none"> • Vollholz imprägniert • Feinanteile • Vollholz lackiert • Fenster
	MF	Gruppe 1	Gruppe 2	
	FF	vgl. Gruppe 2	Gruppe 2	
Fluor	GF	keine vergleichbare Gruppe, da unterschiedliche Aufschlüsse bei der Analytik (Kap. 6.3.1)		
	MF			
	FF			
org. Holzschutzmittel und Teeröle				
Lindan	GF	Gruppe 1	Gruppe 1	<ul style="list-style-type: none"> • Vollholz lackiert • Fenster
	MF	Gruppe 1	Gruppe 1	
	FF	Gruppe 1	Gruppe 1	
PCP	GF	vgl. Gruppe 2	Gruppe 2	<ul style="list-style-type: none"> • Vollholz lackiert • Fenster • Feinfraktion
	MF	vgl. Gruppe 2	Gruppe 2	
	FF	vgl. Gruppe 2	Gruppe 2	
PAK als Benzo(a)pyren	GF	vgl. Gruppe 2	Gruppe 4	<ul style="list-style-type: none"> • Feinfraktion
	MF	vgl. Gruppe 2	Gruppe 4	
	FF	vgl. Gruppe 2	Gruppe 4	

		durchschnittliche Belastung der Recyclinghackschnitzel		überwiegende Herkunft
Farbpigmente		stoffliche Verwertung	energetische Verwertung	aus sortierten Stoffgruppen
Blei	GF	vgl. konv. Regelbr.	vgl. konv. Regelbr.	<ul style="list-style-type: none"> • Vollholz lackiert • Holzwerkstoff PVC-besch. • Feianteile
	MF	vgl. konv. Regelbr.	vgl. konv. Regelbr.	
	FF	überschr.	überschr.	
Cadmium	GF	Gruppe 1	vgl. konv. Regelbr.	<ul style="list-style-type: none"> • Holzwerkstoff PVC-besch.
	MF	Gruppe 1	vgl. konv. Regelbr.	
	FF	vgl. konv. Regelbr.	vgl. konv. Regelbr.	
Titan	GF	kein Richtwert außer Gruppe 1		<ul style="list-style-type: none"> • Fenster • Feianteile
	MF			
	FF			
Zink	GF	vgl. konv. Regelbr.	vgl. konv. Regelbr.	<ul style="list-style-type: none"> • Vollholz lackiert • Fenster • Holzwerkstoffe • Feianteile
	MF	vgl. konv. Regelbr.	überschr.	
	FF	überschr.	überschr.	
Beschichtungen				
Chlor	GF	keine vergleichbare Gruppe, da unterschiedliche Aufschlüsse bei der Analytik (Kap. 6.3.1)		
	MF			
	FF			

- Gruppe 1: Feuerung nach 1. BImSchV, Maximalwert für naturbelassenes Holz
- Gruppe 2: Feuerung nach 4. BImSchV Nr. 1.2, Holz und -werkst.-gestrichen, lackiert, beschichtet, ohne HSM
- Gruppe 4: Feuerung nach 17. BImSchV, mit HSM behandeltes Holz
- Liegen die Belastungen in den Proben des Output für die stoffliche Verwertung über dem Richtwert der Gruppe 1 (naturbelassenes Holz), werden vergleichbare Richtwerte für die energetische Verwertung herangezogen (Darstellung: vgl. Gruppe 2).
- vgl. konv. Regelbr.: vergleichbar Maximalwert für konventionelle Regelbrennstoffe für Feuerungen nach der 4. BImSchV Nr. 1.2

• Versuche zur Klärschlamm-Recyclingholz-Kompostierung

Im Rahmen der Untersuchung wurden orientierende Versuche zur Klärschlamm-Recyclingholz-Kompostierung durchgeführt.

Die Beurteilung der Analysedaten der Inputmaterialien bzw. des fertigen Kompostes und der Verwertungsmöglichkeiten führt zu den folgenden Schlußfolgerungen (Kap. 7): Durch die Zugabe von Recyclingholz bei der Klärschlammkompostierung konnte weder eine Verschlechterung beim Input-Material noch eine wesentliche Veränderung des Löslichkeitsverhaltens beim Output-Material festgestellt werden.

Kritisch ist an dieser Stelle lediglich anzumerken, daß eine Verwertung von Recyclingholz bei der Klärschlammkompostierung eine gleichbleibende Qualität des eingesetzten Holzes voraussetzt.

- **Auswertung von Untersuchungen zur Deponiefähigkeit von Holzaschen**

Aus den Untersuchungen zur Deponiefähigkeit (Kap. 8) von Rest- und Gebrauchtholzaschen wird deutlich, daß eine Ablagerung von Aschen auf Deponien der Klasse II nach TA Siedlungsabfall unter Berücksichtigung der entsprechenden Eluatkriterien häufig nicht möglich ist. Der hohe Glühverlust und der hohe Chromgehalt der meisten Aschen ist dafür verantwortlich, daß die Holzaschen teilweise auch die Eluatkriterien nach der TA Abfall nicht einhalten. Da auch Aschen unbehandelter Hölzer sehr hohe Chromwerte aufweisen, sollten die entsprechenden Deponiegrenzwerte überprüft werden.

Aufgrund der vorhandenen Belastungen und des oft geringen Ausbrandgrades ist am ehesten eine Verwertung als Sekundärbrennstoff in der Zementindustrie, als Brennstoff in Großfeuerungsanlagen und die thermische Behandlung in Müllverbrennungsanlagen möglich. Hier müßten jedoch die Auswirkungen des hohen Chromatgehaltes auf das Produkt bzw. auf die Rückstände aus der Feuerung detailliert untersucht werden.

- **Fazit**

Die Untersuchungen im Rahmen des vorliegenden Vorhabens haben gezeigt, daß eine stoffliche Verwertung unter Einhaltung der Richtwerte nach der Gruppe 1 des LUA i. d. R. nicht möglich und eine energetische Verwertung gesichert nur in Feuerungsanlagen nach der 4. BImSchV i. V. mit der 17. BImSchV erfolgen kann.

Wenn die vorgeschlagenen Richtwerte des LUA zukünftig Anwendung finden sollen, müßte eine aufwendige und restriktive Sortierung einzelner Holzsortimente erfolgen. Da derzeit nur nach optischen Gesichtspunkten aussortiert werden kann, müßten große Gruppen von Hölzern von einer höherwertigen Verwertung ausgeschlossen werden.

Eine gezielte Getrennthaltung von Sortimenten wäre schon an der Anfallstelle durch geeignete Maßnahmen sicherzustellen. Beim Aufbereiter sollten zusätzlich regelmäßige Kontrollen des angelieferten Holzmaterials und eine differenziertere Aufbereitung für verschiedene Verwertungswege stattfinden, um die geforderten Recyclinghackschnitzelqualitäten erreichen zu können.

11. Literaturverzeichnis

Abfallentsorgungs- und Altlastensanierungsverband Nordrhein-Westfalen (AAV):
„Ergebnisse der Abfallerhebung im Produzierendem Gewerbe (< 20 Beschäftigte) und in den Wirtschaftszweigen, die nicht durch die Umweltstatistik erfaßt werden (NRW 1990)“

Anonymus:

Recycling von Eisenbahnschwellen in den USA
in: Holz-Zentralblatt 116, 1990, S.2380

Anonymus:

Schweizer Zementindustrie auf dem Holzweg
in: Holz-Zentralblatt 106, 1995, S.1628

Anonymus:

Umweltfreundliche Energieträger nutzen
in: Holz-Zentralblatt 40, 1996, S. 669

BAV:

Altholzrecycling, ein kurzer Überblick
1995

Bargsten, J.; Styperek, P.; Legat, W.:

Ermittlung des Auswaschverhaltens von Klärschlamm-Kompost-Gemischen durch
Eluations- und Perkulationsversuche
Korrespondenz Abwasser 8/94, 1994

Bloßfeld, O.:

Spanplattenholz
in: Lexikon der Holztechnik
VEB-Fachbuchverlag, Leipzig 1988

Bockelmann, Ch.:

Zusammensetzung, Sortierung und Verwertung von Altholz in der Bundesrepublik
Deutschland (Dissertation)
Papierflieger, Clausthal-Zellerfeld 1996

Bockelmann, Ch.:

mündliche Mitteilung, 08.11.1996a

Brümmer, H.:

Realisierung der Aufbereitung und Verwertung von Gewerbe- und Bauabfällen in
einem Landkreis
in : Umsetzung neuer Abfallwirtschaftskonzepte, Band 3 der Veröffentlichungsreihe
des Labor für Siedlungswasserwirtschaft der Fachhochschule Münster
Münster, 1991

Büll, U.; Nolting, B.:

Hausmüllanalyse in der Stadt Dortmund
Münster, Berlin, 1994

Bucki, C.; Willeitner, H. :

Literaturrecherche zur stofflichen Verwertung von Rest- und Altholzern
Hamburg 1994

Bundesministerium für Umwelt (Hrsg.):

Branchenkonzept Holz
Wien, 1994

Deppe, H.-J.; Ernst, K.:

Taschenbuch der Spanplattentechnik
DRW-Verlag, 3. Aufl., Stuttgart 1991

Dornbusch, H.-J.; Frerich, H.:

Sperrmüllanalyse in der Stadt Dortmund
Münster, Berlin, 1994/95

Drossel, K.; Wittke, B.:

Stoffliche Verwertung von Altholz - Rücknahme von Spanplatten und Altmöbeln für die
Spanplattenherstellung
VDI - Symposium: „Alt- und Restholz“, Düsseldorf 1996

EPS Münster

Untersuchung der Sperrmüllabfuhr in der Stadt Rheine
Münster, 1995

Färber Holzrecycling:

Firmeninformation

Frühwald, a.; Thoro, C.:

Verwertung von Holz als umweltfreundlichem Energieträger
Hamburg, 1993

Frühwald, A.; Wegener, G.:

Energiekreislauf Holz -ein Vorbild für die Zukunft
Holzcentralblatt Nr. 124, Seite 1949/50 und 1956

Frühwald, A.; Wegner, G., Krüger, S., Beudert, M.:

Informationsdienst Holz „Holz - ein Rohstoff der Zukunft
Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e. V., München 1994

Gallenkemper, B.; Oelgemöller, D.; Brunnert, M.:

Begleitende Untersuchung zur getrennten Erfassung kompostierbarer Stoffe des
Hausmülls“(Stadt Hamm)
Münster, 1991

Gallenkemper, B.; Oelgemöller, D.; Dornbusch, H.-J.; Brunnert, M.:

Grundlagedaten für die Umsetzung des Abfallwirtschaftskonzeptes des Kreises
Warendorf - Haus- und Gewerbeabfallanalyse-
Münster, 1992

Gallenkemper, B.; Gellenbeck, K.:

Minimierung von Abfällen auf der Baustelle
Vortrag auf der 2. Weimarer Fachtagung, Weimar, 1994

Gallenkemper, B.; Gellenbeck, K.; Behlau, M.; Helmer, L.:

Verstärkte Erschließung des Verwertungspotentials von Baustellenabfällen durch organisatorische und technische Maßnahmen; (unveröffentlicht)

Münster, 1994a

Gallenkemper, B.; Walter, G.; Willige, M.; Oelgemöller, D.:

Untersuchung zur Ermittlung der abschöpfbaren Wertstoffpotentiale in den Kreisen Borken und Coesfeld

Ahlen, 1995

Gallenkemper, B.; Oelgemöller, D.; Behlau, M.:

Begleitende Untersuchung zur getrennten Erfassung von kompostierbaren Stoffen und Verpackungsmaterialien aus Haushaltungen (Stadt Bochum)

Münster, 1995a

Gallenkemper, B.; Harms, S.:

Verfahrenstechnische Optimierung der Kompostierung von Klärschlamm mit hoher AOX-Belastung durch adaptierte Mikroorganismen, Teil II

Münster, 1995b

Gallenkemper, B.; Breer, J.; Kiefermann, S.:

Methodik der Abschätzung zukünftiger Restmüllmengen am Beispiel Nordrhein-Westfalen

Entsorga gGmbH, Köln 1996

Gallenkemper, B.; Walter, G.; Santjer, M.; Willige, M.; Reuter, R.:

Untersuchung zur Ermittlung der abschöpfbaren Wertstoffpotentiale in der Stadt Münster

Ahlen, Münster, 1996a

Gellenbeck, K.; Baucke, J.; Grünhagen, D.:

Untersuchung der Baustellenabfälle in der Stadt Dortmund

Münster, 1994

Hachmann, J.- M.:

Umweltschutzpotentiale der Holz-Branche im IHK-Bezirk Münster

Diplomarbeit an der Fachhochschule Münster, 1994

Hoffmann, V.:

Kontrolle der Brennstoffqualität und Möglichkeiten der Aussonderung besonders problematischer Hölzer

LUA NRW, Essen; Dez. 1995

Hoffmann, V.:

Zuordnungskriterien für Rest- und Altholz zur energetischen Verwertung und thermischen Behandlung

VDI - Symposium: „Alt- und Restholz“; Düsseldorf 1996

Ingenieurgesellschaft technischer Umweltschutz (ITU)

Abfallanalyse für die Stadt Köln

Berlin, 1993

Ingenieurgesellschaft technischer Umweltschutz (ITU)

Bundesweite Gewerbeabfalluntersuchung
Berlin, 1994

Ketelsen, K.

Grundlagen für integrierte Abfallwirtschaftskonzepte und abfallwirtschaftliche Planungen
Dissertation an der Universität Hannover, 1993

Ketelsen, K.:

Gewerbeabfall-Anfall und Verwertungspotential
in: Umsetzung neuer Abfallwirtschaftskonzepte, Band 3 der Veröffentlichungsreihe des Labor für Siedlungswasserwirtschaft der Fachhochschule Münster
Münster, 1991

Klassert, A:

Verwertung teerölimprägnierter Althölzer
mündl. Mitteilung, 1995

Kühne, Schwarz, U.:

Dekontaminierung durch Fermentation
Kurzschrift des Institutes für Holz- und Papiertechnik
Dresden, 1996

Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA):

Merkblatt : Entsorgung von Abfällen aus Verbrennungsanlagen für Siedlungsabfälle
in: Hösel, Schenkel, Schurer, Müllhandbuch, Kennzahl 7055,
Erich Schmidt Verlag, Berlin 1994

Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA):

Entwurf eines Arbeitspapiers zur „Definition und Abgrenzung von Abfallverwertung und Abfallbeseitigung nach dem Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz“
März, 1996

**Landesamt für Datenverarbeitung und Statistik Nordrhein-Westfalen;
Abfallentsorgungs- und Altlastensanierungsverband Nordrhein-Westfalen**

Abfallwirtschaft in Nordrhein-Westfalen 1990
Hattingen, 1993

Landesamt für Datenverarbeitung und Statistik Nordrhein-Westfalen:

Fläche und Bevölkerung nach Verwaltungsbezirken
Hattingen 1994

Landesamt für Datenverarbeitung und Statistik Nordrhein-Westfalen:

Abfallentsorgung im Produzierendem Gewerbe und in Krankenhäusern in Nordrhein-Westfalen
Hattingen, 1996

Landesumweltamt NRW:

Holzaschenanalysedatei (unveröffentlicht)
Düsseldorf, 1996

Leiß, B.:

Holzschutzmittel im Einsatz: Bestandteile, Anwendungen, Umweltbelastungen
Bauverlag 1992

Leukens, U.:

Ökonomische Aspekte bei der thermischen Verwertung von Alt- und Restholz in der
Holzwerkstoffindustrie
in: Holz-Zentralblatt 1996, Nr. 16, S. 271

Lütge, E.:

In Sack und Asche
in: Müllmagazin 1/1992, Seite 55-59

Mache, H.-M.:

Reste von Holz und Holzwerkstoffen - nur noch Müll?
in: Holz-Zentralblatt 1996, Nr. 64/65, S. 1049-1050

Marutzky, R.:

Holzreststoffe
in: Hösel, Schenkel, Schurer, Müllhandbuch, Kennzahl 8561,
Erich Schmidt Verlag, Berlin 1989

Marutzky, R.:

„Qualitätsanforderungen an die stoffliche und thermische Verwertung von Rest- und
Gebrauchthölzern“
VDI - Symposium: „Alt- und Restholz“, Düsseldorf 1996

Marutzky, R., Peek, R.-D., Willeitner, H.:

Informationsdienst Holz „Entsorgung von schutzmittelhaltigen Hölzern und Reststoffen“
Deutsche Gesellschaft für Holzforschung e. V., München 1993

Michanicki, A.; Boehme, C.:

Span- und Faserplatten aus Altmöbel und Produktionsresten
Kurzinformation des WKI, Braunschweig 1995

**Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes NRW
(MURL):**

Abfallbilanz NRW 1993 für Siedlungsabfälle
Düsseldorf, 1995

Molitor, H.-D.:

Resthölzer und Spanplatten als Ausgangsmaterial zur Herstellung von
Torfersatzstoffen für Substrate im Gartenbau
VDI - Symposium: „Alt- und Restholz“, Düsseldorf 1996

Neumüller, O. A. :

Römpps Chemielexikon
Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart, 1979

Noack, D.; Frühwald, A.:

Holz, Rohstoff der Zukunft: Auswirkungen der Energie- und Rohstoffkrise auf den
Rohstoff Holz
Allgemeine Forstzeitschrift, Nr. 36, S. 913-920

Nußbaumer, T.:

Aktuelle Anforderungen an emissionsarme Holzenergie-Anlagen
Holzcentralblatt 118, Nr. 146, S. 2401-2404

Pasel, Ch.:

Beseitigung von Holzabfall in Müllverbrennungsanlagen
VDI - Symposium: „Alt- und Restholz“; Düsseldorf 1996

Pohlandt, K.:

Zusammensetzung, Verwertung und Entsorgung von mineralischen Rückständen aus
der Verbrennung unbehandelter und behandelter Hölzer (Dissertation)
TU Braunschweig, 1994

Pohlandt, K.:

Zusammensetzung, Verwertung und Entsorgung von Holzaschen
Holzcentralblatt Nr. 79, 1995, S. 1305/13/14

Pohlandt, K.:

Entsorgung von Holzaschen
VDI - Symposium: „Alt- und Restholz“; Düsseldorf 1996

Roos, H.-J., Walker, I.:

Aufkommen, Zusammensetzung und Stand der Entsorgung von Bauabfällen
in: Bauabfallentsorgung; Tagungsband des 8. Aachener Kolloquiums Abfallwirtschaft
Aachen, 1995

Ruholl, H.

Labor Weßling, mündliche Mitteilung, 08.11. 1996

Schatt, W.:

Werkstoffe des Maschinen-, Anlagen-, und Apparatebaues
Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 4. Auflage, Leipzig 1991

Schiener, A.:

Chromfrei im Holzschutz setzt sich durch
in: Holz-Zentralblatt Nr. 97/98, 1996, B+H S. 6f

Schinol, G.

Aufbereitung von Baustellenabfall und Bauschutt
in : Umsetzung neuer Abfallwirtschaftskonzepte, Band 3 der Veröffentlichungsreihe
des Labor für Siedlungswasserwirtschaft der Fachhochschule Münster
Münster, 1991

Sell, J.:

Die Entsorgung von Fenstern, Fensterläden und Türen aus Holz und Holzwerkstoffen
in: Schweizer Ingenieur und Architekt 111, 1993, S. 609-612

Simatupang, M. H.; Lange, H.:

Herstellung Eigenschaften und Anwendung mineralisch gebundener Holzwerkstoffe,
1992

Speth, P.:

Betriebserfahrungen mit einer Sortieranlage für gemischte Baustellenabfälle
in : Umsetzung neuer Abfallwirtschaftskonzepte, Band 3 der Veröffentlichungsreihe
des Labor für Siedlungswasserwirtschaft der Fachhochschule Münster
Münster, 1991

Sponsel, K.; Wallenfang, W.O.; Walden, J.:

Lexikon der Anstrich-Technik 1
Verlag Callwey, 8. Auflage, München 1987

Steinmeyer, U.:

Der deutsche Industrieholzmarkt
in: Holz-Zentralblatt Nr. 119, 1993, S. 812 und 816

Thomé-Kozmienzy, K.-J.:

Thermische Abfallbehandlung
EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH, 2. Auflage, Berlin 1994

Tippkötter, R.:

Energetische Rest- und Altholzverwertung durch Hochtemperaturvergasung
in: Abfallwirtschaftsjournal, 6/96, S. 24-27

Töpfer Planung und Beratung GmbH:

Gewerbeabfallsichtung im Kreis Höxter
Aschaffenburg, 1995

Tuminski, R.:

Klärschlammkompostierung und landwirtschaftliche Nutzung als Mono- und
Mischprodukt
in: VDI Bildungswerk, Handbuch der Klärschlamm Entsorgung I, Daten - Dioxine -
Entwässerung - Verwertung - Entsorgungsvorschläge, Seminar 07./08.11.1989,
München

Unger, H.; Gernhardt, D.; Mohr, M.; Ziolk, A.:

Thermisch verwertbares Restholz der Holzbe- und verarbeitenden Betriebe im VEW-
Versorgungsgebiet
Institut für Berg- und Energierecht der Ruhr-Universität Bochum, 1995

UVE GmbH, Emscher Lippe Agentur GmbH:

Kooperation zum Aufbau einer Retroproduktion für Altholz
Herten, Gladbeck 1994

Vogt, M.:

Holzschutzmittel schnell erkennen
VDI - Symposium: „Alt- und Restholz“; Düsseldorf 1996

Voß, A.; Willeitner, H. :

Gesamtkonzept für die Entsorgung von schutzmittelhaltigen Hölzern;
Abschlußbericht für das Forschungsvorhaben 145 06 76 „Entsorgung“
Hamburg 1994

Voß, A.; Willeitner, H.:

Schutzmittelbehandelte Althölzer und ihre Entsorgung

in: Holz-Zentralblatt 18, 1996, S. 290

Willeitner, H.; Voß A.; Bucki, C.:

Stoffliche Verwertung kontaminierter Rest- und Althölzer

in: Holz, Erzeugung und Verwendung - Ein Kreislauf der Natur

München 1993, S. 105-111

Winkler, H. D.:

Problematik der Altholzentsorgung

8. Aachener Kolloquium Abfallwirtschaft, Aachen 1995

Winkler, H. D.:

Das Kreislaufwirtschafts und Abfallgesetz - Richtwerte für eine energetische

Verwertung von Abfällen in der Zementindustrie

Jahresbericht 1995a, Landesumweltamt NRW

Winkler, H. D.:

Problematik der Altholzentsorgung

bvse-Symposium: „Altholzrecycling“ Bonn 1996

Winkler, H. D.:

Ascheanalysen des Landesumweltamtes NRW (unveröffentlicht)

Düsseldorf, 1996a

Winkler, H. D.:

mündliche Mitteilungen, 1996b

**Schadstoffströme bei der Gebrauchtholz-
verwertung für ausgewählte Abfallarten
- Anlagenband -**

**im Auftrag des Landesumweltamtes NRW
Auftrags-Nr.: 03229**

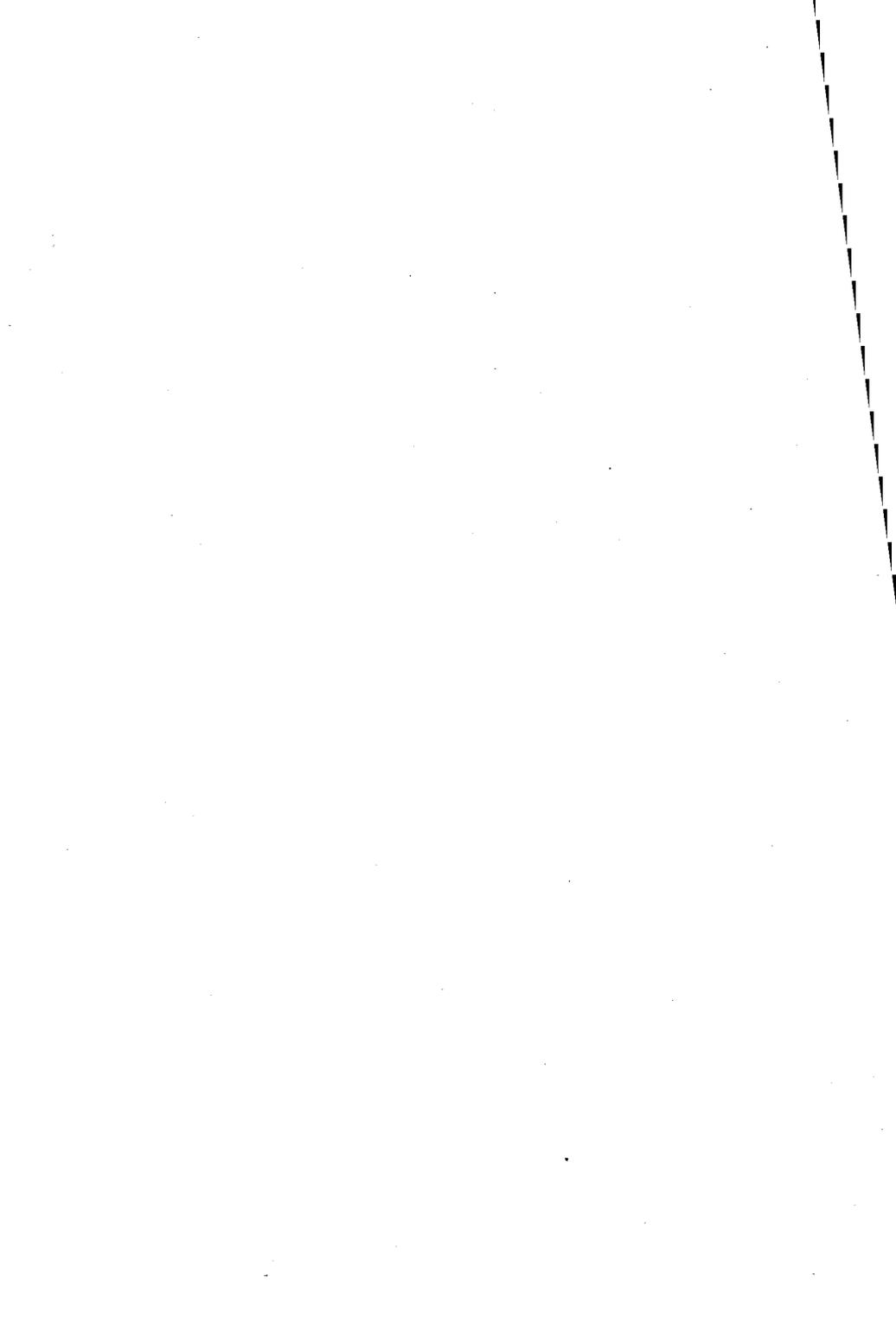
Institut für Abfall- und
Abwasserwirtschaft e. V.

Wissenschaftlicher Leiter:
Prof. Dr.-Ing. B. Gallenkemper
Bearbeiter:
Dipl.-Ing. S. Flamme
Dipl.-Ing. M. Fritsche
Dipl.-Ing. G. Hegemann
Dipl.-Ing. G. Walter

Ahlen, November 1996

Anhänge

Anhang A	Verunreinigungen im Holz
Anhang B	Rechtliche Grundlagen
Anhang C	Gebraucht- und Restholzmenge in NRW -Daten- grundlagen
Anhang D	Fragebogen
Anhang E	Verunreinigungen in Recyclinghackschnitzeln - Datengrundlage, Versuchsablauf und Analysener- gebnisse
Anhang F	Fotodokumentation
Anhang G	Klärschlamm-Recyclingholz-Kompostierung
Anhang H	Holzaschen - Analysenergebnisse
Anhang J	Güteüberwachung



Anhang A

Stör- und Schadstoffe - Ergänzungen -

Seite

A 1: Geschichte der Holzschutzmittel (LEISSE, 1992)	2
A 2: Vereinfachte Übersicht über Holzschutzmitteltypen und ihre Wirksamkeit (LEISSE, 1992).....	3
A 3: Organische Bindemittel in der Holzwerkstoffindustrie (DEPPE et al., 1991)	4
A 4: Beschichtungen in der Holzwerkstoffindustrie (DEPPE et al., 1991)	4
A 5: Analysedaten zu reinem Holz (BOCKELMANN, 1996)	5
A 6: Verunreinigungsgrenzwerte für die Verwertung in der Holzwerk- stoffindustrie (definiert von einem Spanplattenhersteller).....	5

A 1 Geschichte der Holzschutzmittel (LEISSE, 1992)

Jahr	Holzschutzmittel
bis 19. Jh.	Sublimat (Quecksilberchlorid), Kupferverbindungen (Vitriol), Arsensalze gegen Wurmfraß
ab 1813	Sublimatversuche
1832	Patenterteilung Sublimat, Steinkohlenteere
1838	Patent zur Kesseldruckimprägnierung und zur industrielle Anwendung von Steinkohlenteeröl (Belhell) und Zinkchlorid (Burnett)
ab 1862	Forschungen zur "Verwesung" des Holzes
1903/1904	Fluorsalze und Fluorsalze in Kombination mit Chrom
20er Jahre	Erzeugung von chlorierten Naphthalinen gegen Holzschädlinge, "Xylamon"
bis Mitte des 20. Jh.	Hauptteil der Holzschutzmittel sind Chlornaphthaline, Steinkohlenteeröle, anorganische Salze auf Basis von Quecksilber-, Arsen-, Kupfer- und diversen Fluorverbindungen
40er Jahre	Entdeckung des DDT als Insektizid, chlorierte Kohlenwasserstoffe als neue Holzschutzgruppe, organische Kontaktinsektizide wie Hexachlorcyclohexan und E605 als Holzschutz
50er Jahre	Pilzgift Pentachlorphenol aus den USA ('89 Pentachlorphenolverbotsverordnung)
70er Jahre	hoher Holzschutzmittelmisbrauch durch chemische Holzschutzmittel in Wohnhäusern
heute	Versuch die mißbräuchliche Entwicklung zu korrigieren, Neufassung der DIN 68 800: Holzschutz im Hochbau T 1- T 5

A 2 Vereinfachte Übersicht über Holzschutzmitteltypen und ihre Wirksamkeit (LEISSE, 1992)

Beschreibung	Wirkstoffbasis	Schutzmitteltyp	Wirkstoffe	Wirksamkeit ¹⁾
wasserlöslich	anorganische Wirkstoffe	CF-Salz	Fluorverbindungen Chromverbindungen	P, Iv, W
		CFA-Salz	Fluorverbindungen Arsenverbindungen Chromverbindungen	P, Iv, W
CFB-Salz		Fluorverbindungen Borverbindungen Chromverbindungen	P, Iv, W	
SF-Salz		Fluorverbindungen	P, Iv	
HF-Salz		Fluorverbindungen	P, Iv ²⁾	
B-Salz		Borverbindungen	P, Iv	
CK-Salz		Kupferverbindungen Chromverbindungen	P, Iv, W, E	
CKB-Salz		Kupferverbindungen Borverbindungen Chromverbindungen	P, Iv, W, E	
CKF-Salz		Kupferverbindungen Fluorverbindungen (ggf. Zinkverbindg.) Chromverbindungen	P, Iv, W, E	
CKA-Salz		Kupferverbindungen Arsenverbindungen Chromverbindungen	P, Iv, W, E	
	organische und evtl. anorganische Wirkstoffe	sonstige (uneinheitliche Bezeichnungen)	Kupfer-HDO anorg. Borverbindg. anorg. Kupferverbfg. Alkylammonium Tridemorphfluoroborat	P, Iv, teilweise W, E
Steinkohlenteeröl	ausgewählte Fraktionen des Steinkohlenteeröls		überwiegend aromatische Kohlenwasserstoffe, saure und basische Teeröle	P, Iv, W, E
lösemittelhaltig	organische Wirkstoffe	Imprägnierungen, Grundierungen, Lasuren (Unterscheidung nach Gehalt an Lösemitteln, Bindemitteln und Pigmenten)	org. Fungizide: Dichlofluamid, Propiconazol, Tebuconazol, Pentachlorphenol, org. Zinkverbindungen, Xyligen Al, Xyligen B org. Insektizide: Cypermethrin, Deltamethrin, Lindan, Permethrin	P, Iv ²⁾ , meist W

¹⁾ P = pilzwidrig; Iv = insektenvorbauend; W = in der Witterung ohne ständigen Erd- bzw. Wasserkontakt geeignet; E = in der Witterung mit ständigem Erd- bzw. Wasserkontakt geeignet

²⁾ mit manchen dieser Holzschutzmittel sind auch Bekämpfungsmaßnahmen gegen Insekten durchführbar

A 3 Organische Bindemittel in der Holzwerkstoffindustrie (DEPPE et al., 1991)

Klebstofftyp	Bemerkungen
Formaldehydharze	- kommt zu Abspaltungen; Maximalwerte für entstehende Luftbelastungen in einigen europäischen Ländern gesetzlich geregelt
<ul style="list-style-type: none"> • Harnstoff-Formaldehyd-Harze (UF-Harze) • Melamin-Formaldehyd-Harze (MF-Harze) • Phenol-Formaldehyd-Harze (PF-Harze) 	<ul style="list-style-type: none"> - Einsatz zu 90 % - Formaldehydabspaltung - niedrige Feuchtebeständigkeit - günstigstes Bindemittel - Kombination mit UF-Harzen (wird feuchtebeständiger) - Mischung (i. d. R.): 45 % MF-, 55 % UF-Harze - weiteres wichtiges Bindemittel neben UF-Harzen - feuchtebeständige Verleimungen - mögliche Wasseranreicherung in den Platten durch Alkaliesalze
Isocyanate	<ul style="list-style-type: none"> - wasser- und lösungsmittelfreie org. Lösungen - von geringerer Bedeutung - entstehen keine hydroskopischen Salze und kein Formaldehydgas - prozeßtechnische Probleme (Verkleben der Pressen)
Sulfitablauge	<ul style="list-style-type: none"> - lange Herstellungsdauer der Holzwerkstoffe - brüchiges Endprodukt - geringes Quellen
Thermoplastische-Klebstoffe	<ul style="list-style-type: none"> - thermoplastische Basis (PVA, PVC) - verhältnismäßig teuer - keine Bedeutung

A 4 Beschichtungen in der Holzwerkstoffindustrie (DEPPE et al., 1991)

Beschichtungstyp	Bemerkungen
Flüssigbeschichtungen	<ul style="list-style-type: none"> - luft- oder strahlungsgehärtete transparente oder pigmentierte Spachtel oder Lacksysteme - (UV-gehärtete Polyester-, SH-, PU-, Alkydharz-, NC-Lacke („Wasserlacke“, „High-Solid-Lacke“))
Folienbeschichtungen	<ul style="list-style-type: none"> - als Grundier- oder Dekorfolien - Aufkaschieren von z. B.: Dünnpapierfolien, Thermoplastfolien, Furnier- und Schichtpreßstoffplatten - mit Aminoplast-, PVAc-, Heißsiegel-, UF- oder ähnlichen Klebern
Preßbeschichtungen	- Verpressen von selbsthärtenden, kunstharzgetränkten UF/MF/PF-Papieren auf Trägerplatten unter Druck und meist auch Temperatur

A 5 Analysedaten zu reinem Holz (BOCKELMANN, 1996)

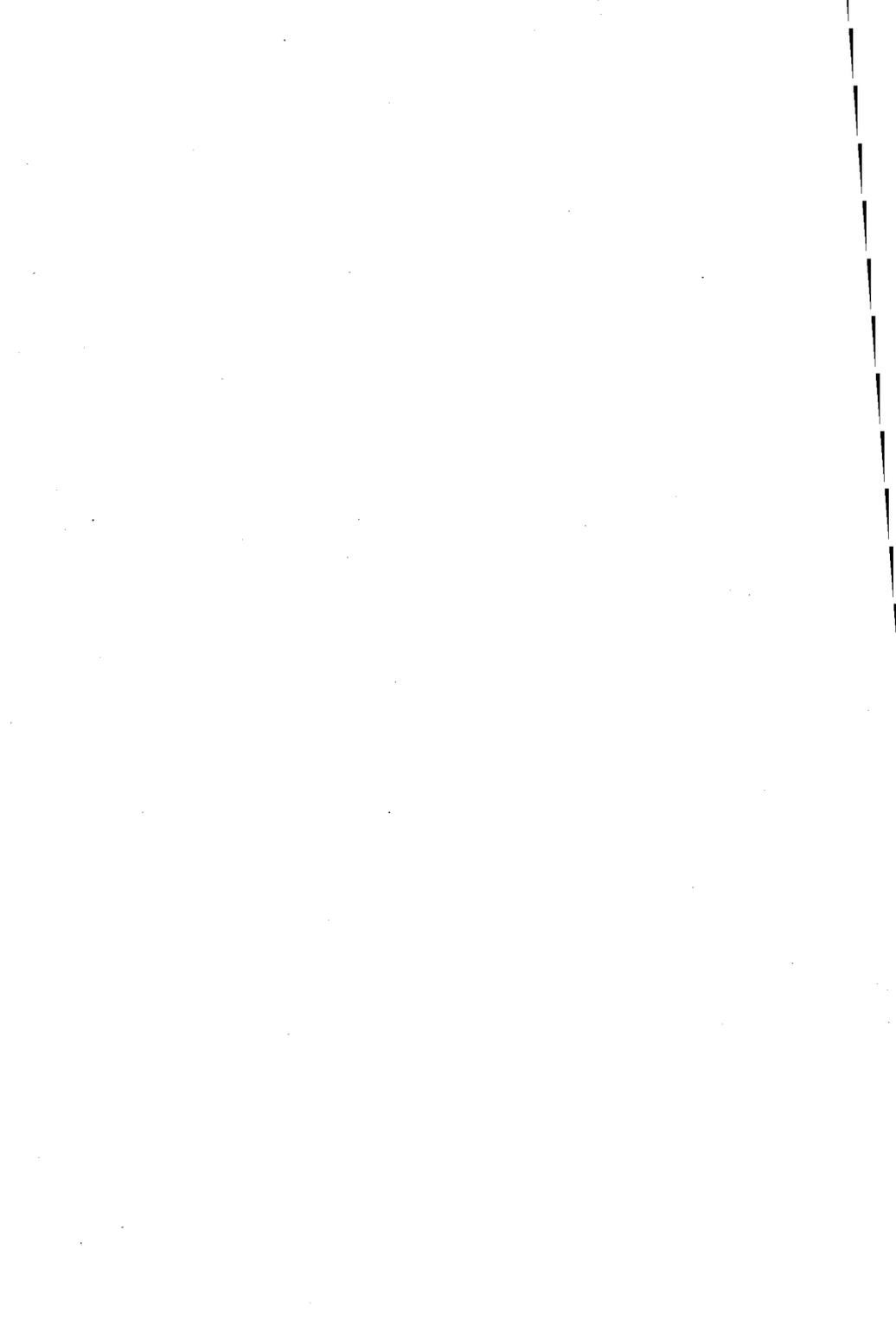
Probe	Feuchte, Asche, Bor, Chlor, Fluor					Schwermetalle								PCP, Lindan	
	Feuchte [%]	Asche [%]	B [mg/kg]	Cl [mg/kg]	F [mg/kg]	As [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Cd [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Hg [mg/kg]	Ba [mg/kg]	Zn [mg/kg]	PCP [mg/kg]	Lindan [mg/kg]
Buche	9,6	0,6	7,9	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	0,14	<
Fichte	8,4	0,3	6,7	124	3,1	<	<	0,8	<	<	<	<	12,3	0,18	<
Kiefer 1	10,0	0,3	5,3	<	<	<	<	<	<	<	<	<	6,8	<	0,24
Kiefer 2	37,0	0,5	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	8,0	<	0,1
Kiefer 3	15,6	0,3	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	5,0	<	<
Lärche	10,1	0,4	10,2	107	<	<	5,8	<	<	<	<	<	7,4	<	<
Holunder	9,0	1,1	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<	2,3	<	<
Eiche	10,0	0,4	7,5	<	<	<	<	<	<	2,2	<	<	<	<	<
Birke	7,9	0,6	5,3	<	<	<	<	<	<	<	<	<	33,7	<	0,18
Douglaise	9,4	0,1	9,7	<	<	<	<	<	<	<	<	<	4,7	<	<
Pappel	7,8	0,7	14,4	121	<	<	<	<	<	<	<	<	5,7	<	<
Red Meranti	10,6	0,4	6,4	<	5,1	<	<	<	<	<	<	<	3,3	<	<
Cedrela	8,2	0,5	13,4	56	5,0	<	<	<	<	<	<	<	0,13	<	n.b.b.
Kolbe	8,1	1,3	12,6	65	3,9	<	<	<	<	4,8	<	<	0,25	<	<
Sipo	8,8	1,0	7,7	68	2,7	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<
Bangkirai	8,0	0,2	<	<	5,6	<	<	<	<	<	<	<	<	<	<

< : kleiner Nachweisgrenze

n.b.b.: nicht bestimmbar

A 6 Verunreinigungsgrenzwerte für die Verwertung in der Holzwerkstoffindustrie (definiert von einem Spanplattenhersteller)

Element	Annahmeforderungen von Verwertern [mg/kg]
Chlor	500
Fluor	50
Arsen	25
Chrom	60
Quecksilber	60
PCP	5
Lindan	2
Cadmium	75
Blei	90



Anhang B

Rechtliche Grundlagen - Bezeichnungen und Grenzwerte -

Seite

B 1: Nicht besonders überwachungsbedürftige Holzabfälle nach LAGA- Katalog (Auszug).....	2
B 2: Holzabfälle nach dem Abfallartenkatalog der AbfBestV (Auszug).....	3
B 3: Holzabfälle nach dem Europäischen Abfallkatalog (Auszug).....	4
B 4: Anhang I. Abfallgruppen (KrW-/AbfG).....	5
B 5: Zuordnungskriterien für Deponien nach TASI (Anhang B).....	6
B 6: Zuordnungskriterien nach TA Abfall (Anhang D).....	7
B 7: Zusammenstellung der Verordnungen und Verwaltungsvorschriften zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes für die Verbrennung von Holz.....	8
B 8: Emissionsgrenzwerte für Zementwerke (TA Luft) und Abfallverbrennungsanlagen (17. BImSchV).....	9

B 1 Nicht besonders überwachungsbedürftige Holzabfälle nach LAGA- Katalog (Auszug)

Abfallschlüssel-Nr.	Bezeichnung	Herkunft
17	Holzabfälle	
171	Holzabfälle aus der Be- und Verarbeitung	
171 01	Rinden	Sägewerk, Zellstoff-, Holzschliff- und Papiererzeugung
171 02	Schwarten, Spreißel	Sägewerk, Holzverarbeitung
171 03	Sägemehl und Sägespäne	Sägewerk, Holzverarbeitung
171 04	Holzschleifstäube und Schlämme	Herstellung von Sperrholz, Holzfaserplatten und Holzspanplatten, Holzverarbeitung
171 14	Schlamm und Staub aus der Spanplattenherstellung	Herstellung von Holzspanplatten
172	Holzabfälle aus der Anwendung	
172 01	Holzballagen, Holzabfälle	Gewerbliche Wirtschaft
172 02	Bau- und Abbruchholz	Baugewerbe, Gebäudeabbruch, Gewerbliche Wirtschaft
172 03	Holzwohle	Gewerbliche Wirtschaft
172 04	Spurlatten und Einstriche	Bergbau
172 05	Holzhorden aus der Koksgasreinigung	Kokereien, Gaswerke
172 06	Holzhorden mit Schwefelanhaftung	Kokereien, Gaswerke

B 2 Holzabfälle nach dem Abfallartenkatalog der AbfBestV (Auszug)

Abfall- schlüssel- Nr.	Bezeichnung	Herkunft	Entsorgungshinweise, sofern Verwer- tungsprüfung nach Nr. 4.3 negativ.				
			HMV	SAV	HMD	SAD	Sonst.
17	Holzabfälle						
172	Holzabfälle aus der Anwendung						
172 08	Pfähle und Mast- en, kyanisiert	Freileitungsbau, Hopfenanbau				1	Mono- deponie
172 11	Sägemehl und - späne, ölgetränkt oder mit schäd- lichen Verunrei- nungen, vorwie- gend organisch	Aufsaugen von Mineralöl, orga- nischen Flüssig- keiten und Schlämmen, Schadensfälle, Holz imprägnier- anlagen	2	1			
172 12	Sägemehl und - späne mit schäd- lichen Verunrei- nungen, vorwie- gend anorganisch	Aufsaugen von Flüssigkeiten und Schlämmen, Schadensfälle, Holz imprägnier- anlagen	2		2	1	
172 13	Holzabfälle und - behältnisse mit schädlichen Ver- unreinigungen, vorwiegend orga- nisch	Baugewerbe, Transportgewerbe, Gebäudeabbruch, Gewerbliche Wirt- schaft, Land- schafts- und Gar- tenbau	2	1			
172 14	Holzabfälle und - behältnisse mit schädlichen Ver- unreinigungen, vorwiegend anor- ganisch	Baugewerbe, Transportgewerbe, Gebäudeabbruch, Gewerbliche Wirt- schaft, Land- schafts- und Gar- tenbau			2	1	

B 3 Holzabfälle nach dem Europäischen Abfallkatalog (Auszug)

Abfallschlüssel-Nr.	Bezeichnung
03 00 00	Abfälle aus der Holzverarbeitung und der Herstellung von Zellstoffen, Papier, Pappe, Platten und Möbeln
03 01 00	Abfälle aus der Holzbearbeitung und der Herstellung von Platten und Möbeln
03 01 01	Rinden und Korbabfälle
03 01 02	Sägemehl
03 01 03	Späne, Abschnitte, Verschnitt von Holz, Spanplatten und Furnieren
03 01 99	Abfälle a. n. g.
03 02 00	Abfälle aus der Holzkonservierung
03 02 01	halogenfreie organische Holzkonservierungsmittel
03 02 02	chlororganische Holzkonservierungsmittel
03 02 03	metallorganische Holzkonservierungsmittel
03 02 04	anorganische Holzkonservierungsmittel
03 03 00	Abfälle aus der Herstellung und Verarbeitung von Zellstoff, Papier und Pappe
03 03 01	Rinde
03 03 02	Bodensatz und Sulfitschlämme (aus der Behandl. von Sulfidablauge)
03 03 03	Bleichschlämme aus Hypochlorid- und Chlorbleiche
03 03 04	Bleichschlämme aus anderen Bleichprozessen
03 03 05	Deinkingschlämme aus dem Papierrecycling
03 03 06	Faser- und Papierschlämme
03 03 07	Abfälle aus der Aufbereitung von Altpapier und gebrauchter Pappe
03 03 99	Abfälle a. n. g.

B 4 Anhang I. Abfallgruppen (KrW-/AbfG)

Gruppe	Bezeichnung
Q 1	Nachstehend nicht näher beschriebene Produktions- und Verbrauchsrückstände
Q 2	Nicht den Normen entsprechende Produkte
Q 3	Produkte, bei denen das Verfalldatum überschritten ist
Q 4	Unabsichtlich ausgebrachte oder verlorene oder von einem sonstigen Zwischenfall betroffene Produkte einschließlich sämtlicher Stoffe, Anlagenteile usw., die bei einem solchem Zwischenfall kontaminiert worden sind
Q 5	Infolge absichtlicher Tätigkeiten kontaminierte oder verschmutzte Stoffe (z. B. Reinigungsrückstände, Verpackungsmaterial, Behälter usw.)
Q 6	Nichtverwendbare Elemente (z. B. verbrauchte Batterien, Katalysatoren usw.)
Q 7	Unverwendbar gewordene Stoffe (z. B. kontaminierte Säuren, Lösungsmittel, Härtesalze usw.)
Q 8	Rückstände aus industriellen Verfahren (z. B. Schlacken, Destillationsrückstände usw.)
Q 9	Rückstände von Verfahren zur Bekämpfung der Verunreinigung (z. B. Gaswaschschlamm, Luftfilterrückstand, verbrauchte Filter usw.)
Q 10	Bei maschineller und spanender Formgebung anfallende Rückstände (z. B. Dreh- und Fräsespäne usw.)
Q 11	Bei der Förderung und der Aufbereitung von Rohstoffen anfallende Rückstände (z. B. im Bergbau, bei der Erdölförderung usw.)
Q 12	Kontaminierte Stoffe (z. B. mit PCB verschmutztes Öl usw.)
Q 13	Stoffe oder Produkte aller Art, deren Verwendung gesetzlich verboten ist
Q 14	Produkte, die vom Besitzer nicht oder nicht mehr verwendet werden (z. B. in der Landwirtschaft, den Haushaltungen, Büros, Verkaufsstellen, Werkstätten usw.)
Q 15	Kontaminierte Stoffe oder Produkte, die bei der Sanierung von Böden anfallen
Q 16	Stoffe oder Produkte aller Art, die nicht einer der oben erwähnten Gruppen angehören

B 5 Zuordnungskriterien für Deponien nach TASI (Anhang B)

Nr.	Parameter	Zuordnungswerte	
		Deponiekl. I	Deponiekl. II
1	Festigkeit		
1.01	Flügelscherfestigkeit	$\geq 25 \text{ kN/m}^2$	$\geq 25 \text{ kN/m}^2$
1.02	Axiale Verformung	$\leq 20\%$	$\leq 20\%$
1.03	Einaxiale Druckfestigkeit	$\geq 50 \text{ kN/m}^2$	$\geq 50 \text{ kN/m}^2$
2	Organischer Anteil des Trockenrückstandes der Originalsubstanz		
2.01	bestimmt als Glühverlust	$\leq 3 \text{ Masse-\%}$	$\leq 5 \text{ Masse-\%}$
2.02	bestimmt als TOC	$\leq 1 \text{ Masse-\%}$	$\leq 3 \text{ Masse-\%}$
3	Extrahierbare lipophile Stoffe der Originalsubstanz		
4	Eluatkriterien		
4.01	pH-Wert	5,5-13,0	5,5-13,0
4.02	Leitfähigkeit	$\leq 10.000 \text{ } \mu\text{S/cm}$	$\leq 50.000 \text{ } \mu\text{S/cm}$
4.03	TOC	$\leq 20 \text{ mg/l}$	$\leq 100 \text{ mg/l}$
4.04	Phenole	$\leq 0,2 \text{ mg/l}$	$\leq 50 \text{ mg/l}$
4.05	Arsen	$\leq 0,2 \text{ mg/l}$	$\leq 0,5 \text{ mg/l}$
4.06	Blei	$\leq 0,2 \text{ mg/l}$	$\leq 1 \text{ mg/l}$
4.07	Cadmium	$\leq 0,05 \text{ mg/l}$	$\leq 0,1 \text{ mg/l}$
4.08	Chrom-VI	$\leq 0,05 \text{ mg/l}$	$\leq 0,1 \text{ mg/l}$
4.09	Kupfer	$\leq 1 \text{ mg/l}$	$\leq 5 \text{ mg/l}$
4.10	Nickel	$\leq 0,2 \text{ mg/l}$	$\leq 1 \text{ mg/l}$
4.11	Quecksilber	$\leq 0,005 \text{ mg/l}$	$\leq 0,02 \text{ mg/l}$
4.12	Zink	$\leq 2 \text{ mg/l}$	$\leq 5 \text{ mg/l}$
4.13	Fluorid	$\leq 5 \text{ mg/l}$	$\leq 25 \text{ mg/l}$
4.14	Ammonium-N	$\leq 4 \text{ mg/l}$	$\leq 200 \text{ mg/l}$
4.15	Cyanide, leicht freisetzbar	$\leq 0,1 \text{ mg/l}$	$\leq 0,5 \text{ mg/l}$
4.16	AOX	$\leq 0,3 \text{ mg/l}$	$\leq 1,5 \text{ mg/l}$
4.17	Wasserlöslicher Anteil (Abdampfrückstand)	$\leq 3 \text{ Masse-\%}$	$\leq 6 \text{ Masse-\%}$

B 6 Zuordnungskriterien nach TA Abfall (Anhang D)

Nr.	Parameter	Zuordnungswert
D1	Festigkeit	
D1.01	Flügelscherfestigkeit	$\geq 25 \text{ kN/m}^2$
D1.02	Axiale Verformung	$\leq 0,2$
D1.03	Einaxiale Druckfestigkeit (Fließwert)	$\geq 50 \text{ kN/m}^2$
D2	Glühverlust des Trockenrückstandes der Originalsubstanz	$\leq 10 \text{ Gew.-%}$
D3	Extrahierbare lipophile Stoffe	$\leq 4 \text{ Gew.-%}$
D4	Eluatkriterien	
D4.01	pH-Wert	4 bis 13
D4.02	Leitfähigkeit	$\leq 100.000 \text{ } \mu\text{S/cm}$
D4.03	TOC	$\leq 200 \text{ mg/l}$
D4.04	Phenole	$\leq 100 \text{ mg/l}$
D4.05	Arsen	$\leq 1 \text{ mg/l}$
D4.06	Blei	$\leq 2 \text{ mg/l}$
D4.07	Cadmium	$\leq 0,5 \text{ mg/l}$
D4.08	Chrom-VI	$\leq 0,5 \text{ mg/l}$
D4.09	Kupfer	$\leq 10 \text{ mg/l}$
D4.10	Nickel	$\leq 2 \text{ mg/l}$
D4.11	Quecksilber	$\leq 0,1 \text{ mg/l}$
D4.12	Zink	$\leq 10 \text{ mg/l}$
D4.13	Fluorid	$\leq 50 \text{ mg/l}$
D4.14	Ammonium	$\leq 1000 \text{ mg/l}$
D4.15	Chlorid	$\leq 10000 \text{ mg/l}$
D4.16	Cyanide, leicht freisetzbar	$\leq 1 \text{ mg/l}$
D4.17	Sulfat	$\leq 5000 \text{ mg/l}$
D4.18	Nitrit	$\leq 30 \text{ mg/l}$
D4.19	AOX	$\leq 3 \text{ mg/l}$
D4.20	Wasserlöslicher Anteil	$\leq 10 \text{ Gew.-%}$

B 7 Zusammenstellung der Verordnungen und Verwaltungsvorschriften zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes für die Verbrennung von Holz

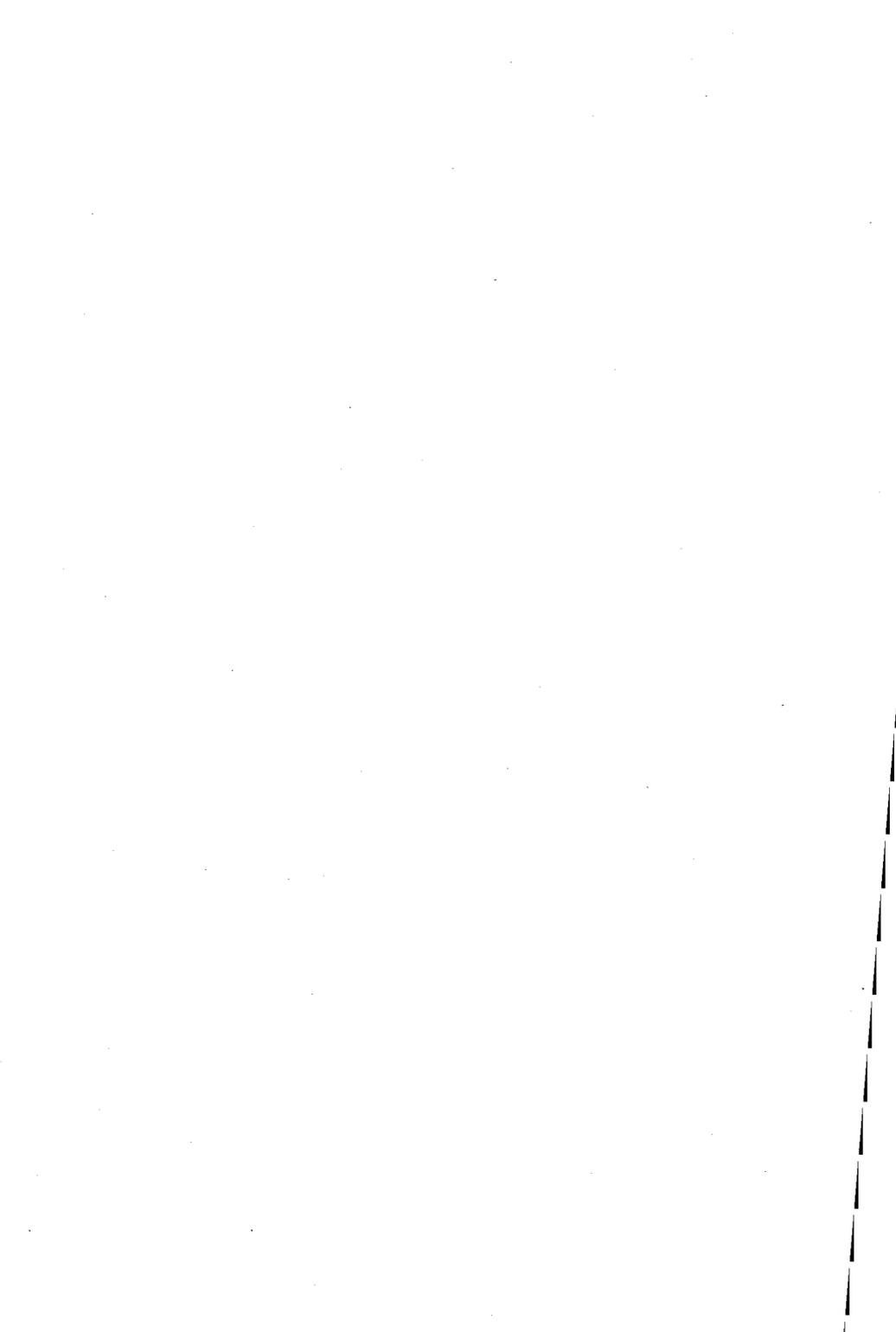
VO/VwV	Anwendungsbereich
1. BImSchV	<p>⇒ naturbelassenes Holz</p> <ul style="list-style-type: none"> - gilt für Errichtung, Beschaffenheit und Betrieb von Feuerungsanlagen, die keiner Genehmigung nach §4 BImSchG bedürfen (kleiner als 1 MW Feuerungswärmeleistung)
4. BImSchV	<p>⇒ gestrichenes, lackiertes, beschichtetes Holz oder Holzwerkstoffe</p> <ul style="list-style-type: none"> - gilt für Errichtung und Betrieb von genehmigungsbedürftigen Anlagen, betroffen sind Holzfeuerungsanlagen ⇒ Holz <i>ohne</i> halogenorganische Beschichtung und <i>ohne</i> Holzschutzmittel <ul style="list-style-type: none"> - Anlagen aus dem Anhang Nr. 1.2 (TA-Luft) ⇒ Holz <i>mit</i> halogenorganischer Beschichtung und <i>ohne</i> Holzschutzmittel <ul style="list-style-type: none"> - Anlagen aus dem Anhang Nr. 1.3 (TA-Luft) ⇒ Holz <i>mit</i> halogenorganischer Beschichtung und <i>mit</i> Holzschutzmittel <ul style="list-style-type: none"> - Anlagen aus dem Anhang Nr. 1.3 (17. BImSchV) - förmliches Genehmigungsverfahren nach §10 BImSchG für Anlagen in Spalte 1 des Anhangs (gem. 1.2 des Anhangs: ab 50 MW Feuerungswärmeleistung; gem. 1.3 des Anhangs: ab 1 MW Feuerungswärmeleistung) - vereinfachtes Genehmigungsverfahren nach §19 BImSchG für Anlagen nach Spalte 2 des Anhangs (gem. 1.2 des Anhangs: 1-50 MW Feuerungswärmeleistung; gem. 1.3 des Anhangs: 0,1-1 MW Feuerungswärmeleistung)
17. BImSchV	<p>⇒ Holz <i>mit</i> Holzschutzmittel</p> <ul style="list-style-type: none"> - gilt für Errichtung, Beschaffenheit und Betrieb von Anlagen, in denen feste oder flüssige Abfälle oder ähnlich feste oder flüssige brennbare Stoffe verbrannt werden - gilt nicht für Verbrennungseinheiten, die – abgesehen vom Einsatz der in Nr. 1.2 des Anhangs der 4.BImSchV genannten Stoffe – ausschließlich für den Einsatz von Holz und Holzresten, einschließlich Sperrholz, Spanplatten, Faserplatten oder sonst verleimtem Holz mit Beschichtungen aus halogenorganischen Verbindungen bestimmt sind - für Anlagen gem. Anhang der 4.BImSchV, in denen feste oder flüssige Abfälle oder andere brennbare Stoffe eingesetzt werden, und deren Anteil an der Feuerungswärmeleistung: <ul style="list-style-type: none"> < 25% ist, gilt nur §5 (Emissionsgrenzwerte) der 17. BImSchV für den Abgasstrom, der bei der Verbrennung der holzschutzmittelbehandelten Hölzer und des dafür zusätzlich benötigten Brennstoffes entsteht; für den Rest des Abgasstromes gilt die TA-Luft (höhere zulässige Grenzwerte als 17.BImSchV). > 25% ist, gilt die 17. BImSchV im vollen Umfang. - Für die Gesamtbegrenzung der Emissionen einer Anlage werden im Genehmigungsbescheid Mischwerte festgelegt.
TA Luft (1.BImSchVwV)	<ul style="list-style-type: none"> - gilt für die genehmigungsbedürftigen Anlagen nach §4 BImSchG i.V. mit dem Anhang der 4. BImSchV - enthält Vorschriften zur Reinhaltung der Luft, die zu beachten sind bei Erteilung einer Genehmigung zur Errichtung und zum Betrieb einer Anlage (§6 BImSchG) - Anordnung über Ermittlung von Art und Ausmaß der von einer Anlage ausgehenden Emissionen sowie der Immissionen im Einwirkungsbereich der Anlage (§26 BImSchG)

B 8 Emissionsgrenzwerte für Zementwerke (TA Luft) und Abfallverbrennungsanlagen (17. BImSchV)

Emission	TA-Luft	17. BImSchV
Gesamtstaub	50 mg/m ³	10 mg/m ³ ¹⁾
Hg, Cd, Tl (Klasse I)	0,2 mg/m ³	---
Hg	---	0,05 mg/m ³
Cd, Tl	---	0,05 mg/m ³
As, Co, Ni, Se, Te		
(Klasse II)	1 mg/m ³	---
(Klasse III)	5 mg/m ³	---
Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn	---	0,5 mg/m ³
SO ₂ , SO ₃	400 mg/m ³	50 mg/m ³ ¹⁾
NO _x	1300 mg/m ³ ²⁾	200 mg/m ³ ¹⁾
HCL	30 mg/m ³	10 mg/m ³ ¹⁾
HF	5 mg/m ³	1 mg/m ³ ¹⁾
Gesamtkohlenstoff	---	10 mg/m ³ ¹⁾
CO	---	50 mg/m ³ ¹⁾
Dioxine und Furane	---	0,1 ng/m ³ TEQ

¹⁾ Tagesmittelwerte, Halbstundenmittelwerte dürfen diese überschreiten

²⁾ 1300 mg/m³ für Zementofen mit Zyklonvorwärmer und Abgaswärmenutzung, 1800 mg/m³ für Zyklonvorwärmer ohne Abgaswärmenutzung, 1500 mg/m³ für Öfen mit Rostvorwärmer



Anhang C

Gebraucht- und Restholzmenge in NRW - Datengrundlagen -

Seite

C 1: Definition der Gebietsstrukturen (GALLENKEMPER, 1977)	3
C 2: Aufteilung der Bezirksregierungen in NRW anhand der Einwohnerdichte in ländliche und städtische Regionen	4
C 3: Aufkommen der gebraucht- und restholzrelevanten Abfallfraktionen (1993) an den öffentlichen Entsorgungsanlagen der Regierungsbezirke in NRW (LDS, 1996)	5
C 4: Spezifische Gebraucht- und Restholzanteile in ausgewählten Abfallfraktionen für die Regierungsbezirke in NRW unter der Berücksichtigung des Verhältnisses <u>ländlich/städtisch</u>.....	5
C 5: Angaben zu der 1993 an öffentlichen Entsorgungsanlagen angelieferten Gebraucht- und Restholzmenge in den einzelnen Regierungsbezirken (Reg.-Bez.).....	6
C: 5.1 Reg.-Bez. Arnsberg.....	6
C: 5.2 Reg.-Bez. Detmold.....	6
C: 5.3 Reg.-Bez. Düsseldorf.....	7
C: 5.4 Reg.-Bez. Köln.....	8
C: 5.5 Reg.-Bez. Münster.....	8
C: 6 Zusammenfassung der Varianten 1 bis 3 mit den produktionsspezifischen Abfällen (NRW)	9
C: 7 Unterteilung der 1993 an öffentlichen Entsorgungsanlagen angelieferten Gebraucht- und Restholzmenge (NRW) in die Gruppen „unbehandeltes“ Holz, behandeltes Holz und Möbel nach den drei Varianten	10
C: 7.1 Nach Variante 1	10
C: 7.2 Nach Variante 2	10
C: 7.3 Nach Variante 3	11
C: 8 An gewerblich betriebenen Entsorgungsanlagen angelieferte Gebraucht- und Restholzmenge in NRW (Varianten 1 bis 3).....	12

C: 9 Mengenströme des 1993 an Entsorgungsanlagen angelieferten Ge- braucht- und Restholzes in NRW.....	13
C: 10 Entsorgungswege der gebraucht- und restholzrelevanten Abfall- fraktionen (1993) in den Regierungsbezirken (LDS, 1996).....	13
C: 11 Mengenströme des 1993 an Entsorgungsanlagen angelieferten Gebraucht- und Restholzes in den Regierungsbezirken (Reg.-Bez.).....	14
C: 11.1 Reg.-Bez. Arnberg	14
C: 11.2 Reg.-Bez. Detmold.....	14
C: 11.3 Reg.-Bez. Düsseldorf.....	15
C: 11.4 Reg.-Bez. Köln.....	15
C: 11.5 Reg.-Bez. Münster.....	15

C 1 Definition der Gebietsstrukturen (GALLENKEMPER, 1977)

GS	Beschreibung der Gebietsstruktur	
1	Citygebiete:	gekennzeichnet durch eine hohe Bebauung mit mindestens drei Vollgeschossen und einem hohen Anteil an Gewerbegebieten, starke Behinderung durch den Verkehr, enge bauliche Verhältnisse und schwierig zu erreichende oder weit entfernte Standplätze
2	geschlossene Mehrfamilienhausbebauung:	geschlossene, innerstädtische Bebauung mit mindestens drei Vollgeschossen oder mindestens sechs Wohneinheiten je Hauseingang (große Behälterzahl je Ladepunkt, oft weite Antransportwege der Sammelbehälter)
3	offene Mehrfamilienhausbebauung:	moderne Wohnsiedlung mit Mehrfamilienhäusern, mindestens drei Vollgeschossen und mindestens sechs Wohneinheiten je Hauseingang (große Behälterzahl je Ladepunkt)
4	Ein- und Zweifamilienhausbebauung:	Wohngebiete mit Ein- und Zweifamilienhäusern und kleineren Mehrfamilienhäusern mit weniger als drei Vollgeschossen und weniger als sechs Wohneinheiten je Hauseingang (Ladepunkte mit wenigen Behältern, großer Einfluß von Gartenabfällen)
5	aufgelockerte Bebauung:	Gebiete mit aufgelockerter, ländlicher Bebauung o. ä. (Ladepunkte mit wenigen Behältern in großen, unregelmäßigen Abständen; viele kleine Siedlungszentren und Einzelladepunkte)

C 2 Aufteilung der Regierungsbezirke in NRW anhand der Einwohnerdichte in ländliche und städtische Regionen

Regierungsbezirk	Regionszuordnung	Gemeinden ¹⁾	Einwohner ¹⁾	Anteil
Arnsberg	ländlich	69	1.872.536	49,2 %
	städtisch	14	1.934.091	50,8 %
	gesamt	83	3.806.627	100,0 %
Detmold	ländlich	69	1.650.441	83,6 %
	städtisch	1	324.674	16,4 %
	gesamt	70	1.975.115	100,0 %
Düsseldorf	ländlich	46	1.454.034	27,5 %
	städtisch	20	3.834.980	72,5 %
	gesamt	66	5.289.014	100,0 %
Köln	ländlich	4	2.473.759	59,7 %
	städtisch	95	1.667.808	40,3 %
	gesamt	99	4.141.567	100,0 %
Münster	ländlich	65	1.204.400	47,3 %
	städtisch	13	1.342.577	52,7 %
	gesamt	78	2.546.977	100,0 %
NRW	ländlich	253	8.655.170	48,7 %
	städtisch	143	9.104.130	51,3 %
	gesamt	396	17.759.300	100,0 %

¹⁾ Daten des LDS (Stand: 31.12.1993).

C 3 Aufkommen der gebraucht- und restholzrelevanten Abfallfraktionen (1993) an den öffentlichen Entsorgungsanlagen der Regierungsbezirke in NRW (LDS, 1996)

Abfallfraktion	Arnsberg [kg/(E*a)]	Düsseldorf [kg/(E*a)]	Detmold [kg/(E*a)]	Münster [kg/(E*a)]	Köln [kg/(E*a)]	NW [kg/(E*a)]
Hausmüll	263,1	306,1	207,3	273,7	259,9	270,5
Hmäh. Gewerbeabfall ¹⁾	93,3	121,2	134,1	123,8	92,1	110,3
Baustellenabfall	66,3	85,0	18,5	55,6	84,3	69,3
Sperrmüll	38,4	45,7	22,1	33,8	51,9	41,3

¹⁾ Hmäh. Gewerbeabfall = hausmüllähnlicher Gewerbeabfall

Abfallfraktion	Arnsberg [1.000/a]	Düsseldorf [1.000/a]	Detmold [1.000/a]	Münster [1.000/a]	Köln [1.000/a]	NRW [1.000/a]
Hausmüll	999,6	1.619,3	407,7	695,0	1.072,8	4.794,4
Hmäh. Gewerbeabfall ¹⁾	354,4	641,3	263,8	314,4	380,2	1.954,1
Baustellenabfall	252,0	449,8	36,4	141,3	348,1	1.227,6
Sperrmüll	146,0	242,0	43,5	85,8	214,1	731,4

¹⁾ Hmäh. Gewerbeabfall = hausmüllähnlicher Gewerbeabfall

C 4 Spezifische Gebraucht- und Restholzanteile in ausgewählten Abfallfraktionen für die Regierungsbezirke in NRW unter der Berücksichtigung des Verhältnisses ländlich/städtisch

Abfallfraktion	Arnsberg [Gew.-%]	Detmold [Gew.-%]	Düsseldorf [Gew.-%]	Köln [Gew.-%]	Münster [Gew.-%]
Hausmüll					
=> Holz unbehandelt ²⁾	0,2	0,3	0,2	0,3	0,2
=> Holz behandelte/Möbel	1,0	0,8	1,0	0,9	1,0
=> Summe	1,2	1,1	1,2	1,2	1,2
Hmäh. Gewerbeabfall¹⁾					
=> Holz unbehandelt ²⁾	5,3	6,5	4,6	5,7	5,3
=> Holz behandelte/Möbel	11,4	9,6	12,5	10,9	11,5
=> Summe	16,7	16,1	17,1	16,6	16,8
Baustellenabfall					
=> Holz unbehandelt ²⁾	3,7	2,4	4,6	3,3	3,8
=> Holz behandelte/Möbel	12,0	10,7	12,9	11,6	12,1
=> Summe	15,7	13,1	17,5	14,9	15,9
Sperrmüll					
=> Holz unbehandelt ²⁾	6,2	7,7	5,2	6,6	6,1
=> Holz behandelte/Möbel	42,8	38,5	45,5	41,4	43,0
=> Summe	49,0	46,2	50,7	48,0	49,1

¹⁾ Hmäh. Gewerbeabfall = hausmüllähnlicher Gewerbeabfall

²⁾ nach optischen Gesichtspunkt = "unbehandeltes" Holz

C 5 Angaben zu der 1993 an öffentlichen Entsorgungsanlagen angelieferten Gebrauch- und Restholzmenge in den einzelnen Gebieten der Regierungsbezirke (Reg.-Bez.)

C 5.1 Reg.-Bez. Arnsberg

Abfallfraktion	Variante 1 ¹⁾ [kg/(E*a)]	Variante 2 ²⁾ [kg/(E*a)]	Variante 3 ³⁾ [kg/(E*a)]
Hausmüll	3,2	2,9	3,4
Hmäh. Gewerbeabfälle ⁴⁾	15,6	14,7	16,4
Baustellenabfälle	10,5	7,8	13,0
Sperrmüll	18,8	17,2	20,3
Gesamt	48,1	42,6	53,1

¹⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte und des Verhältnisses ländlich/städtisch

²⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte für die ländliche Region

³⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte für die städtische Region

⁴⁾ Hmäh. Gewerbeabfall = hausmüllähnlicher Gewerbeabfall

Abfallfraktion	Variante 1 ¹⁾ [1.000/a]	Variante 2 ²⁾ [1.000/a]	Variante 3 ³⁾ [1.000/a]
Hausmüll	12,0	11,0	13,0
Hmäh. Gewerbeabfälle ⁴⁾	59,4	56,1	62,5
Baustellenabfälle	39,8	29,8	49,5
Sperrmüll	71,6	65,5	77,4
Gesamt	182,8	162,4	202,4

¹⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte und des Verhältnisses ländlich/städtisch

²⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte für die ländliche Region

³⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte für die städtische Region

⁴⁾ Hmäh. Gewerbeabfall = hausmüllähnlicher Gewerbeabfall

C 5.2 Reg.-Bez. Detmold

Abfallfraktion	Variante 1 ¹⁾ [kg/(E*a)]	Variante 2 ²⁾ [kg/(E*a)]	Variante 3 ³⁾ [kg/(E*a)]
Hausmüll	2,3	2,3	2,7
Hmäh. Gewerbeabfälle ⁴⁾	21,6	21,2	23,6
Baustellenabfälle	2,4	2,2	3,6
Sperrmüll	10,2	9,9	11,7
Gesamt	36,5	35,6	41,6

¹⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte und des Verhältnisses ländlich/städtisch

²⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte für die ländliche Region

³⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte für die städtische Region

⁴⁾ Hmäh. Gewerbeabfall = hausmüllähnlicher Gewerbeabfall

Abfallfraktion	Variante 1 ¹⁾ [1.000t/a]	Variante 2 ²⁾ [1.000t/a]	Variante 3 ³⁾ [1.000t/a]
Hausmüll	4,6	4,5	5,3
Hmäh. Gewerbeabfälle ⁴⁾	42,6	41,9	46,6
Baustellenabfälle	4,8	4,3	7,2
Sperrmüll	20,2	19,6	23,1
Gesamt	72,2	70,3	82,2

¹⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte und des Verhältnisses ländlich/städtisch

²⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte für die ländliche Region

³⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte für die städtische Region

⁴⁾ Hmäh. Gewerbeabfall = hausmüllähnlicher Gewerbeabfall

C 5.3 Reg.-Bez. Düsseldorf

Abfallfraktion	Variante 1 ¹⁾ [kg/(E*a)]	Variante 2 ²⁾ [kg/(E*a)]	Variante 3 ³⁾ [kg/(E*a)]
Hausmüll	3,8	3,4	4,0
Hmäh. Gewerbeabfälle ⁴⁾	20,7	19,2	21,3
Baustellenabfälle	14,8	10,0	16,7
Sperrmüll	23,2	20,5	24,2
Gesamt	62,5	53,1	66,2

¹⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte und des Verhältnisses ländlich/städtisch

²⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte für die ländliche Region

³⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte für die städtische Region

⁴⁾ Hmäh. Gewerbeabfall = hausmüllähnlicher Gewerbeabfall

Abfallfraktion	Variante 1 ¹⁾ [1.000t/a]	Variante 2 ²⁾ [1.000t/a]	Variante 3 ³⁾ [1.000t/a]
Hausmüll	20,2	17,8	21,0
Hmäh. Gewerbeabfälle ⁴⁾	109,7	101,3	112,8
Baustellenabfälle	78,5	53,1	88,1
Sperrmüll	122,6	108,4	128,0
Gesamt	331,0	280,6	349,9

¹⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte und des Verhältnisses ländlich/städtisch

²⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte für die ländliche Region

³⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte für die städtische Region

⁴⁾ Hmäh. Gewerbeabfall = hausmüllähnlicher Gewerbeabfall

C 5.4 Reg.-Bez. Köln

Abfallfraktion	Variante 1 ¹⁾ [kg/(E*a)]	Variante 2 ²⁾ [kg/(E*a)]	Variante 3 ³⁾ [kg/(E*a)]
Hausmüll	3,1	2,9	3,4
Hmäh. Gewerbeabfälle ⁴⁾	15,2	14,6	16,2
Baustellenabfälle	12,6	10,0	16,5
Sperrmüll	24,9	23,2	27,4
Gesamt	55,8	50,7	63,5

¹⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte und des Verhältnisses ländlich/städtisch

²⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte für die ländliche Region

³⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte für die städtische Region

⁴⁾ Hmäh. Gewerbeabfall = hausmüllähnlicher Gewerbeabfall

Abfallfraktion	Variante 1 ¹⁾ [1.000t/a]	Variante 2 ²⁾ [1.000t/a]	Variante 3 ³⁾ [1.000t/a]
Hausmüll	12,7	11,8	14,0
Hmäh. Gewerbeabfälle ⁴⁾	63,0	60,3	67,2
Baustellenabfälle	52,2	41,2	68,5
Sperrmüll	103,3	96,3	113,7
Gesamt	231,2	209,6	263,4

¹⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte und des Verhältnisses ländlich/städtisch

²⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte für die ländliche Region

³⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte für die städtische Region

⁴⁾ Hmäh. Gewerbeabfall = hausmüllähnlicher Gewerbeabfall

C 5.5 Reg.-Bez. Münster

Abfallfraktion	Variante 1 ¹⁾ [kg/(E*a)]	Variante 2 ²⁾ [kg/(E*a)]	Variante 3 ³⁾ [kg/(E*a)]
Hausmüll	3,3	3,0	3,6
Hmäh. Gewerbeabfälle ⁴⁾	20,7	19,6	21,8
Baustellenabfälle	8,9	6,6	10,9
Sperrmüll	16,6	15,1	17,9
Gesamt	49,5	44,3	54,2

¹⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte und des Verhältnisses ländlich/städtisch

²⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte für die ländliche Region

³⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte für die städtische Region

⁴⁾ Hmäh. Gewerbeabfall = hausmüllähnlicher Gewerbeabfall

Abfallfraktion	Variante 1 ¹⁾ [1.000t/a]	Variante 2 ²⁾ [1.000t/a]	Variante 3 ³⁾ [1.000t/a]
Hausmüll	8,4	7,7	9,1
Hmäh. Gewerbeabfälle ⁴⁾	52,8	49,8	55,5
Baustellenabfälle	22,6	16,7	27,8
Sperrmüll	42,2	38,6	45,5
Gesamt	126,0	112,8	137,9

¹⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte und des Verhältnisses ländlich/städtisch

²⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte für die ländliche Region

³⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte für die städtische Region

⁴⁾ Hmäh. Gewerbeabfall = hausmüllähnlicher Gewerbeabfall

C 6 Zusammenfassung der Varianten 1 bis 3 mit den produktionsspezifischen Abfällen (NRW)

Abfallfraktion	Variante 1 ¹⁾ [kg/(E*a)]	Variante 2 ²⁾ [kg/(E*a)]	Variante 3 ³⁾ [kg/(E*a)]
Hausmüll	3,3	3,0	3,5
Hmäh. Gewerbeabfälle ⁴⁾	18,4	17,4	19,4
Baustellenabfälle	11,1	8,2	13,6
Sperrmüll	20,3	18,5	21,8
prod. spez. Abfall ⁵⁾	44,7		
Gesamt	97,8	91,8	103,0

¹⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte und des Verhältnisses ländlich/städtisch

²⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte für die ländliche Region

³⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte für die städtische Region

⁴⁾ Hmäh. Gewerbeabfall = hausmüllähnlicher Gewerbeabfall

⁵⁾ aus der Statistik des LDS (1996) und AAV (1993) übernommen

Abfallfraktion	Variante 1 ¹⁾ [1.000t/a]	Variante 2 ²⁾ [1.000t/a]	Variante 3 ³⁾ [1.000t/a]
Hausmüll	58,0	52,8	62,4
Hmäh. Gewerbeabfälle ⁴⁾	327,6	309,4	344,6
Baustellenabfälle	197,8	145,1	241,0
Sperrmüll	359,7	328,3	387,6
prod. spez. Abfall ⁵⁾	795,8		
Gesamt	1.738,8	1.631,4	1.831,5

¹⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte und des Verhältnisses ländlich/städtisch

²⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte für die ländliche Region

³⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte für die städtische Region

⁴⁾ Hmäh. Gewerbeabfall = hausmüllähnlicher Gewerbeabfall

⁵⁾ aus der Statistik des LDS (1996) und AAV (1993) übernommen

C 7 Unterteilung der 1993 an öffentlichen Entsorgungsanlagen angelieferten Gebraucht- und Restholzmenge (NRW) in die Gruppen „unbehandeltes“ Holz, behandeltes Holz und Möbel nach den drei Varianten

C 7.1 Nach Variante 1

Abfallfraktion	Variante 1 ¹⁾	1993 besetzte Gebraucht-/Restholzmenge		
	Gesamtmenge [kg/(E*a)]	unbeh. ²⁾ [kg/(E*a)]	beh./Möbel ³⁾ [kg/(E*a)]	Gesamt [kg/(E*a)]
Hausmüll	270,5	0,7	2,6	3,3
Hmäh. Gewerbeabfall ⁴⁾	110,3	5,8	12,6	18,4
Baustellenabfall	69,3	2,7	8,4	11,1
Sperrmüll	41,3	2,5	17,8	20,3
Gesamt	491,4	11,7	41,4	53,1

¹⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte und des Verhältnisses ländlich/städtisch

²⁾ nach optischen Gesichtspunkt = „unbehandeltes“ Holz

³⁾ beh./Möbel = behandeltes Holz/Möbel

⁴⁾ Hmäh. Gewerbeabfall = hausmüllähnlicher Gewerbeabfall

Abfallfraktion	Variante 1 ¹⁾	1993 besetzte Gebraucht-/Restholzmenge		
	Gesamtmenge [1.000t/a]	unbeh. ²⁾ [1.000t/a]	beh./Möbel ³⁾ [1.000t/a]	Gesamt [1.000t/a]
Hausmüll	4.794,4	11,9	46,1	58,0
Hmäh. Gewerbeabfall ⁴⁾	1.954,1	103,8	223,8	327,6
Baustellenabfall	1.227,6	47,9	149,9	197,8
Sperrmüll	731,4	44,4	315,3	359,7
Gesamt	8.707,5	208,0	735,1	943,0

¹⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte und des Verhältnisses ländlich/städtisch

²⁾ nach optischen Gesichtspunkt = „unbehandeltes“ Holz

³⁾ beh./Möbel = behandeltes Holz/Möbel

⁴⁾ Hmäh. Gewerbeabfall = hausmüllähnlicher Gewerbeabfall

C 7.2 Nach Variante 2

Abfallfraktion	Variante 2 ¹⁾	1993 besetzte Gebraucht-/Restholzmenge		
	Gesamtmenge [kg/(E*a)]	unbeh. ²⁾ [kg/(E*a)]	beh./Möbel ³⁾ [kg/(E*a)]	Gesamt [kg/(E*a)]
Hausmüll	270,5	0,8	2,2	3,0
Hmäh. Gewerbeabfall ⁴⁾	110,3	7,7	9,7	17,4
Baustellenabfall	69,3	1,2	7,0	8,2
Sperrmüll	41,3	3,5	15,0	18,5
Gesamt	491,4	13,2	33,9	47,1

¹⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte für die ländliche Region

²⁾ nach optischen Gesichtspunkt = „unbehandeltes“ Holz

³⁾ beh./Möbel = behandeltes Holz/Möbel

⁴⁾ Hmäh. Gewerbeabfall = hausmüllähnlicher Gewerbeabfall

Variante 2 ¹⁾	Gesamtmenge [1.000t/a]	1993 besetzte Gebraucht-/Restholzmenge		
		unbeh. ²⁾ [1.000t/a]	beh./Möbel ³⁾ [1.000t/a]	Gesamt [1.000t/a]
Abfallfraktion				
Hausmüll	4.794,4	14,4	38,4	52,8
Hmäh. Gewerbeabfall ⁴⁾	1.954,1	137,1	172,3	309,4
Baustellenabfall	1.227,6	20,9	124,2	145,1
Sperrmüll	731,4	61,6	266,7	328,3
Gesamt	8.707,5	234,0	601,6	835,6

¹⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte für die ländliche Region

²⁾ nach optischen Gesichtspunkt = „unbehandeltes“ Holz

³⁾ beh./Möbel = behandeltes Holz/Möbel

⁴⁾ Hmäh. Gewerbeabfall = hausmüllähnlicher Gewerbeabfall

C 7.3 Nach Variante 3

Variante 3 ¹⁾	Gesamtmenge [kg/(E*a)]	1993 besetzte Gebraucht-/Restholzmenge		
		unbeh. ²⁾ [kg/(E*a)]	beh./Möbel ³⁾ [kg/(E*a)]	Gesamt [kg/(E*a)]
Abfallfraktion				
Hausmüll	270,5	0,5	3,0	3,5
Hmäh. Gewerbeabfall ⁴⁾	110,3	4,1	15,3	19,4
Baustellenabfall	69,3	3,9	9,6	13,5
Sperrmüll	41,3	1,7	20,2	21,9
Gesamt	491,4	10,2	48,1	58,3

¹⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte für die städtische Region

²⁾ nach optischen Gesichtspunkt = „unbehandeltes“ Holz

³⁾ beh./Möbel = behandeltes Holz/Möbel

⁴⁾ Hmäh. Gewerbeabfall = hausmüllähnlicher Gewerbeabfall

Variante 3 ¹⁾	Gesamtmenge [1.000t/a]	1993 besetzte Gebraucht-/Restholzmenge		
		unbeh. ²⁾ [1.000t/a]	beh./Möbel ³⁾ [1.000t/a]	Gesamt [1.000t/a]
Abfallfraktion				
Hausmüll	4.794,4	9,6	52,8	62,4
Hmäh. Gewerbeabfall ⁴⁾	1.954,1	72,4	272,2	344,6
Baustellenabfall	1.227,6	70,1	170,9	241,0
Sperrmüll	731,4	29,3	358,3	387,6
Gesamt	8.707,5	181,4	854,2	1.035,6

¹⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte für die städtische Region

²⁾ nach optischen Gesichtspunkt = „unbehandeltes“ Holz

³⁾ beh./Möbel = behandeltes Holz/Möbel

⁴⁾ Hmäh. Gewerbeabfall = hausmüllähnlicher Gewerbeabfall

C 8 An gewerblich betriebenen Entsorgungsanlagen angelieferte Gebraucht- und Restholzmenge in NRW (Varianten 1 bis 3)

Variante 1 ¹⁾	1993 angelieferte Gebraucht-/Restholzmenge	
	Abfallfraktion	[kg/(E*a)]
Hausmüll	0,02	340
Hmäh. Gewerbeabfall ²⁾	0,29	5.225
Baustellenabfall	0,15	2.579
Sperrmüll	0,23	4.007
Gesamt	0,69	12.151

¹⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte und des Verhältnisses
ländlich/städtische

²⁾ Hmäh. Gewerbeabfall = hausmüllähnlicher Gewerbeabfall

Variante 2 ¹⁾	1993 angelieferte Gebraucht-/Restholzmenge	
	Abfallfraktion	[kg/(E*a)]
Hausmüll	0,02	310
Hmäh. Gewerbeabfall ²⁾	0,28	4.936
Baustellenabfall	0,11	1.892
Sperrmüll	0,21	3.656
Gesamt	0,62	10.794

¹⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte für die ländliche Region

²⁾ Hmäh. Gewerbeabfall = hausmüllähnlicher Gewerbeabfall

Variante 3 ¹⁾	1993 angelieferte Gebraucht-/Restholzmenge	
	Abfallfraktion	[kg/(E*a)]
Hausmüll	0,02	367
Hmäh. Gewerbeabfall ²⁾	0,31	5.498
Baustellenabfall	0,18	3.142
Sperrmüll	0,24	4.318
Gesamt	0,75	13.325

¹⁾ unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte für die städtische Region

²⁾ Hmäh. Gewerbeabfall = hausmüllähnlicher Gewerbeabfall

C 9 Mengenströme des 1993 an Entsorgungsanlagen angelieferten Gebrauch- und Restholzes in NRW

Abfallfraktion	Variante 1 ¹⁾			Variante 2 ²⁾			Variante 3 ³⁾		
	Deponie [kg/(E*a)]	MVA ⁴⁾ [kg/(E*a)]	Sonstige ⁵⁾ [kg/(E*a)]	Deponie [kg/(E*a)]	MVA ⁴⁾ [kg/(E*a)]	Sonstige ⁵⁾ [kg/(E*a)]	Deponie [kg/(E*a)]	MVA ⁴⁾ [kg/(E*a)]	Sonstige ⁵⁾ [kg/(E*a)]
Hausmüll	1,6	1,5	0,2	1,5	1,3	0,1	1,8	1,6	0,2
Hmäh. Gewerbeabfall ⁶⁾	11,8	5,7	0,9	11,1	5,4	0,9	12,4	6,0	1,0
Baustellenabfall	6,3	0,6	4,2	4,7	0,4	3,1	7,7	0,7	5,2
Spermmüll	11,5	7,9	0,8	10,5	7,2	0,7	12,4	8,5	0,9
prod. spez. Abfall ⁷⁾	15,2	24,0	5,5	15,2	24,0	5,5	15,2	24,0	5,5
Gesamt	46,5	39,7	11,6	43,0	38,4	10,3	49,5	40,8	12,6

¹⁾ Unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte und des Verhältnisses ländlich/städtisch.

²⁾ Unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte für die ländliche Region.

³⁾ Unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte für die städtische Region.

⁴⁾ MVA = Müllverbrennungsanlagen.

⁵⁾ Sonstige = z. B. Sortier-, Pyrolyse-, Shredder- oder chem.-phys. Aufbereitungsanlagen.

⁶⁾ Hmäh. Gewerbeabfall = hausmüllähnlicher Gewerbeabfall.

⁷⁾ prod. spez. Abfall = produktionsspezifischer Abfall.

C 10 Entsorgungswege der gebrauch- und restholzrelevanten Abfallfraktionen (1993) in den Regierungsbezirken (LDS, 1996)

Entsorgungs- anlagen	Regierungs- bezirk	Hausmüll [%]	hmäh.Gew. ¹⁾ [%]	Baust. ²⁾ [%]	Spermmüll [%]	p.s. Abfall ³⁾ [%]
Deponie ⁴⁾	Arnsberg	64	43	65	60	k.A.
	Detmold	59	64	90	90	k.A.
	Düsseldorf	17	34	23	25	k.A.
	Köln	79	70	98	84	k.A.
	Münster	64	100	69	100	k.A.
	NW	50	64	57	57	34
MVA ⁵⁾	Arnsberg	32	42	35	22	k.A.
	Detmold	41	30	9	10	k.A.
	Düsseldorf	79	56	12	75	k.A.
	Köln	11	30	1	16	k.A.
	Münster	32	0	0	0	k.A.
	NW	45	31	5	39	54
sonstige Anlagen ⁶⁾	Arnsberg	4	15	0	18	k.A.
	Detmold	0	6	1	0	k.A.
	Düsseldorf	4	10	65	0	k.A.
	Köln	10	0	1	0	k.A.
	Münster	4	0	31	0	k.A.
	NW	5	5	38	4	12

¹⁾ Hmäh. Gew. = hausmüllähnlicher Gewerbeabfall

²⁾ Baust. = Baustellenabfall

³⁾ p.s. Abfall = produktionsspezifischer Abfall

⁴⁾ im Bereich der p.s. Abfälle betriebseigene Deponien vorhanden (teilweise keine Angaben zur Menge)

⁵⁾ MVA = Müllverbrennungsanlagen; bei den p.s. Abfällen auch betriebseigene Verbrennungsanlagen (teilweise keine Angaben zur Menge)

⁶⁾ Sonstige = z. B. Sortier-, Pyrolyse-, Shredder- oder chem.-phys. Aufbereitungsanlagen

C 11 Mengenströme des 1993 an Entsorgungsanlagen angelieferten Gebrauch- und Restholzes in den Regierungsbezirken in NRW

C 11.1 Reg.-Bez. Arnsberg

Abfallfraktion	Variante 1 ¹⁾			Variante 2 ²⁾			Variante 3 ³⁾		
	Deponie [kg/(E*a)]	MVA ⁴⁾ [kg/(E*a)]	Sonstige ⁵⁾ [kg/(E*a)]	Deponie [kg/(E*a)]	MVA ⁴⁾ [kg/(E*a)]	Sonstige ⁵⁾ [kg/(E*a)]	Deponie [kg/(E*a)]	MVA ⁴⁾ [kg/(E*a)]	Sonstige ⁵⁾ [kg/(E*a)]
Hausmüll	2,0	1,0	0,1	1,9	0,9	0,1	2,2	1,1	0,1
Hmh. Gewerbeabfall ⁶⁾	6,7	6,5	2,3	6,3	6,2	2,2	7,1	6,9	2,5
Baustellenabfall	6,8	3,7	0,0	5,1	2,7	0,0	8,5	4,6	0,0
Spermmüll	11,3	4,1	3,4	10,3	3,8	3,1	12,2	4,5	3,7
Gesamt	26,8	15,3	5,8	23,6	13,6	5,4	30,0	17,1	6,3

¹⁾ Unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte und des Verhältnisses ländlich/städtisch.

²⁾ Unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte für die ländliche Region.

³⁾ Unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte für die städtische Region.

⁴⁾ MVA = Müllverbrennungsanlagen.

⁵⁾ Sonstige = z. B. Sortier-, Pyrolyse-, Shredder- oder chem.-phys. Aufbereitungsanlagen.

⁶⁾ Hmh. Gewerbeabfall = hausmüllähnlicher Gewerbeabfall.

C 11.2 Reg.-Bez. Detmold

Abfallfraktion	Variante 1 ¹⁾			Variante 2 ²⁾			Variante 3 ³⁾		
	Deponie [kg/(E*a)]	MVA ⁴⁾ [kg/(E*a)]	Sonstige ⁵⁾ [kg/(E*a)]	Deponie [kg/(E*a)]	MVA ⁴⁾ [kg/(E*a)]	Sonstige ⁵⁾ [kg/(E*a)]	Deponie [kg/(E*a)]	MVA ⁴⁾ [kg/(E*a)]	Sonstige ⁵⁾ [kg/(E*a)]
Hausmüll	1,4	1,0	0,0	1,3	0,9	0,0	1,6	1,1	0,0
Hmh. Gewerbeabfall ⁶⁾	13,8	6,5	1,3	13,6	6,4	1,3	15,1	7,1	1,4
Baustellenabfall	2,2	0,2	0,0	2,0	0,2	0,0	3,3	0,3	0,0
Spermmüll	9,2	1,0	0,0	8,9	1,0	0,0	10,5	1,2	0,0
Gesamt	26,6	8,7	1,3	25,8	8,5	1,3	30,5	9,7	1,4

¹⁾ Unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte und des Verhältnisses ländlich/städtisch.

²⁾ Unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte für die ländliche Region.

³⁾ Unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte für die städtische Region.

⁴⁾ MVA = Müllverbrennungsanlagen.

⁵⁾ Sonstige = z. B. Sortier-, Pyrolyse-, Shredder- oder chem.-phys. Aufbereitungsanlagen.

⁶⁾ Hmh. Gewerbeabfall = hausmüllähnlicher Gewerbeabfall.

C 11.3 Reg.-Bez. Düsseldorf

Abfallfraktion	Variante 1 ¹⁾			Variante 2 ²⁾			Variante 3 ³⁾		
	Deponie [kg/(E ^a)]	MVA ⁴⁾ [kg/(E ^a)]	Sonstige ⁵⁾ [kg/(E ^a)]	Deponie [kg/(E ^a)]	MVA ⁴⁾ [kg/(E ^a)]	Sonstige ⁵⁾ [kg/(E ^a)]	Deponie [kg/(E ^a)]	MVA ⁴⁾ [kg/(E ^a)]	Sonstige ⁵⁾ [kg/(E ^a)]
Hausmüll	0,6	3,0	0,2	0,6	2,7	0,1	0,7	3,1	0,2
Hmh. Gewerbeabfall ⁶⁾	7,0	11,6	2,1	6,5	10,7	1,9	7,3	11,9	2,1
Baustellenabfall	3,4	1,8	9,6	2,3	1,2	6,5	3,8	2,0	10,8
Spermmüll	5,8	17,4	0,0	5,1	15,4	0,0	6,0	18,1	0,0
Gesamt	16,8	33,8	11,9	14,5	30,0	8,5	17,8	35,1	13,1

¹⁾ Unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte und des Verhältnisses ländlich/städtisch.

²⁾ Unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte für die ländliche Region.

³⁾ Unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte für die städtische Region.

⁴⁾ MVA = Müllverbrennungsanlagen.

⁵⁾ Sonstige = z. B. Sortier-, Pyrolyse-, Shredder- oder chem.-phys. Aufbereitungsanlagen.

⁶⁾ Hmh. Gewerbeabfall = hausmüllähnlicher Gewerbeabfall.

C 11.4 Reg.-Bez. Köln

Abfallfraktion	Variante 1 ¹⁾			Variante 2 ²⁾			Variante 3 ³⁾		
	Deponie [kg/(E ^a)]	MVA ⁴⁾ [kg/(E ^a)]	Sonstige ⁵⁾ [kg/(E ^a)]	Deponie [kg/(E ^a)]	MVA ⁴⁾ [kg/(E ^a)]	Sonstige ⁵⁾ [kg/(E ^a)]	Deponie [kg/(E ^a)]	MVA ⁴⁾ [kg/(E ^a)]	Sonstige ⁵⁾ [kg/(E ^a)]
Hausmüll	2,4	0,3	0,3	2,3	0,3	0,3	2,7	0,4	0,3
Hmh. Gewerbeabfall ⁶⁾	10,7	4,6	0,0	10,2	4,4	0,0	11,3	4,9	0,0
Baustellenabfall	12,4	0,1	0,1	9,8	0,1	0,1	16,2	0,2	0,2
Spermmüll	20,9	4,0	0,0	19,5	3,7	0,0	23,1	4,4	0,0
Gesamt	46,4	9,0	0,4	41,8	8,5	0,4	53,3	9,9	0,5

¹⁾ Unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte und des Verhältnisses ländlich/städtisch.

²⁾ Unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte für die ländliche Region.

³⁾ Unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte für die städtische Region.

⁴⁾ MVA = Müllverbrennungsanlagen.

⁵⁾ Sonstige = z. B. Sortier-, Pyrolyse-, Shredder- oder chem.-phys. Aufbereitungsanlagen.

⁶⁾ Hmh. Gewerbeabfall = hausmüllähnlicher Gewerbeabfall.

C 11.5 Reg.-Bez. Münster

Abfallfraktion	Variante 1 ¹⁾			Variante 2 ²⁾			Variante 3 ³⁾		
	Deponie [kg/(E ^a)]	MVA ⁴⁾ [kg/(E ^a)]	Sonstige ⁵⁾ [kg/(E ^a)]	Deponie [kg/(E ^a)]	MVA ⁴⁾ [kg/(E ^a)]	Sonstige ⁵⁾ [kg/(E ^a)]	Deponie [kg/(E ^a)]	MVA ⁴⁾ [kg/(E ^a)]	Sonstige ⁵⁾ [kg/(E ^a)]
Hausmüll	2,1	1,1	0,1	1,9	1,0	0,1	2,3	1,1	0,1
Hmh. Gewerbeabfall ⁶⁾	20,7	0,0	0,0	19,6	0,0	0,0	21,8	0,0	0,0
Baustellenabfall	6,1	0,0	2,7	4,5	0,0	2,0	7,5	0,0	3,4
Spermmüll	16,6	0,0	0,0	15,1	0,0	0,0	17,9	0,0	0,0
Gesamt	45,5	1,1	2,8	41,1	1,0	2,1	49,5	1,1	3,5

¹⁾ Unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte und des Verhältnisses ländlich/städtisch.

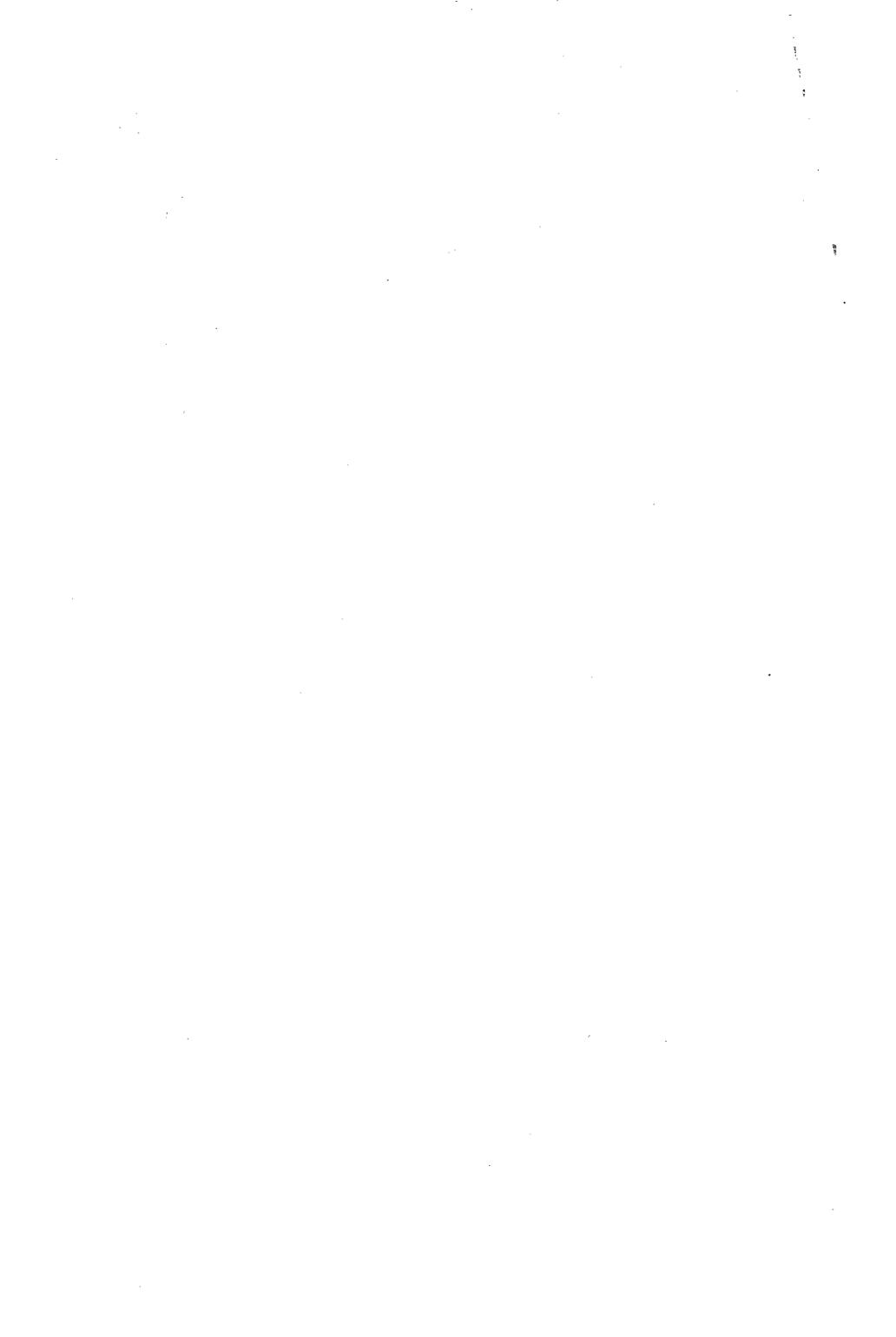
²⁾ Unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte für die ländliche Region.

³⁾ Unter Berücksichtigung der begründeten Praxiswerte für die städtische Region.

⁴⁾ MVA = Müllverbrennungsanlagen.

⁵⁾ Sonstige = z. B. Sortier-, Pyrolyse-, Shredder- oder chem.-phys. Aufbereitungsanlagen.

⁶⁾ Hmh. Gewerbeabfall = hausmüllähnlicher Gewerbeabfall.



Anhang D**Gebraucht- und Restholzaufbereitung in NRW - Fragebogen -**Seite

D: 1 Fragebogen	2
D: 2 Auswertung	10
D: 2.1 Annahme.....	10
D: 2.2 Aufbereitungsanlage	12
D: 2.3 Verwertung des Produktes/Güteüberwachung	14
D: 2.4 Zukunftsperspektiven	15

D 1 Fragebogen

1 Annahme

1.1 Wie lauten Ihre Annahmekriterien/-gruppen (1995), die dazu gehören Mengen [t/a] und die Preise [DM/t]? (ggf. Fax/Druck)

	Gruppe/Klasse	Mengen 1995 [t/a]	Preis [DM/t]
1			
2			
3			
4			
5			
6			

1.2 Wie erfolgte die Altholzlagerung (nach Gruppen aus 1.1) (1995)?

Gruppe	im Freien		unter Überdachungen		in Hallen	
	[m ²]	[%]	[m ²]	[%]	[m ²]	[%]
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
Gesamt		---		---		---

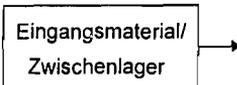
Gesamtfläche der Lagerung: [m²]

- 1.3 Aus welchen Herkunftsbereichen kommt das angelieferte Altholz (1995)?
Wieviel Anlieferer kommen davon aus NRW [%]?

Anlieferer	Fraktion (Paletten, Spanplatten, Obstkisten, etc.)	Anteil [%]	Menge [t/a]	aus NRW [%]
Recyclinghöfe				
Sperrmüllsammlung				
Baustellen				
Möbelindustrie				
Sonstige Firmen				
Private Anlieferer				

2 **Aufbereitungsanlage**

- 2.1 Fließbild der Aufbereitungsanlage mit Kenngrößen (1995) (ggf. Fax/Druck):
{Maschinenteile; Holz- und Störstoffströme; Größenstufen des gebrochenen Holzes; Personalbedarf an verschiedenen Stellen}



- 2.2 Wie groß ist die Kapazität Ihrer Anlage (1995)?
- Jahresdurchsatz: [t/a]
- Stundendurchsatz: [t/h]
- Tageslaufzeit: [h/d]
- Schichten pro Tag:
- Betriebsstunden pro Jahr: [h/a]
- 2.3 Wie groß ist der Personalbedarf?
- Bedienung der Anlage: Personen/Schicht
- Sortierpersonal: Personen/Schicht

- 2.4 Wie sieht der Standort der Anlage aus?
- Gesamtfläche [m²]
- Es befinden sich davon: [%] in einer Halle
 [%] unter einer Überdachung
 [%] im Freien

- 2.5 Wie hoch waren die Investitionen (ohne MwSt.) für Ihre Anlage?

Bautechnik: [DM]

Maschinen- u. Elektrotechnik: [DM]

Summe: [DM]

Text (ggf. genauere Aufschlüsselung für 2.5):

.....

.....

.....

- 2.6 Wann wurde die Anlage in Betrieb genommen?

Jahr:

- 2.7 Wie hoch sind die Aufbereitungskosten pro t Input für die verschiedenen Produkte (1995)?

Produkt	Kosten pro t Input

2.8 Wie erfolgt die Lagerung Ihres Endproduktes (1995)?

Spangröße [mm]	im Freien		unter Überdachungen		in Hallen		in Silos	
	[m ²]	[%]	[m ²]	[%]	[m ²]	[%]	[m ²]	[%]
0 bis								
Gesamt		---		---		---		---

2.9 Wie hoch ist das Aufkommen an Störstoffen [t/a] (1995)?

Störstoff	bei der Aufbereitung für den Verwertungsweg			
	stofflich		thermisch	
	[t/a]	[%]	[t/a]	[%]
Glas				
Pappe/Papier				
Metalle				
Bauschutt				
Kunststoffe				
Sand/Feinanteile				
Sonstige				
Gesamt		100		100

2.10 Wie werden die Störstoffe verwertet/beseitigt (1995)?

Störstoff	Kosten (*) [DM/a]	Verwertungs-/Beseitigungsweg
Glas		
Pappe/Papier		
Metalle		
Bauschutt		
Kunststoffe		
Sand/Feinanteile		
Sonstige		

(*) ohne Transportkosten

3. Verwertung des Produktes/Güteüberwachung

3.1 Welche Annahmekriterien sind für Ihre **stoffliche** Verwertungswege einzuhalten?

Verwertungsweg [Stofflich]	Abnehmer [Name, Ort, Land]	Annahmekriterien				Menge [t/a]	Kosten/Erlös für d. Produkt [DM/t]
		Spangröße [mm]	Grenzwerte der Schadstoffe [mg/kg]	Störstoffe [%]	sonstige		
Spanplattenind.							
Ziegelerstellung							
Kompostierung							
Einstreuen							
Sonstiges							

3.2 Welche Annahmekriterien sind für Ihre **energetische** Verwertung- / thermische Behandlungswege einzuhalten?

Verwertungsweg [Energetisch]	Art	Abnehmer [Name, Ort, Land]	Annahmekriterien				Menge [t/a]	Kosten/Erlös für d. Produkt [DM/t]
			Spangröße [mm]	Grenzwerte der Schadstoffe [mg/kg]	Störstoffe [%]	sonstige		
1. BImSchV	Schreinerei							
	Möbelindustrie							
	Sonstiges							
4. BImSchV	Schreinerei							
	Spanplattenind.							
	Möbelindustrie							
	Sonstiges							
17. BImSchV	MVA							
	Spanplattenind.							
	Kraftwerk							
	Sonstiges							
Sonstige								

4.2 Planen Sie Umbauten an Ihrer Aufbereitungsanlage? Wenn ja, in welcher Form und wann?

Text:
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

4.3 Sind Veränderungen bei der Verwertung und/oder Lagerung Ihres Produk-
tes absehbar / sehen Sie die Notwendigkeit anderer Verwertungswege?
Wenn ja, in welcher Form und wann?

Text:
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

4.4. Haben Sie Ideen oder Anregungen in bezug auf die weitere Altholzverwer-
tung?

Text:
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

D 2 Auswertung

D 2.1 Annahme

1.1 Wie lauten Ihre Annahmekriterien/-gruppen (1995), die dazu gehörigen Mengen [t/a] und die Preise [DM/t]?

Nr.	Annahme- gruppe	Beschreibung	Menge [t/a]	Preis [DM/t]
1	A	Paletten, unbe. Hölzer	7.200	70,-
	B	Bau- und Abbruchholz, Bretter, Balken	14.440	120,-
	C	Spanplatten, Sperrholz, Fenster, Obstkisten, MDF-Platten	2.400	150,-
		Summe	24.040	
2	A	Verpackungshölzer	15.000	15,-
	B	Abbruchhölzer	15.000	40,-
	C	Spanplatten	3.000	130,-
		Summe	33.000	
3	A	Recycl.holz für die stoffliche Verwertung	12.000	30 - 70,-
	B	Recycl.holz für die stoffliche oder thermische Verwertung	21.000	80 - 120,-
	C	Ersatzbrennstoff für die thermische Verwertung	67.000	140 - 180,-
		Summe	100.000	
4	A	Paletten zur Rekonditionierung		25,-
	B	Kisten/Paletten		95,-
	C	Bau- und Abbruchholz nicht kontaminiert		105,-
	D	Spanplatten beschichtet und unbeschichtet		110,-
5	A	reines Holz		
	B	für die Feuerung (schlechtes geht nach Italien)		
6	A	Allpaletten		
7	A	Paletten, unbeh. Holz		
	B	Bau- und Abbruchholz, Spanplatten,... (ohne Sonderabfall)		

1.2 Wie erfolgte die Altholzlagerung (nach Gruppen aus 1.1) (1995)?

Nr.	Gruppe	im Freien	in Hallen	Gesamtfläche
1	A, B, C	5 % in Containern	95 % direkt in die Aufbereitungshalle	
2	A	2.800 m ²		6.000 m ²
	B	2.800 m ²		
	C	600 m ²		
3	A, B, C	2.500 m ² in Containern (50 %)	4.000 m ² (50 %)	6.500 m ²
4	A	zu 50 %	zu 50 %	8.400 m ²
	B, C, D	zu 100 %		
5	k.A.			
6	A	250 m ² (100 %)		250 m ²
7	A, B	zu 50 %	zu 50 % (unter Überdachungen)	

1.3 Aus welchen Herkunftsbereichen kommt das angelieferte Altholz (1995) ?
Wieviel Anlieferer kommen davon aus NRW [%]?

Nr.	Anlieferer	Fraktion	Anteil [%]	Menge [t/a]	aus NRW [%]	
1	Recyclinghöfe	k. A.	40	9.600	100	
	Baustellen	k. A.	10	2.400	100	
	so. Firmen	k. A.	49	11.760	100	
	priv. Anlieferer	k. A.	1	240	?	
	=> Gesamt		100	24.000		
2	Recyclinghöfe	Paletten	12	4.000	100	
		Spanplatten	8	2.500	80	
		Abbruchholz	76	25.000	80	
		Obstkisten	3	1.000	100	
		=> Summe	98	32.500		
	SM-Sammlung	Spanplatten	2	500	100	
	=> Gesamt	Gruppe A	15	5.000		
	Gruppe B	76	25.000			
	Gruppe C	9	3.000			
		100	33.000			
3	Recyclinghöfe	Gruppe A	20	7.000	0	
		Gruppe C	80	28.000	50	
		=> Summe	100	35.000		
	SM-Sammlung	Gruppe C	100	25.000	100	
		Baustellen	Gruppe A	10	1.000	100
			Gruppe B	20	2.000	100
	Gruppe C		70	7.000	100	
		=> Summe	100	10.000		
	Möbelindustrie	Gruppe A	10	2.000	100	
		Gruppe B	70	14.000	100	
		Gruppe C	20	4.000	100	
		=> Summe	100	20.000		
	so. Firmen	Gruppe A	30	1.500	100	
		Gruppe B	50	2.500	100	
		Gruppe C	20	1.000	100	
		=> Summe	100	5.000		
	priv. Anlieferer	Gruppe A	10	500	100	
Gruppe B		50	2.500	100		
Gruppe C		40	2.000	100		
=> Summe		100	5.000			
	=> Gesamt	Gruppe A	12	12.000		
		Gruppe B	21	21.000		
		Gruppe C	67	67.000		
		100	100.000			
4	Baustellen so. Firmen	Bau- u. Abbruch			100	
		Paletten, Spanplatten, Kisten			100	
5	k. A.					
6	so. Firmen	Allpaletten	100		100	
7	Baustellen	k. A.				
	so. Firmen	k. A.				
	priv. Anlieferer	k. A.				

D 2.2 Aufbereitungsanlage

- 2.1 Fließbild der Aufbereitungsanlage mit Kenngrößen (1995): {Maschinenteile; Holz- und Störstoffströme; Größenstufen des gebrochenen Holzes; Personalbedarf an verschiedenen Stellen}
- 2.2 Wie groß ist die Kapazität Ihrer Anlage (1995)?
- 2.3 Wie groß ist der Personalbedarf?

Nr.	Jahresdurchsatz [t/a]	Stundendurchsatz [t/h]	Tageslaufzeit [h/d]	Schichten pro Tag	Betriebsstunden pro Jahr	Personal pro Schicht	
						Anlagebedingung	Sortierpers.
1	30.000	8	14	2	k. A.	2	4
2	33.000	8	16	2	4.000	1	1
3	100.000						
	stationär	10	20	3	5.000	3	4
	mobil nur sieben	12 10					
4	5.000	1	16	2	313	1	15
5	k. A.						
6	1.300	1	8	1	1.300	1	1
7	k. A.					2	

- 2.4 Wie sieht der Standort der Anlage aus?
- 2.5 Wie hoch waren die Investitionen (ohne MwSt.) für Ihre Anlage?
- 2.6 Wann wurde die Anlage in Betrieb genommen?
- 2.7 Wie hoch sind die Aufbereitungskosten pro t Input für die verschiedenen Produkte (1995)?

Nr.	Fläche [m ²]			Gesamt	Investitionen [DM]	Kosten pro Tonne Input	Baujahr
	in einer Halle	überdacht	im Freien				
1	500	50	450	1.000			1994
2	1.200	800	Lager: 6.000	2.000	1.770.000		1982
3	15.000			15.000		Vorbereiten: 20,- Vorbereiten, Sortieren: 30,- V., S., Nachzerkleinern: 40,-	1993
4	100			100	20.000		1996
5	k.A.						
6		Lager: 250	100	100	242.000	Hackspäne: 20,-	1993
7			inkl. Lager	2.000			

2.8 Wie erfolgt die Lagerung Ihres Endproduktes (1995)?

Nr.	Spangröße [mm]	Lagerung
1	0 - 6	Container (draußen)
	6 - 80	Container (draußen)
2	0 - 20	800 m ² überdacht)
	0 - 100	200 m ² überdacht)
3	0 - 15	Just-in time-Produktion
	15 - 50	5.000 m ² in einer Halle als Puffer
	50 - 150	
	0 - 500	
4	0 - 500	140 m ² in Silos als Puffer Container (Halle)
5	k. A.	
6	0 - 100	70 m ² Container (draußen)
7	0 - 400	komplett im Freien

2.9 Wie hoch ist das Aufkommen an Störstoffen [t/a] (1995)?

2.10 Wie werden die Störstoffe verwertet/beseitigt (1995)?

Nr.	Störstoff	Verwertungsweg		Kosten [DM/t]	Entsorgungsweg
		stofflich	thermisch		
1	k. A.				
2	Pappe/Papier	Gesamt:	80 t	390,-	Müllverbrennung
	Bauschutt			390,-	Müllverbrennung
	Kunststoffe			390,-	Müllverbrennung
3	Metalle	300 t	2.000 t	0,-	Metallhandel
	Müll	200 t	1.000 t	270,-	
4	k. A.				
5	k. A.				
6	Metalle				Metallhandel
7	k. A.				

D 2.3 Verwertung des Produktes/Güteüberwachung

3.1 Welche Annahmekriterien sind für Ihre **stofflichen** Verwertungswege einzuhalten?

Wer sind die Abnehmer (1995) ?

Nr.	Abnehmer		Spangröße [mm]	Menge [t/a]	Erlös [DM/t]
1	k.A.				
2	Spanplattenindustrie	verschiedene Abnehmer	0-20	11.000	85
			0-100	5.000	75
			0-20	12.000	40
			0-20	2.000	73
3	Spanplattenindustrie	verschiedene Abnehmer	0-50	10.000	bis 15
			0-500		
			0-15	2.000	
			15-50		
4	k.A.				
5	k.A.				
6	Spanplattenindustrie		0-100		40
7	k.A.				

3.2 Welche Annahmekriterien sind für Ihre **energetischen** Verwertungs- / thermische Behandlungswege einzuhalten?

Wer sind die Abnehmer (1995) ?

Nr.	Abnehmer		Spangröße [mm]	Menge [t/a]	Erlös [DM/t]
1	k.A.				
2	4. BlmSchV	Spanplattenindustrie	0-100	3.000	40
			0-20		
3	1. BlmSchV	Möbelindustrie	0-50	10.000	
			0-500		
	4. BlmSchV	Spanplattenindustrie Möbelindustrie	0-500		
			0-500		
17. BlmSchV	Kraftwerk	0-50	78.000		
4	k.A.				
5	k.A.				
6	keine energetische Verwertung				
7	k.A.				

- 3.3 Führen Sie eine Güteüberwachung des Outputs in bezug auf die Schadstoffgehalte durch?
Auf welche Parameter wird untersucht?

Nr.	Bemerkung	Parameter	Verwertungsweg
1	k. A.		
2	Fremd-Analytik	Cl, F, As, Cd, Cr, Pb, Hg, PCP, Lindan	
3	Fremd-Analytik	Trockenrückstand, pH, Leitfähigkeit, TOC, AOX, Formaldehyde, wasserl. Anteile, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn Cl, F, As, Pb, Cd, Cr, Hg, PCP, Lindan Gehalt artfremder Stoffe, Cl, S, Cd, Hg TOC, Cl, As, Pb, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Hg, Se, Th, Vn, Te, Be	Einstreu stoffl. Spanplatte 1. BlmSchV 4. BlmSchV
4	eigene Analytik	optisch beim Sortieren	
5	k. A.		
6	eigene Analytik	Chemische Verunreinigungen	
7	eigene Analytik	optisch beim Sortieren	

D 2.4 Zukunftsperspektiven

- 4.1 Welche Veränderungen sind für die Altholzannahme beabsichtigt (Umsetzungszeitpunkt)?

Nr.	Antwort
2	- für genauere Qualitätsbestimmungen Schnellanalysegeräte erforderlich
3	- streben separate Annahme von PVC-freier Spanplatte an, da sich bald ein neuer Markt öffnet

- 4.2 Planen Sie Umbauten an Ihrer Aufbereitungsanlage?
Wenn ja, in welcher Form und wann?

Nr.	Antwort
3	- neue Anlage für höheren Durchsatz mit verbesserter Separierung der Störstoffe durch Technik (Schwerstoffabscheidung, NE-Abscheidung, Windsichter,...)

- 4.3 Sind Veränderungen bei der Verwertung und/oder Lagerung Ihres Produktes absehbar / sehen Sie die Notwendigkeit anderer Verwertungswege?
Wenn ja, in welcher Form und wann?

Nr.	Antwort
3	- größere Anlieferungslager und vorgezogene Sortierung - Verwertung: stofflich nicht unbedingt thermisch vorziehen Grund: Rohstoffbedarf der Spanplattenind. kann durch die Forstwirtschaft gedeckt werden, besser Altholz zum Einsparen von Primärbrennstoffen (Öl,...) verwenden, da auch umweltfreundlichere Emissionen
6	- eventuell Hackschnitzel bald nicht mehr in der Spanplatte abzusetzen => thermische Verwertung nimmt zu, aber zu hohe Auflagen in Deutschland, also Export

- 4.4. Haben Sie Ideen oder Anregungen in bezug auf die weitere Altholzverwertung?

Nr.	Antwort
3	- als Dämmstoff, Dekontaminierung um sauberes Holz zu erhalten
4	- Paletten können bis zu 80 % aufbereitet und als Transportverpackung verwendet werden - vom Bau- und Abbruchholz 30 % verwendungsfähig zum Palettenbau => entspricht eher eine Kreislaufwirtschaft
6	- Förderung der thermischen Verwertung in mittleren Unternehmen - Vereinfachung der Genehmigungsvorschriften
7	- mit Grenzwerten des LUA für thermischen Weg nicht einverstanden => natürlicher Baum kann zu Sonderabfall werden!

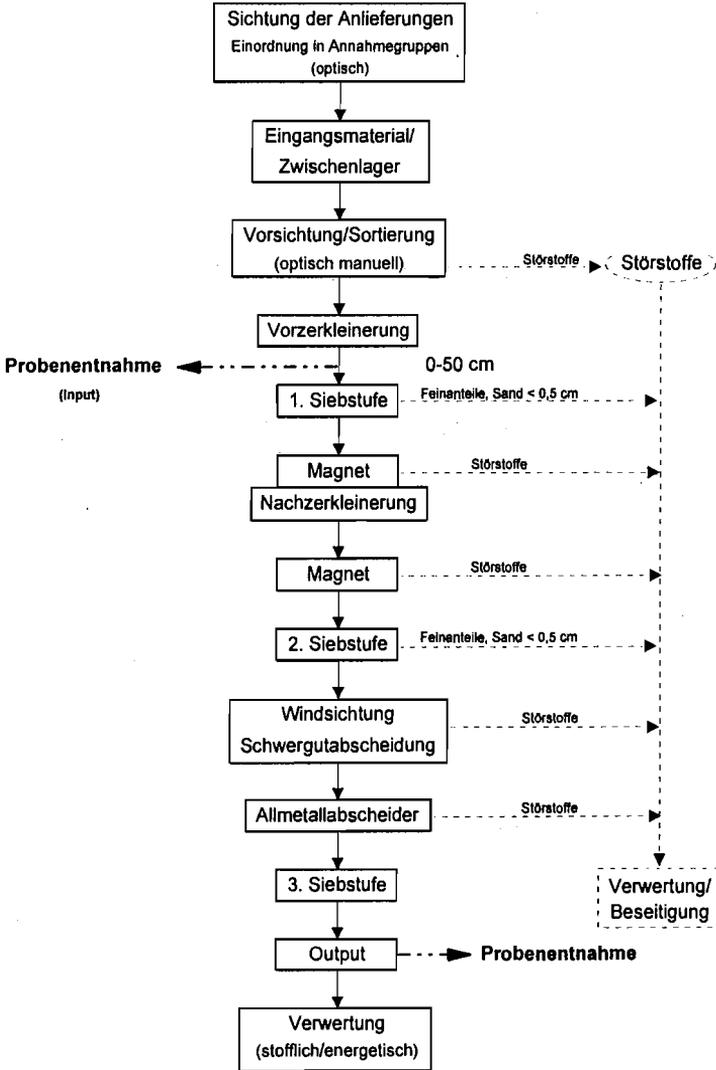
Anhang E

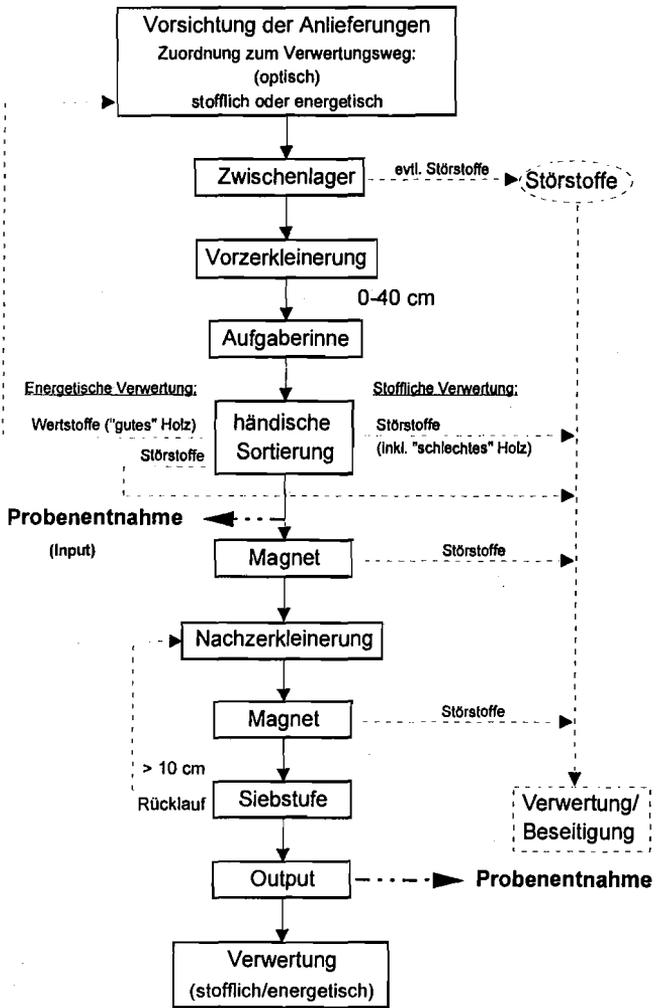
Verunreinigungen in Recyclinghackschnitzeln - Datengrundlagen und Versuchsablauf -

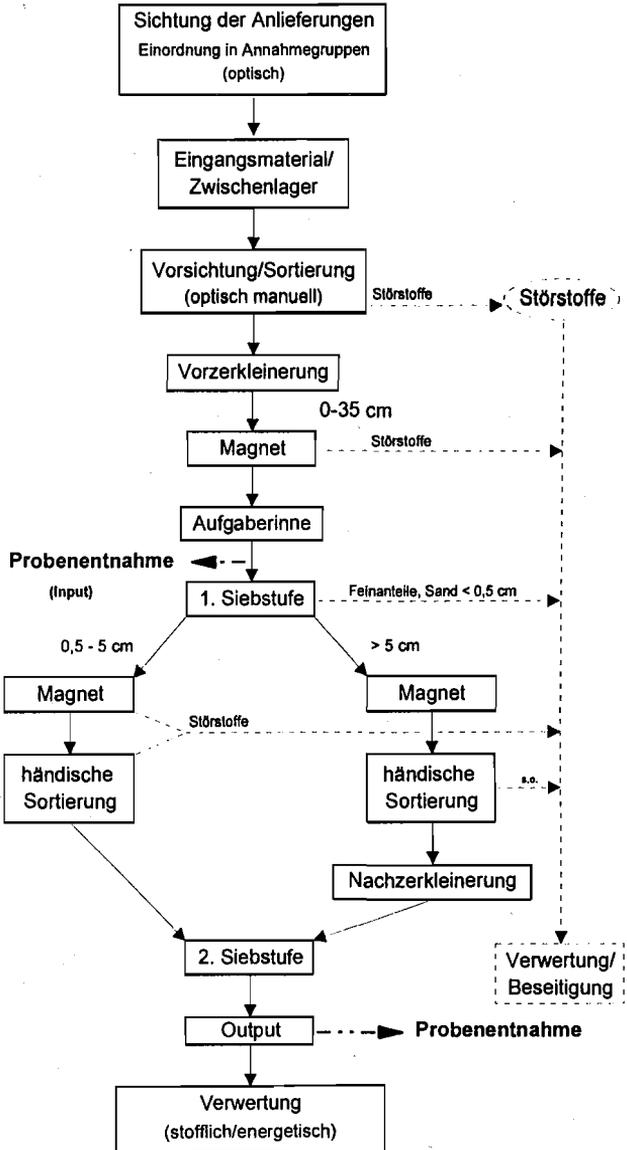
	<u>Seite</u>
E 1 Anlagenschema der untersuchten Aufbereitungsanlagen.....	3
E 2 Beschreibung der Stoffgruppen.....	6
E 3 Sichtung der Gebrauchtholzanlieferungen	8
E 3.1 Ablauf der Sichtung	8
E 3.2 Protokoll	8
E 3.3 Zusammenfassung nach Herkunftsbereichen.....	10
E 3.3.1 Sperrmüll.....	10
E 3.3.2 Möbelindustrie.....	11
E 3.3.3 Sonstige Anlieferungen	12
E 3.3.4 Baustellenabfall.....	13
E 3.3.5 Recyclinghöfe.....	13
E 4 Entnahme der Mischproben	14
E 4.1 Protokoll der Mischprobenverwiegung.....	14
E 4.2 Verwiegung der entnommenen Mischproben	15
E 5 Sortierung der Mischproben (Anlageninput).....	15
E 5.1 Ablauf der Sortierung	15
E 5.2 Protokoll der Sortierung.....	16
E 5.3 Beschreibung der aussortierten Stoffgruppen	16
E 6 Anlagenoutput.....	17
E 6.1 Anteile der Outputströme in den untersuchten Anlagen und dazugehörige Siebgrößen	17
E 7 Probenaufbereitung	18
E 7.1 Zerkleinerungsgeräte.....	19
E 8 Analytikverfahren	20
E 9 Analysenergebnisse.....	21
E 9.1 Anlagenoutput	21

E 9.1.1 Stofflicher Verwertungsweg.....	21
E 9.1.1.1 Gesamtergebnisse (stoffliche Verwertung)	21
E 9.1.1.2 Zuordnung zu Grenzwerten der Spanplattenindustrie und der Gruppe 1 des LUA	22
E 9.1.2 Energetischer Verwertungsweg.....	23
E 9.1.2.1 Gesamtergebnisse (energetische Verwertung)	23
E 9.1.2.2 Zuordnung zu Grenzwerten der Gruppen 1 bis 3 des LUA.....	24
9.2 Anlageninput.....	25
9.2.1 Gesamtergebnisse zu den Stoffgruppen.....	25
9.2.1.1 Stoffgruppe: Vollholz	25
9.2.1.2 Stoffgruppe: Holzwerkstoffe	27
9.2.1.3 Stoffgruppe: Sonstige Hölzer, Siebdurchgänge, naturbelassenes Holz	29
9.2.2 Min-, Max-, Mittel- und Medianwerte im Vergleich mit der Gruppe 1 des LUA	31
E 10 Auswertung von Holzprobenbelastungen (Werte entnommen von BOCKELMANN, 1996).....	36

E 1 Anlagenschema der untersuchten Aufbereitungsanlagen







E 2 Beschreibung der Stoffgruppen

Kurz-bez.	Stoffgruppe	Beschreibung/Bemerkungen
V	Vollholz	
V1	Vollholz "unbehandelt" ¹⁾	überwiegend: Paletten, Transportverpackungen, Schaltafel-/hölzer, etc. weitere: , Reste aus Schreinereien, etc.
V1.1	darunter gesondert Obstkisten	besonders zu beachten, wenn sie aus dem Ausland stammen (Pflanzenschutzmittel)
V2	Vollholz lackiert (auch klare Lasuren)	überwiegend: Fassadenelemente, Parkbänke, Zäune/Pfähle, Treppen, Parkett, etc. weitere: Möbeteile (Tische, Stühle, etc.), Gartenmöbel, etc.
V.2.1	darunter gesondert Fenster/Außentüren	gesondert zu betrachten, da neben den Farben auch Holzschutzmittel enthalten sind
V3	Vollholz imprägniert	überwiegend: Fassadenelemente, Parkbänke, Zäune/Pfähle, Sichtschutzwände, Dachstühle, konstruktive Bauhölzer, Kabeltrommeln, etc. (Holzschutzmittel enthalten) weitere: Außentreppen, Baum- und Rebpfähle, Kühltürme, etc.
V4	Vollholz teerölimprägniert	Bahnschwellen, Masten, etc.
H	Holzwerkstoff (Hwst.)	aus Holz hergestellte Produkte, die Bindemittel wie z. B. Klebstoffe enthalten: Sperrholz, Tischlerplatten, Holzleimbinder, Faserplatten, Spanplatten, etc.
H1	Hwst. „unbehandelt“ ¹⁾	überwiegend: Transportverpackungen aus Sperrholz, Einwegpalette aus Preßspan, etc. weitere: Spanplatten, Sperrholz, etc.
H2	Hwst. lackiert	Möbeteile, Schalplatten, etc.
H3	Hwst - furnierbeschichtet	Möbeteile (Schränke, Betten, etc.), Zimmertüren, etc.
H4	Hwst - papierbeschichtet	überwiegend: Vertäfelungen, etc. weitere: Möbeteile (Regale, Schränke, etc.), etc.
H5	Hwst - kunststoffbeschichtet ohne PVC	überwiegend: Möbeteile (Küchenplatten, Schränke, Tische, etc.), weitere: Vertäfelungen, etc.
H6	Hwst - kunststoffbeschichtet mit PVC	überwiegend: Möbeteile (Küchenplatten, Schränke, Tische, etc.), weitere: Bodenbeläge, Vertäfelungen, etc.

Fortsetzung

Kurz-bez.	Stoffgruppe	Beschreibung/Bemerkungen
S	Sondergruppen/Siebdurchgänge	sonstige Holzgruppen, Siebdurchgänge und Störstoffe
S1	Sonstige Hölzer (Faserplatten, ...)	überwiegend: Mobeiteile (Schränkrückwände, Schubladenböden, etc.), etc. weitere: Obst-/Blumenkistenböden, etc.
S2	Feinanteil $10 < d < 40$ mm	Siebdurchgang der Sortierung, eine Unterteilung in die Stoffgruppen ist aufgrund der Größe nicht mehr möglich.
S3	Feinanteil $d < 10$ mm	Siebdurchgang der Sortierung, eine Unterteilung in die Stoffgruppen ist aufgrund der Größe nicht mehr möglich.
S4	Störstoffe (leicht abtrennbare Nicht-Holzbestandteile)	Asbestteile, Asphalt, Fliesen, Glas, Kunststoff-/Metallteile, Linoleum, Tapeten, etc. (nicht: Farben, Holzschutzmittel, Furniere, etc.)
P	Output²⁾	Endprodukt (Späne, Hackschnitzel); Siebung in verschiedene Größen
P1	Feinfraktion	z. B.: 0 - 15 mm
P2	Mittelfraktion	z. B.: 15 - 50 mm
P3	Grobfraktion	z. B.: 50 - 150 mm

¹⁾ nach optischen Gesichtspunkten bestimmt

²⁾ Siebdurchgänge von den Anlagen übernommen

Die Stoffgruppen wurden aufgrund der in den Anlieferungen vorkommenden verschiedenen Holzfraktionen, der in den Anlagen praktizierten Aussortierungen in die einzelnen Holzfraktionen und aufgrund von Literaturrecherchen bestimmt.

E 3 Sichtung der Gebrauchtholzanlieferungen

E 3.1 Ablauf der Sichtung

Um die Zusammensetzung der Holzsortimente, die am Untersuchungstag aufbereitet werden sollten zu erfassen, wurde eine Sichtung der Gebraucht- und Restholzanlieferungen und der bereits vorhandenen Gebrauchtholzbestände durchgeführt. Dazu wurden Volumenanteile der festgelegten Stoffgruppen abgeschätzt.

Um zusätzlich nähere Auskünfte über den Herkunftsbereich des angelieferten Holzes zu bekommen, wurden die Anlieferer dahingehend befragt.

E 3.2 Protokoll

Sichtungsprotokoll: Holzaufbereitungsanlagen			
Durchgangsnr.:		Datum:	
Angaben zur Anlieferung und zum Erzeuger		Grobschätzung des Sichtungspersonals	
Laufende Nummer		Füllgrad [%]	
Uhrzeit		Fülldichte	locker <input type="checkbox"/>
Kfz.-Kennzeichen			dicht <input type="checkbox"/>
Name des Anlieferers		Angaben aus Lieferschein	
Name des Erzeugers		Cont.-Vol. [m³]	
Straße		Gewicht [t]	
Ort		Bemerkungen	
Erzeugerbranche		(Wasser im Container, Verschmutzung, ...)	
Sperrmüll	<input type="checkbox"/>		
Baustellenabfall	<input type="checkbox"/>		
Möbelindustrie	<input type="checkbox"/>		
Recyclinghof	<input type="checkbox"/>		
Sonstige	_____		

Fortsetzung

Sichtungsprotokoll - Beschreibung							
Stoffgruppe	Anteil [Vol.-%]	Teilgruppe	Anteil [Vol.-%]	davon [Vol. - %]			Bemerkungen
				<1m	1 - 2m	>2m	
Vollholz		Obstkisten					
		Sonst. Vollholz "unbehandelt"					
		Fenster/Außentüren					
		Sonst. Vollholz lackiert					
		Vollholz imprägniert					
		Vollholz teerölimprägniert					
Holzwerkstoff		Hwst. unbehandelt					
		Hwst. lackiert					
		Hwst - Furnierbeschichtung					
		Hwst - Papierbeschichtung					
		Hwst - Kunststoffbesch. ohne PVC					
		Hwst - Kunststoffbesch. mit PVC					
Sonstige		Sonstige Hölzer (Faserplatten, ...)					
Störstoffe		Störstoffe					

E 3.3 Zusammenfassung nach Herkunftsbereichen

E 3.3.1 Sperrmüll

Kenndaten	Herkunft: Sperrmüll				
	A	A	A	A	B
Anlage					
Verwertungsweg (stoff./energ.)	st.	en.	en.	en.	en.
Füllgrad [%]	100	100	100	100	100
Fülldichte [locker/dicht]	locker	dicht	dicht	dicht	dicht
Volumen [m³]	20	20	42	20	7
Gewicht [t]	2	4,8		5	
Bemerkungen					
Anteile der Stoffgruppen:					
Vollholz [Vol.-%]	70	10	20	40	65
Obstkisten					
Sonst. "unbehandelt"	100	100	25		60
Fenster/Außentüren			15		
Sonst. lackiert			60		
imprägniert					40
teerölimprägniert					
Holzwerkstoffe [Vol.-%]	25	90	80	60	30
"unbehandelt"					
lackiert					
furnierbeschichtet		90	20		
papierbeschichtet					
kunststoffbesch. ohne PVC		10	60		100
kunststoffbesch. mit PVC			20		
Sonstige/Störstoffe [Vol.-%]	5	0	0	0	5
Sonstige Hölzer					
Störstoffe (Glas, etc.)	100				100

E 3.3.2 Möbelindustrie

Kenndaten	Herkunft: Möbelindustrie			
	C	C	C	C
Anlage				
Verwertungsweg (stoff./energ.)	en.	en.	en.	en.
Füllgrad [%]	100	100	100	100
Fülldichte [locker/dicht]	dicht	dicht	dicht	dicht
Volumen [m³]	36	33	33	8
Gewicht [t]	3,2	9,2	8,1	3,5
Bemerkungen				
Anteile der Stoffgruppen:				
Vollholz [Vol.-%]	90	0	0	20
Obstkisten				
Sonst. "unbehandelt"	95			50
Fenster/Außentüren				
Sonst. lackiert				50
imprägniert	5			
teerölimprägniert				
Holzwerkstoffe [Vol.-%]	10	100	100	80
"unbehandelt"	100			50
lackiert				
furnierbeschichtet				50
papierbeschichtet		5		
kunststoffbesch. ohne PVC		45		
kunststoffbesch. mit PVC		50	100	
Sonstige/Störstoffe [Vol.-%]	0	0	0	0
Sonstige Hölzer				
Störstoffe (Glas, etc.)				

E 3.3.3 Sonstige Anlieferungen

Kenndaten	Herkunft: Sonstige ¹⁾		
	A	A	A
Anlage	A	A	A
Verwertungsweg (stoff./energ.)	st.	st.	st.
Füllgrad [%]	90	100	100
Fülldichte [locker/dicht]	locker	locker	locker
Volumen [m³]	33,6	20	76
Gewicht [t]		2	13,7
Bemerkungen	Paletten	Paletten	Paletten
Anteile der Stoffgruppen:			
Vollholz [Vol.-%]	95	100	90
Obstkisten			
Sonst. "unbehandelt"	100	100	100
Fenster/Außentüren			
Sonst. lackiert			
imprägniert			
teerölimprägniert			
Holzwerkstoffe [Vol.-%]	5	0	5
"unbehandelt"	95		100
lackiert			
furnierbeschichtet			
papierbeschichtet			
kunststoffbesch. ohne PVC	5		
kunststoffbesch. mit PVC			
Sonstige/Störstoffe [Vol.-%]	0	0	5
Sonstige Hölzer			
Störstoffe (Glas, etc.)			100

¹⁾ Verpackungsabfälle.

E 3.3.4 Baustellenabfall

Kenndaten	Herkunft: Baustellenabfall									
	A	A	A	A	A	A	B	C	C	C
Anlage	st.	st.	st.	st.	st.	st.	st.	en.	en.	en.
Verwertungsweg (stoff./energ.)	100	100	100	100	100	100	100	90	100	100
Füllgrad [%]	dicht	dicht	dicht	dicht	dicht	dicht	dicht	locker	dicht	dicht
Fülldichte [locker/dicht]	12	12	12	12	7	12	12	4	36	36
Volumen [m³]	1,6	1,8	1,6	1,6	1	1,8	1,8		4,4	3,6
Gewicht [t]	Abbruch	Abbruch	Abbruch	Abbruch		Abbruch	Abbruch	Abbruch		Abbruch
Bemerkungen										
Anteile der Stoffgruppen:										
Vollholz [Vol.-%]	90	95	95	95	75	90	95	100	95	95
Obstakisten										
Sonst. "unbehandelt"	80	80	90	80	100	100	60	10	70	60
Fenster/Außenlären	5	5								
Sonst. lackiert	10	10	10	20			20		10	20
Imprägniert	5	5						90	20	20
teerölimprägniert										
Holzwerkstoffe [Vol.-%]	10	5	5	5	5	10	0	0	5	5
"unbehandelt"	80	80	90	90		90				
lackiert									100	100
furnierbeschichtet										
papierbeschichtet	20	20	10	10						
kunststoffbesch. ohne PVC					50	10				
kunststoffbesch. mit PVC					50					
Sonstige/Störstoffe [Vol.-%]	0	0	0	0	20	0	5	0	0	0
Sonstige Hölzer										
Störstoffe (Glas, etc.)					100		100			

E 3.3.5 Recyclinghöfe

Kenndaten	Herkunft: Recyclinghof										
	A	A	A	A	A	A	B	C	C	C	C
Anlage	st.	st.	st.	st.	st.	en.	en.	en.	en.	en.	en.
Verwertungsweg (stoff./energ.)	100	95	95	100	95	100	100	100	100	100	100
Fülldichte [locker/dicht]	dicht	dicht	dicht	dicht	dicht	dicht	dicht	dicht	dicht	dicht	dicht
Volumen [m³]	70	38	42	77	77	42	47	47	88	30	60
Gewicht [t]	15,2	8	8	14	14		8	8	20	6	12,4
Bemerkungen											
Anteile der Stoffgruppen:											
Vollholz [Vol.-%]	k.A.	15	25	60	30	k.A.	40	60	90	k.A.	k.A.
Obstakisten											
Sonst. "unbehandelt"		10	50	40	80						
Fenster/Außenlären											
Sonst. lackiert		90	50	40							
Imprägniert				20	20						
teerölimprägniert											
Holzwerkstoffe [Vol.-%]	k.A.	70	70	40	60	k.A.	60	40	10	k.A.	k.A.
"unbehandelt"		10	10	30							
lackiert											
furnierbeschichtet				20	70						
papierbeschichtet											
kunststoffbesch. ohne PVC		90	80	50	30						
kunststoffbesch. mit PVC											
Sonstige/Störstoffe [Vol.-%]	k.A.	15	5	0	10	k.A.	0	0	0	k.A.	k.A.
Sonstige Hölzer		100	100		100						
Störstoffe (Glas, etc.)					100						

E 4 Entnahme der Mischproben

Die Untersuchung in den einzelnen Anlagen getrennt nach den von den Anlagenbetreibern festgelegten Verwertungswegen erstreckte sich über jeweils acht Stunden. Um möglichst repräsentative Mischproben zu erhalten, wurde in Abständen von einer halben Stunde nach der ersten Zerkleinerungsstufe (Hacker) eine Holzmenge von 90 l entnommen (entspricht 16 Proben). Die Entnahmestellen der Mischproben (Anhang E 1) ergaben sich aus den jeweils vorgefundenen Anlagenbedingungen (Verfahrenstechniken und -abläufe).

Um zu gewährleisten, daß die Zusammensetzung des Inputs sich im Output widerspiegelt, wurden zeitversetzt von den jeweils produzierten Recyclingspänen (je nach Anlagentechnik, zwei oder drei Siebgrößen) über den gleichen Zeitraum (entspricht 16 Proben) eine je 10 l Mischprobe direkt aus dem Spänestrom entnommen.

Die einzelnen Teilproben einer Fraktion wurden zu einer Tagesmischmenge zusammengefaßt. Dadurch ergab sich für jede Untersuchung eine Probenmenge des Inputs von 1.440 l (entspricht ca. 240 kg) und von den jeweiligen Siebgrößen des Outputs je 160 l (entspricht ca. 36 kg).

E 4.1 Protokoll der Mischprobenverwiegung

Durchgangsnr.:	Anlage:	Datum:	
stoffl. Verw.:	them. Beh.:	en. Verw.:	Sonstige:

Entnahme für Stoffgruppen-Sortierung			
MGB Nr.	Gewicht		
	Brutto [kg]	Tara [kg]	Netto [kg]
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
Summe1	--	--	

Entnahme für Produkt-Analyse				
MGB Nr.	Produkt	Gewicht		
		Brutto [kg]	Tara [kg]	Netto [kg]
1				
2				
3				
Summe2	--	--	--	

Vergleich		eingesammelte Mengen [kg]
Eingesammelte Mengen [kg]		Summe 1 + 2
Sortierte Mengen [kg]		
Abweichung [%]		

E 4.2 Verwiegung der entnommenen Mischproben

Anlage Verwertungsweg	A	B	A	B	C
	stofflich [kg]	stofflich [kg]	energetisch [kg]	energetisch [kg]	energetisch [kg]
Input	247,65	209,75	261,40	262,85	258,20
Output (Summe)	67,90	105,95	76,60	115,95	102,90
Feinfraktion	40,30	34,80	42,95	40,10	40,70
Mittelfraktion	---	36,55	---	40,80	33,15
Grobfraktion	27,60	34,50	33,65	35,25	29,05
Gesamtsumme	315,55	315,70	338,00	378,80	381,10

E 5 Sortierung der Mischproben (Anlageninput)

E 5.1 Ablauf der Sortierung

Die aus dem Anlageninput entnommenen Mischproben wurden in die schon bei der Sichtung festgelegten Stoffgruppen auf einem Sortiertisch mit einem 40er Sieb (Siebweite: $0 < d < 40$ mm) separiert. Vom Siebdurchgang wurde mittels eines 10er Siebes die Fraktion $d < 10$ mm abgetrennt. Die Sortierung der Anlageninputs erfolgte ausschließlich anhand von optischen Merkmalen und teilweise anhand des Geruchs (z. B. Teeröle).

Bei den Vollhölzern gestaltete es sich schwierig, die mit Holzschutzmitteln behandelten Anteile deutlich zu erkennen und der richtigen Holzgruppe zuzuordnen. Oft konnte man diese Entscheidung nur über geringe Verfärbungen des Holzes, z. B. grün, gelb oder anhand der Form über die Zuordnungen zum Herkunftsbereich, z. B. Zaunpfahl, treffen.

Um Holzwerkstoffe nach ihren Beschichtungen einteilen zu können, wurden die jeweiligen Bruchstellen betrachtet. Dabei sind folgenden Kategorien zu unterscheiden:

- ⇒ mit Papierbeschichtung: Beschichtung franst beim Bruch aus und ist leicht zu zerreißen
- ⇒ mit Kunststoffbeschichtung:
 - a) ohne PVC Beschichtung weist eine saubere, scharfe Bruchkante auf
 - b) mit PVC: Beschichtung ist sehr zäh und kann vom Holzwerkstoff wie eine Folie abgezogen werden, reißt ab

E 5.2 Protokoll der Sortierung

Durchgangsnr.: <input type="text"/>		Anlage: <input type="text"/>			Datum: <input type="text"/>										
stoffl. Verw.: <input type="text"/>		therm. Beh.: <input type="text"/>			energ. Verw.: <input type="text"/>			Sonstige: <input type="text"/>							
Kurz- bez.	Stoffgruppe	Füll- grad (cm)	Gewicht			Füll- grad (cm)	Gewicht			Füll- grad (cm)	Gewicht			Füll- grad (cm)	Gesamt- Menge (kg)
			Brutto (kg)	Tara (kg)	Netto (kg)		Brutto (kg)	Tara (kg)	Netto (kg)		Brutto (kg)	Tara (kg)	Netto (kg)		
V1	Vollholz "unbehandelt"														
	Obstkisten														
V1.2	Sonst. Vollholz "unbehandelt"														
V2	Vollholz lackiert														
	Fenster/Außentüren														
V2.2	Sonst. Vollholz lackiert														
V3	Vollholz imprägniert														
V4	Vollholz leerölm imprägniert														
H1	Holzwerkstoff unbehandelt														
H2	Hwst. lackiert														
H3	Hwst. Furnierbeschichtung														
H4	Hwst. Papierbeschichtung														
H5	Hwst. Kunststoffbesch. ohne PVC														
H6	Hwst. Kunststoffbesch. mit PVC														
S1	Sonstige (Schrankrückwand, ...)														
S2	Feinteile 10 < d < 40														
S3	Feinteile d < 10														
S4	Störstoffe														
Gesamtsumme		...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

E 5.3 Beschreibung der aussortierten Stoffgruppen

Durchgangsnr.: <input type="text"/>		Datum: <input type="text"/>	
Kurz- bez.	Stoffgruppe	Beschreibung/Bemerkungen	
V1	Vollholz "unbehandelt"		
V1.1	Obstkisten		
V1.2	Sonst. Vollholz "unbehandelt"		
V2	Vollholz lackiert		
V2.1	Fenster/Außentüren		
V2.2	Sonst. Vollholz lackiert		
V3	Vollholz imprägniert		
V4	Vollholz leerölm imprägniert		
H1	Holzwerkstoff unbehandelt		
H2	Hwst. lackiert		
H3	Hwst. Furnierbeschichtung		
H4	Hwst. Papierbeschichtung		
H5	Hwst. Kunststoffbesch. ohne PVC		
H6	Hwst. Kunststoffbesch. mit PVC		
S1	Sonstige Hölzer (Faserplatten, ...)		
S2	Feinteile 10 < d < 40		
S3	Feinteile d < 10		
S4	Störstoffe		

E 6 Anlagenoutput

Die in den Holzaufbereitungsanlagen hergestellten Recyclingprodukte wurden in die Gruppen Feinfraktion (FF), Mittelfraktion (MF) und Grobfraktion (GF) unterteilt (s. E 6.1). Die abgesiebten Fraktionen sind von der Anzahl und den Siebgrößen unterschiedlich. In der Anlage A werden nur zwei Fraktionen mit den Siebschritten 6 und 50 mm abgesiebt. In der Anlage B und C sind es jeweils drei Fraktionen, die über die Siebschritte 6, 20 und 60 mm bzw. 15, 50 und 150 mm abgetrennt werden.

Die Grobfraktion stellt in allen Anlagen den größten Anteil am Gesamtoutput. Bei der Anlage C fällt auf, daß alle Fraktionen die gleichen Anteile aufweisen.

E 6.1 Anteile der Outputströme in den untersuchten Anlagen und dazugehörige Siebgrößen

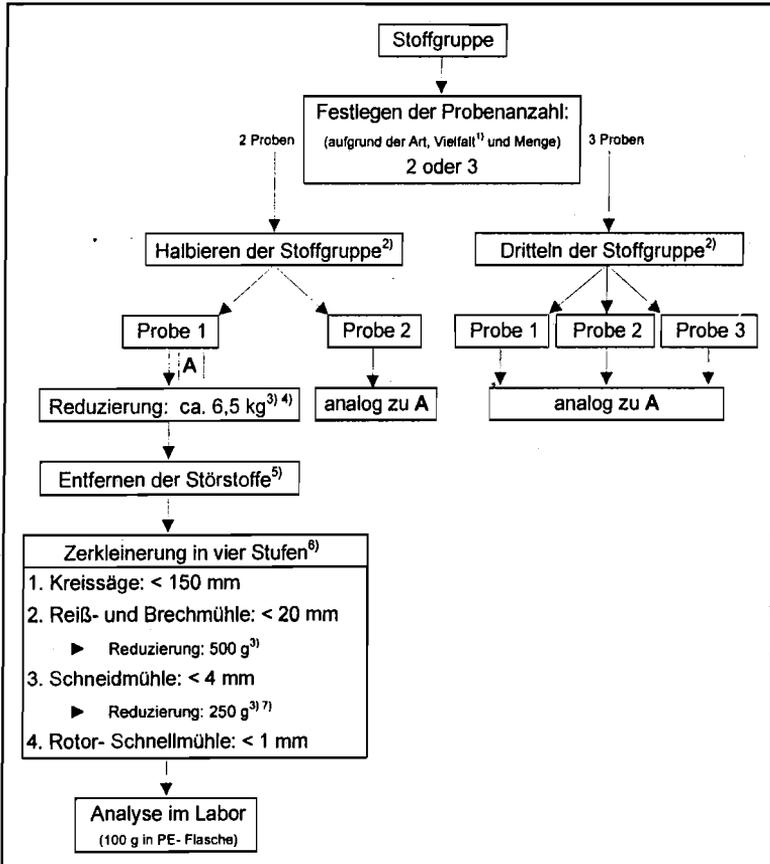
Anlage	Output	Siebgrößen mm	Mengenverhältnis ¹⁾ Gew.-%
A	FF	0 - 6	15
	MF		nicht abgesiebt
	GF	6 - 50	85
B	FF	0 - 6	5
	MF	6 - 20	35
	GF	20 - 60	60
C	FF	0 - 15	33
	MF	15 - 50	33
	GF	50 - 150	34

¹⁾ Angaben entsprechen Jahresdurchschnitt

FF: Feinfraktion; MF: Mittelfraktion; GF: Grobfraktion

E 7 Probenaufbereitung

Der Ablauf von der Festlegung der Probenzahl für eine Stoffgruppe bis zur Zerkleinerung der kompletten Gebrauchtholzstücke zu einer analysefähigen Probe ist in der folgenden Abbildung dargestellt.



¹⁾ bezogen auf die jeweilige Stoffgruppe: Farben, Typen, Durchschnitt, etc.

²⁾ Zusammensetzung der einzelnen Teilmengen (2 bis 3) ist ähnlich (Menge, Arten, Vielfalt, etc.). Im Falle eines sehr geringen Aufkommens einer Stoffgruppe erfolgte die Aufteilung in die Proben erst nach der Zerkleinerung der gesamten Stoffgruppe auf < 20 mm.

³⁾ Reduzierung erfolgte durch Halbierung bis die gewünschte Menge vorlag (eine Hälfte wurde verworfen, die andere weiter aufbereitet).

⁴⁾ je nach Mengenumfang der Teilmenge einer Stoffgruppe

⁵⁾ hier: Metall- und Nichtmetallteile, die bei der Zerkleinerung störten

⁶⁾ intensive Reinigung der Zerkleinerungsgeräte nach jeder Probe

⁷⁾ der Rest diente als Rückstellprobe

Die Festlegung der Probenanzahl je Stoffgruppe richtete sich nach der jeweiligen Menge (ausreichend Menge nach der Sortierung vorhanden) und Inhomogenität der

Gruppe. Es wurden mindestens zwei, maximal drei Proben aus der Tagesmischmenge aufbereitet (Abb. 2). Die jeweiligen Einzelproben wurden halbiert und von den entstandenen Hälften wurde eine weiter aufbereitet, die andere verworfen. Dieses Procedere wurde so lange durchgeführt, bis die Gesamtmenge auf 40 l (ca. 6,5 kg) reduziert war. Danach wurden die noch enthaltenden Störstoffe, vor allem Metalle, entfernt, da diese den Zerkleinerungsprozeß stören.

Das Ziel der Probenaufbereitung war eine Probemenge von ca. 200 g mit einer Größe von < 1 mm zu erzielen. Von dem zerkleinerten Material wurden 100 g in PE-Flaschen abgefüllt, die andere Hälfte diente als Rückstellprobe.

Bei der Zerkleinerung war darauf zu achten, daß Zerkleinerungsaggregate Verwendung fanden, die das Ergebnis möglichst wenig beeinflussten. D. h. es mußte darauf geachtet werden, daß sich weder das Aufbereitungsaggregat noch die Probe zu sehr erwärmten. Weiter mußte das Material der Zerkleinerungswerkzeuge so beschaffen sein, daß der Abrieb möglichst gering war (eingesetzte Zerkleinerungsaggregate im Anhang E 6.1). Die Zerkleinerung fand in vier Schritten statt. Der erste Schritt war eine Zerkleinerung der 40 l Probe auf < 150 mm mit Hilfe einer Kreissäge. Darauf erfolgte die weitere Zerkleinerung mit einer Reiß- und Brechmühle auf < 20 mm. Nach diesem Schritt wurde die Probe nochmals so oft halbiert, bis noch 3 l (ca. 500 g) zurückblieben. Diese Probenmenge wurde mit einer Schneidmühle auf eine Größe von < 14mm zerkleinert. Danach wurde die Probe nochmals so lange halbiert, bis noch ca. 250 g vorhanden waren. Diese Menge wurde mit einer Rotor-Schnellmühle auf < 1 mm zerkleinert. 100 g dieser so aufbereiteten Probe wurden für die Analytik in PE-Flaschen abgefüllt, der Rest diente als Rückstellprobe.

Die Aufbereitung der verschiedenen Siebgrößen des Outputs erfolgte analog. Die Zerkleinerung mit der Kreissäge und der Reiß- und Brechmühle war jedoch nicht erforderlich. Bevor die Probenmenge mit einer Schneidmühle auf eine Größe von < 14mm zerkleinert wurde, wurde die Probenmenge auf 2 l (ca. 500 g) durch Halbierungen reduziert.

E 7.1 Zerkleinerungsgeräte

1. Kreissäge (< 150 mm)

Metabo, „Handkreissäge KS 1266 S“

Schneidblatt: Hartmetall (Elemente: C, Co, Cr [30 %], W, Ni, Mo, Fe)

2. Reiß- und Brechmühle (< 20 mm)

Fritsch, „pulverisette 10“

Lochsieb: k. A.

Schneidrotor: Stahl 1.2344 (Elemente: C, Si, Mn, P, S, Cr [4,8 - 5,5 %], Mo, V)
 Statormesser: Stahl 1.2344 (s. o.)

3. Schneidmühle (< 4 mm)

Retsch, „SM 2.000“

Gehäuse: korrosionsbeständige Alu-Guß-Legierung

Rotor: Stahl 1.4305 (rostfrei)

Schneidleisten: gehärteter Chromstahl (rostfrei)

Wendelschneidplatten: Hartmetall (Wolframcarbid)

4. Rotor-Schnellmühle (< 1,0 mm)

Fritsch, „pulverisette 14“

Schlagrotor: Stahl 1.4405 (rostfrei) (Elemente: C, Si, Mn, P, S, Cr [15,0 - 16,5 %], Mo, Ni)

Siebring: Stahl 1.4301 (rostfrei) (Elemente: C, Si, Mn, P, S, Cr [17,0 - 19,0 %], Ni)

E 8 Analytikverfahren

Parameter	Bestimmungsmethode	Bestimmungsgrenze Labor mg/kg
Aufschluß zur Bestimmung der Schwermetalle	Salpetersäuredruckaufschluß angelehnt an Untersuchungsverfahren nach § 35 LMBG (Durchführung mittels Mikrowelle)	
Arsen	DIN 38406 E22	0,8
Bor	DIN 38406 E22	5
Cadmium	DIN 38406 E22	0,2
Chrom	DIN 38406 E22	1
Kupfer	DIN 38406 E22	2
Quecksilber	DIN 38406 E12-1	0,05
Blei	DIN 38406 E22	2,5
Titan	DIN 38406 E22	5
Zink	DIN 38406 E22	5
Chlor ges.	Wickbold-Verbrennung, Ionenchromatographie bzw. ionenselektive Elektrode	100
Fluor ges.	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	

E 9 Analysenergebnisse

E 9.1 Anlagenoutput

E 9.1.1 Stofflicher Verwertungsweg

E 9.1.1.1 Gesamtergebnisse (stoffliche Verwertung)

K.-bez.	Stoffgruppe (Output)	Chlor mg/kg	Arsen mg/kg	Bor mg/kg	Chrom mg/kg	Kupfer mg/kg	Quecksilber mg/kg	Fluor mg/kg
FF	P1-1-AS	1.960	1,1	7,9	64	8,5	0,20	448
	P1-2-AS	1.563	0,80	8,2	67	14	0,25	645
	P1-3-AS	1.278	0,90	7,2	77	9,4	0,29	257
	P1-1-BS	679	0,80	7,2	54	11	0,05	175
	P1-2-BS	769	1,1	7,3	150	11	0,08	120
	P1-3-BS	640	<0,8	8,2	54	8,7	0,06	228
MF	P2-1-BS	654	1,2	5,3	29	6,1	<0,05	164
	P2-2-BS	497	<0,8	5,4	22	6,3	<0,05	128
	P2-3-BS	827	<0,8	6,3	38	7,1	<0,05	306
GF	P2-1-AS	643	<0,8	4,7	7,8	3,3	0,06	257
	P2-2-AS	1.037	<0,8	3,6	0,35	2,4	0,12	288
	P2-3-AS	832	<0,8	3,3	6,7	2,7	0,09	293
	P3-1-BS	564	2,1	4,9	32	9,6	<0,05	190
	P3-2-BS	428	<0,8	4,7	24	7,4	<0,05	139
	P3-3-BS	674	<0,8	5,6	21	3,1	<0,05	192

K.-bez.	Stoffgruppe (Output)	Lindan mg/kg	Pentachlorpenol mg/kg	Benzo(a)pyren mg/kg	Blei mg/kg	Cadmium mg/kg	Titan mg/kg	Zink mg/kg
FF	P1-1-AS	0,10	1,1	2,2	570	1,5	74	1.800
	P1-2-AS	0,10	1,9	1,4	530	2,6	98	2.800
	P1-3-AS	0,10	2,2	1,5	1.100	2,3	66	3.400
	P1-1-BS	0,30	2,5	0,20	59	0,30	32	105
	P1-2-BS	<0,1	0,90	0,05	190	0,31	26	160
	P1-3-BS	0,10	3,2	0,08	65	0,25	47	110
MF	P2-1-BS	0,30	2,8	0,05	30	0,25	6,5	45
	P2-2-BS	0,10	2,1	0,05	17	0,25	11	42
	P2-3-BS	<0,1	0,60	0,12	63	0,40	20	61
GF	P2-1-AS	<0,1	0,20	0,05	16	0,40	4,7	160
	P2-2-AS	<0,1	1,0	0,24	45	0,50	4,7	200
	P2-3-AS	<0,1	1,6	0,06	63	0,40	26	220
	P3-1-BS	0,10	1,2	0,05	4,9	0,20	2,3	19
	P3-2-BS	<0,1	1,7	0,11	5,1	0,24	4,6	37
	P3-3-BS	0,30	1,9	0,05	3,7	0,22	3,7	66

E 9.1.1.2 Zuordnung zu Grenzwerten der Spanplattenindustrie und der Gruppe 1 des LUA

Parameter	Fraktion	Probenanzahl (gesamt)	Höchstwerte Spanplattenind.				LUA Gruppe 1			
			eingehalten		überschritten		eingehalten		überschritten	
			n	[%]	n	[%]	n	[%]	n	[%]
Chlor	GF	n=6					0	0	6	100
	MF	n=3					0	0	3	100
	FF	n=6					0	0	6	100
Arsen	GF	n=6					5	83	1	17
	MF	n=3					2	67	1	33
	FF	n=6					3	50	3	50
Bor	GF	n=6					6	100	0	0
	MF	n=3					3	100	0	0
	FF	n=6					6	100	0	0
Chrom	GF	n=6	5	83	1	17	1	17	5	83
	MF	n=3	2	67	1	33	0	0	3	100
	FF	n=6	0	0	6	100	0	0	6	100
Kupfer	GF	n=6					4	67	2	33
	MF	n=3					0	0	3	100
	FF	n=6					0	0	6	100
Quecksilber	GF	n=6					3	50	3	50
	MF	n=3					3	100	0	0
	FF	n=6					0	0	6	100
Fluor	GF	n=6					0	0	6	100
	MF	n=3					0	0	3	100
	FF	n=6					0	0	6	100
Lindan	GF	n=6					5	83	1	17
	MF	n=3					2	67	1	33
	FF	n=6					5	83	1	17
PCP	GF	n=6	6	100	0	0	2	33	4	67
	MF	n=3	3	100	0	0	1	33	2	67
	FF	n=6	5	83	1	17	1	17	5	83
PAK nur Benzo(a)pyren	GF	n=6	6	100	0	0	3	50	3	50
	MF	n=3	3	100	0	0	2	67	1	33
	FF	n=6	6	100	0	0	1	17	5	83
Blei	GF	n=6	4	67	2	33	0	0	6	100
	MF	n=3	2	67	1	33	0	0	3	100
	FF	n=6	0	0	6	100	0	0	6	100
Cadmium	GF	n=6					6	100	0	0
	MF	n=3					3	100	0	0
	FF	n=6					3	50	3	50
Titan	GF	n=6					5	83	1	17
	MF	n=3					0	0	3	100
	FF	n=6					0	0	6	100
Zink	GF	n=6					2	33	4	67
	MF	n=3					2	67	1	33
	FF	n=6					0	0	6	100

E 9.1.2 Energetischer Verwertungsweg

E 9.1.2.1 Gesamtergebnisse (energetische Verwertung)

K.-bez.	Stoffgruppe (Output)	Chlor [mg/kg]	Arsen [mg/kg]	Bor [mg/kg]	Chrom [mg/kg]	Kupfer [mg/kg]	Quecksilber [mg/kg]	Fluor [mg/kg]
FF	P1-1-AE	9.508	3,6	13	73	21	0,16	387
	P1-2-AE	1.807	1,5	15	44	25	0,55	180
	P1-3-AE	1.484	1,5	16	67	22	0,24	146
	P1-1-BE	2.716	<0,8	7,4	17	6,5	0,07	136
	P1-2-BE	1.027	1,4	7,3	19	7,7	0,11	144
	P1-3-BE	1.587	1,6	7,5	21	8,2	0,10	139
	P1-1-CE	3.246	1,0	11	16	12	0,08	<100
	P1-2-CE	1.935	<0,8	9,2	15	11	0,08	139
	P1-3-CE	2.832	1,0	9,5	15	290	0,07	123
MF	P2-1-BE	1.963	<0,8	6,3	1,0	7,7	0,09	105
	P2-2-BE	1.721	1,0	6,7	26	10	0,08	218
	P2-3-BE	2.828	<0,8	7,0	21	8,3	0,08	<100
	P2-1-CE	8.889	<0,8	7,7	22	5,1	0,05	<100
	P2-2-CE	6.501	<0,8	9,0	25	10	0,06	104
	P2-3-CE	12.420	<0,8	6,1	24	3,8	<0,05	<100
GF	P2-1-AE	2.262	3,3	7,2	40	19	0,29	<100
	P2-2-AE	1.300	1,8	5,9	29	11	0,36	<100
	P2-3-AE	1.710	4,9	12	49	20	0,07	<100
	P3-1-BE	1.125	13	5,1	35	20	0,10	117
	P3-2-BE	1.368	<0,8	7,8	16	9,6	0,13	128
	P3-3-BE	738	<0,8	<5,0	15	6,4	0,07	<100
	P3-1-CE	9.725	<0,8	5,8	31	7,7	<0,05	104
	P3-2-CE	6.572	<0,8	7,6	34	4,4	0,06	<100
	P3-3-CE	5.854	3,4	8,0	34	9,3	0,05	140

K.-bez.	Stoffgruppe (Output)	Lindan [mg/kg]	Pentachlorphenol [mg/kg]	Benzo(a)-pyren [mg/kg]	Blei [mg/kg]	Cadmium [mg/kg]	Titan [mg/kg]	Zink [mg/kg]
FF	P1-1-AE	<0,1	0,70	0,47	310	3,4	49	870
	P1-2-AE	<0,1	0,70	0,60	300	1,9	93	1.050
	P1-3-AE	<0,1	0,70	0,50	420	2,5	42	1.200
	P1-1-BE	0,10	2,0	0,24	75	1,0	12	170
	P1-2-BE	0,20	2,7	0,18	70	1,1	12	160
	P1-3-BE	0,20	1,8	0,28	110	0,90	17	240
	P1-1-CE	<0,1	2,1	0,31	330	0,80	18	780
	P1-2-CE	<0,1	2,0	0,41	380	1,3	17	660
	P1-3-CE	0,2	3,6	0,35	240	1,2	14	370
MF	P2-1-BE	0,20	2,2	0,12	100	2,0	14	230
	P2-2-BE	<0,1	0,80	0,32	110	2,7	14	180
	P2-3-BE	0,20	1,6	0,37	96	1,9	10	170
	P2-1-CE	<0,1	1,5	0,67	110	0,30	13	99
	P2-2-CE	0,2	2,9	0,58	160	0,60	17	140
	P2-3-CE	<0,1	0,70	0,05	93	0,30	7,1	75
GF	P2-1-AE	<0,1	1,1	0,18	40	1,1	13	90
	P2-2-AE	<0,1	0,40	4,6	45	1,1	6,3	89
	P2-3-AE	<0,1	0,20	0,46	36	3,5	9,1	94
	P3-1-BE	0,20	2,4	0,09	<2,5	0,80	5,1	63
	P3-2-BE	0,10	0,50	0,06	55	0,70	<5,0	58
	P3-3-BE	<0,1	0,80	0,19	20	0,40	5,6	71
	P3-1-CE	<0,1	0,7	1,1	120	0,60	14	90
	P3-2-CE	<0,1	1,4	0,48	150	0,60	20	110
	P3-3-CE	<0,1	1,0	0,08	77	0,80	8,1	110

9.2 Anlageninput

9.2.1 Gesamtergebnisse zu den Stoffgruppen

9.2.1.1 Stoffgruppe: Vollholz

Stoffgruppe (Input)	Chlor [mg/kg]	Arsen [mg/kg]	Bor [mg/kg]	Chrom [mg/kg]	Kupfer [mg/kg]	Queckelber [mg/kg]	Fluor [mg/kg]
V1-1-AS	672	<0,8	4,5	5,0	2,5	<0,05	218
V1-2-AS	573	1,0	6,8	7,2	1,5	<0,05	178
V1-1-AE	828	<0,8	<5,0	5,9	2,7	<0,05	148
V1-2-AE	419	<0,8	<5,0	110	40	<0,05	<100
V1-1-BS	509	<0,8	6,2	14	8,2	<0,05	172
V1-2-BS	756	<0,8	5,7	55	2,0	<0,05	269
V1-1-BE	807	<0,8	<5,0	4,3	<2,0	<0,05	195
V1-2-BE	607	<0,8	<5,0	13	5,2	<0,05	169
V1-3-BE	788	<0,8	8,3	4,6	<2,0	<0,05	198
V1-1-CE	918	<0,8	4,6	13	6,9	0,06	106
V1-2-CE	684	<0,8	3,7	2,4	1,8	0,17	102
V1.1-1-AS	603	<0,8	2,3	5,2	2,9	<0,05	112
V1.1-2-AS	565	1,0	2,0	5,1	1,6	<0,05	107
V1.1-1-AE	697	<0,8	<5,0	3,7	2,0	<0,05	<100
V1.1-2-AE	1.995	<0,8	<5,0	3,9	2,3	<0,05	<100
V2-1-AS	922	<0,8	<5,0	16	<2,0	0,26	214
V2-2-AS	1.298	<0,8	<5,0	16	<2,0	0,31	330
V2-3-AS	530	<0,8	<5,0	15	2,3	0,44	145
V2-1-AE	708	<0,8	19	6,7	2,9	0,18	<100
V2-2-AE	850	<0,8	<5,0	7,6	3,1	<0,05	165
V2-1-BS	965	<0,8	9,3	13	2,3	<0,05	353
V2-2-BS	1.648	<0,8	17	44	2,7	<0,05	126
V2-1-BE	432	<0,8	<5,0	11	<2,0	0,05	301
V2-2-BE	938	1,6	6,3	86	32	<0,05	251
V2-1-CE	1.225	<0,8	2,5	14	1,6	0,10	150
V2-2-CE	606	0,90	3,0	16	2,0	0,14	116
V2.1-1-AS	817	<0,8	2,5	7,0	3,7	0,44	209
V2.1-2-AS	720	<0,8	<5,0	4,6	<2,0	0,96	168
V2.1-1-AE	503	<0,8	<5,0	3,5	5,4	0,20	<100
V2.1-2-AE	591	<0,8	<5,0	4,6	10	0,17	<100
V2.1-1-BE	428	<0,8	7,0	16	3,5	0,35	<100
V2.1-2-BE	614	<0,8	7,0	13	7,9	0,39	112
V2.1-1-CE	361	<0,8	2,6	5,4	1,2	0,16	<100
V2.1-2-CE	712	<0,8	3,1	9,0	1,9	0,21	145
V3-1-AS	1.012	<0,8	11	48	16	32	238
V3-2-AS	1.339	<0,8	11	77	28	6,2	222
V3-1-AE	1.277	<0,8	13	130	53	12	122
V3-2-AE	1.484	<0,8	13	130	56	11	122
V3-1-BS	319	<0,8	35	350	120	<0,05	183
V3-2-BS	821	<0,8	52	190	59	<0,05	184
V3-1-BE	465	<0,8	12	210	140	0,05	139
V3-2-BE	436	<0,8	13	200	62	<0,05	167
V3-1-CE	846	<0,8	15	17	64	0,06	148
V3-2-CE	853	6,9	5,7	26	9,9	<0,05	157

Stoffgruppe (Input)	Lindan [mg/kg]	Pentachlor- phenol [mg/kg]	Benzo(a)- pyren [mg/kg]	Blei [mg/kg]	Cadmium [mg/kg]	Titan [mg/kg]	Zink [mg/kg]
V1-1-AS	0,10	3,2	0,05	2,2	0,30	5,5	36
V1-2-AS	0,30	0,50	0,05	15	<0,2	9,3	26
V1-1-AE	<0,1	<0,1	0,66	4,8	0,20	3,4	32
V1-2-AE	<0,1	0,60	0,09	21	<0,2	3,2	35
V1-1-BS	<0,1	0,90	0,05	1,8	0,20	3,6	27
V1-2-BS	<0,1	1,5	0,05	3,4	0,24	3,8	24
V1-1-BE	<0,1	<0,1	0,05	<2,5	0,30	14	17
V1-2-BE	<0,1	1,1	0,05	<2,5	0,50	9,5	52
V1-3-BE	<0,1	0,20	0,05	<2,5	0,20	6,4	16
V1-1-CE	<0,1	0,40	0,05	8,0	0,30	5,1	25
V1-2-CE	<0,1	0,30	0,05	5,9	0,20	9,7	30
V1.1.1-AS	<0,1	<0,1	0,05	7,4	0,30	5,4	78
V1.1.2-AS	<0,1	<0,1	0,05	5,9	0,26	6,5	62
V1.1.1-AE	<0,1	<0,1	0,05	2,7	0,20	4,0	40
V1.1.2-AE	<0,1	<0,1	0,05	4,1	0,20	6,6	35
V2-1-AS	0,20	5,4	1,60	280	0,30	15	410
V2-2-AS	<0,1	3,4	0,14	170	0,30	22	1.200
V2-3-AS	3,3	24	1,40	160	1,0	12	740
V2-1-AE	<0,1	0,40	0,11	85	0,30	11	500
V2-2-AE	<0,1	0,20	0,05	170	0,30	12	480
V2-1-BS	<0,1	<0,1	0,05	250	<0,2	6,9	370
V2-2-BS	<0,1	<0,1	0,05	96	0,20	6,2	190
V2-1-BE	<0,1	2,3	0,06	220	0,40	7,0	230
V2-2-BE	0,20	5,9	0,20	330	0,50	<5,0	550
V2-1-CE	<0,1	1,5	0,05	500	0,40	7,4	730
V2-2-CE	<0,1	1,3	0,05	160	0,20	4,5	170
V2.1.1-AS	<0,1	6,2	0,05	1.900	6,4	75	1.600
V2.1.2-AS	0,40	7,9	0,10	360	2,9	30	950
V2.1.1-AE	<0,1	4,5	0,38	1.200	0,50	27	1.000
V2.1.2-AE	<0,1	7,7	0,25	940	0,50	22	1.800
V2.1.1-BE	2,3	19	0,12	2.310	0,80	27	1.100
V2.1.2-BE	2,5	30	0,13	2.150	0,70	28	970
V2.1.1-CE	0,20	12	0,05	1.100	1,1	27	1.800
V2.1.2-CE	<0,1	8,4	0,05	1.900	2,3	57	4.100
V3-1-AS	<0,1	0,20	0,06	7,6	0,40	<5,0	110
V3-2-AS	<0,1	<0,1	0,09	5,5	0,40	<5,0	84
V3-1-AE	<0,1	<0,1	0,08	6,3	0,20	2,0	44
V3-2-AE	<0,1	0,20	0,11	6,4	0,20	2,2	42
V3-1-BS	<0,1	<0,1	0,05	1,7	0,30	2,6	19
V3-2-BS	<0,1	<0,1	0,05	4,8	0,23	8,2	23
V3-1-BE	<0,1	<0,1	0,09	2,7	0,40	2,7	37
V3-2-BE	<0,1	<0,1	0,05	<2,5	0,40	8,0	100
V3-1-CE	<0,1	7,2	0,05	12	0,30	1,9	93
V3-2-CE	<0,1	<0,1	0,05	4,0	0,30	2,0	88

9.2.1.2 Stoffgruppe: Holzwerkstoffe

Stoffgruppe (Input)	Chlor [mg/kg]	Arsen [mg/kg]	Bor [mg/kg]	Chrom [mg/kg]	Kupfer [mg/kg]	Quecksilber [mg/kg]	Fluor [mg/kg]
H1-1-AS	735	<0,8	<5,0	6,4	2,2	<0,05	193
H1-2-AS	466	<0,8	<5,0	8,1	<2,0	<0,05	236
H1-1-AE	585	<0,8	6,6	11	4,4	<0,05	162
H1-2-AE	890	<0,8	5,7	9,5	2,9	<0,05	152
H1-1-BS	488	<0,8	13	7,0	2,1	<0,05	375
H1-2-BS	433	<0,8	11	6,9	2,6	<0,05	208
H1-1-BE	2.282	<0,8	<5,0	6,7	4,6	<0,05	112
H1-2-BE	1.795	<0,8	<5,0	7,5	2,1	<0,05	143
H1-1-CE	701	<0,8	6,9	5,1	2,6	<0,05	105
H1-2-CE	524	<0,8	7,8	6,0	2,4	<0,05	<100
H2-1-AS	983	<0,8	<5,0	38	3,1	0,33	116
H2-2-AS	596	<0,8	<5,0	17	2,3	<0,05	143
H2-1-AE	547	<0,8	11	10	2,5	0,06	<100
H2-2-AE	1.126	<0,8	<5,0	14	3,1	<0,05	231
H2-1-BE	1.445	<0,8	<5,0	19	<2,0	<0,05	191
H2-2-BE	815	<0,8	<5,0	12	4,0	0,11	136
H2-1-CE	883	<0,8	3,9	9,8	3,7	<0,05	101
H2-2-CE	952	<0,8	4,5	6,5	2,7	<0,05	102
H3-1-AS	1.126	<0,8	5,6	8,2	<2,0	<0,05	132
H3-2-AS	1.057	<0,8	<5,0	8,8	<2,0	<0,05	125
H3-1-AE	1.345	<0,8	<5,0	1,6	<2,0	0,06	130
H3-2-AE	5.379	<0,8	<5,0	2,6	<2,0	0,08	113
H3-1-BE	981	<0,8	<5,0	4,7	<2,0	0,05	105
H3-2-BE	1.085	<0,8	<5,0	4,2	2,2	<0,05	102
H3-1-CE	1.058	<0,8	5,1	6,9	1,8	<0,05	115
H3-2-CE	921	<0,8	8,9	4,3	1,4	<0,05	<100
H4-1-AS	1.789	<0,8	18	5,6	2,3	<0,05	<100
H4-2-AS	1.814	<0,8	18	6,5	2,5	<0,05	428
H4-1-AE	962	<0,8	<5,0	13	3,1	0,06	<100
H4-2-AE	1.225	<0,8	<5,0	6,4	2,1	0,07	207
H4-1-BE	784	<0,8	<5,0	5,2	2,5	<0,05	104
H4-2-BE	795	<0,8	5,3	7,4	3,1	0,05	114
H4-1-CE	588	0,90	6,6	13	6,1	<0,05	<100
H4-2-CE	685	1,2	9,1	14	6,3	0,05	<100
H5-1-AS	1.291	<0,8	<5,0	8,1	<2,0	<0,05	161
H5-2-AS	1.424	<0,8	<5,0	10	3,5	<0,05	748
H5-1-AE	1.687	<0,8	5,0	4,8	2,6	<0,05	236
H5-2-AE	2.986	<0,8	<5,0	7,0	2,2	<0,05	712
H5-1-BS	323	1,6	5,7	15	7,6	<0,05	76
H5-2-BS	538	2,8	5,4	15	7,3	<0,05	177
H5-1-BE	1.021	<0,8	<5,0	8,5	2,1	<0,05	119
H5-2-BE	979	<0,8	<5,0	4,4	2,1	<0,05	<100
H5-1-CE	5.527	<0,8	4,7	10	6,2	<0,05	<100
H5-2-CE	711	<0,8	5,0	10,0	6,1	<0,05	<100
H6-1-AS	8.350	<0,8	<5,0	2,8	<2,0	<0,05	166
H6-1-AE	24.190	<0,8	<5,0	79	6,8	0,05	<100
H6-2-AE	19.930	<0,8	5,0	61	3,6	<0,05	106
H6-1-BE	16.100	<0,8	<5,0	5,7	4,5	<0,05	119
H6-2-BE	21.145	<0,8	<5,0	9,2	2,3	<0,05	239
H6-1-CE	24.020	<0,8	6,9	42	7,1	<0,05	106
H6-2-CE	22.280	1,1	9,4	35	6,3	<0,05	<100
H6-3-CE	18.830	<0,8	6,4	58,0	4,7	<0,05	<100

Stoffgruppe (Input)	Lindan [mg/kg]	Pentachlor- phenol [mg/kg]	Benzo(a)- pyren [mg/kg]	Blei [mg/kg]	Cadmium [mg/kg]	Titan [mg/kg]	Zink [mg/kg]
H1-1-AS	<0,1	1,0	0,07	9,0	0,20	<5,0	33
H1-2-AS	<0,1	1,3	0,06	8,4	0,20	9,3	150
H1-1-AE	<0,1	0,70	0,07	21	0,50	10	52
H1-2-AE	<0,1	1,2	0,06	7,6	0,20	13	40
H1-1-BS	<0,1	0,20	0,05	3,0	<0,2	17	26
H1-2-BS	<0,1	<0,1	0,05	9,1	<0,2	30	32
H1-1-BE	<0,1	0,30	0,05	5,6	0,20	<5,0	39
H1-2-BE	<0,1	0,20	0,05	5,4	0,50	<5,0	25
H1-1-CE	<0,1	0,20	0,05	8,9	0,20	4,1	27
H1-2-CE	<0,1	0,5	0,05	11	0,2	4,0	27
H2-1-AS	<0,1	0,30	0,05	84	0,30	6,3	390
H2-2-AS	<0,1	0,60	0,05	82	0,40	8,2	930
H2-1-AE	<0,1	3,4	0,05	43	0,30	18	670
H2-2-AE	<0,1	0,30	0,05	56	<0,2	13	37
H2-1-BE	<0,1	0,10	0,05	58	0,40	13	220
H2-2-BE	<0,1	0,30	0,06	46	0,40	9,6	600
H2-1-CE	<0,1	2,1	0,05	30	0,30	12	210
H2-2-CE	<0,1	1,7	0,05	27	0,3	15	310
H3-1-AS	<0,1	2,9	0,05	30	<0,2	<5,0	70
H3-2-AS	<0,1	4,3	0,05	22	0,20	<5,0	58
H3-1-AE	<0,1	0,50	0,05	< 2,5	<0,2	<5,0	25
H3-2-AE	<0,1	0,40	0,05	6,0	0,30	5,3	26
H3-1-BE	<0,1	0,70	0,05	9,4	0,50	<5,0	44
H3-2-BE	<0,1	0,70	0,05	7,5	0,30	<5,0	33
H3-1-CE	<0,1	1,9	0,05	9,5	0,90	3,3	44
H3-2-CE	<0,1	1,0	0,05	3,7	0,20	2,7	23
H4-1-AS	<0,1	0,90	0,05	8,3	0,30	14	31
H4-2-AS	<0,1	0,60	0,05	7,7	0,30	12	27
H4-1-AE	<0,1	2,3	0,05	15	0,30	15	37
H4-2-AE	<0,1	1,1	0,05	10	0,30	13	24
H4-1-BE	<0,1	0,30	0,20	7,7	0,20	7,7	19
H4-2-BE	<0,1	0,60	0,08	28	0,40	14	55
H4-1-CE	<0,1	1,2	0,05	31	0,20	15	63
H4-2-CE	<0,1	2,8	0,06	51	0,50	15	91
H5-1-AS	<0,1	3,1	0,05	30	0,20	12	630
H5-2-AS	<0,1	3,0	0,05	38	0,70	15	540
H5-1-AE	<0,1	0,80	0,06	6,0	0,20	18	31
H5-2-AE	<0,1	2,3	0,05	22	0,80	11	49
H5-1-BS	<0,1	1,3	0,08	25	0,30	25	37
H5-2-BS	<0,1	0,90	0,10	21	0,30	48	34
H5-1-BE	<0,1	1,3	0,05	31	1,2	9,8	37
H5-2-BE	<0,1	0,50	0,05	12	1,2	1,0	56
H5-1-CE	<0,1	1,4	0,08	21	0,90	14	91
H5-2-CE	<0,1	1,1	0,05	16	0,50	19	36
H6-1-AS	<0,1	0,20	0,05	4,8	14	12	14
H6-1-AE	<0,1	0,60	0,05	440	39	20	580
H6-2-AE	<0,1	0,60	0,09	450	41	11	450
H6-1-BE	<0,1	0,50	0,05	260	14	8,1	39
H6-2-BE	<0,1	0,70	0,05	110	16	9,4	22
H6-1-CE	<0,1	0,80	0,12	190	0,30	14	56
H6-2-CE	<0,1	1,3	0,08	150	0,30	13	44
H6-3-CE	<0,1	0,90	0,05	270	0,80	15	41

9.2.1.3 Stoffgruppe: Sonstige Hölzer, Siebdurchgänge, naturbelassenes Holz

Stoffgruppe (Input)	Chlor [mg/kg]	Arsen [mg/kg]	Bor [mg/kg]	Chrom [mg/kg]	Kupfer [mg/kg]	Quecksilber [mg/kg]	Fluor [mg/kg]
S1-1-AS	2.047	<0,8	<5,0	8,6	6,4	0,18	530
S1-2-AS	1.605	<0,8	<5,0	10	4,8	0,19	300
S1-1-AE	906	<0,8	<5,0	25	2,4	<0,05	<100
S1-2-AE	895	<0,8	<5,0	7,5	3,4	<0,05	125
S1-1-BE	1.497	<0,8	<5,0	6,2	3,8	0,06	120
S1-2-BE	1.646	<0,8	<5,0	8,0	3,7	<0,05	150
S1-1-CE	3.290	<0,8	4,9	20	5,6	<0,05	131
S1-2-CE	1.154	<0,8	5,2	13	13	<0,05	147
S2-1-AS	1.143	<0,8	<5,0	19	2,4	0,17	520
S2-2-AS	1.225	<0,8	<5,0	7,7	2,3	0,16	194
S2-1-AE	2.431	4,5	9,4	74	28	0,44	133
S2-2-AE	2.431	9,9	7,6	41	15	2,5	135
S2-1-BS	397	0,90	9,6	23	6,1	<0,05	131
S2-2-BS	844	<0,8	24	57	14	<0,05	335
S2-3-BS	730	1,4	4,4	42	9,8	0,19	262
S2-1-BE	593	3,2	<5,0	25	13	<0,05	181
S2-2-BE	858	4,0	<5,0	25	8,1	0,11	485
S2-1-CE	2.153	<0,8	6,3	15	8,7	0,05	109
S2-2-CE	5.954	<0,8	6,2	15	4,9	0,05	<100
S3-1-AS	1.969	<0,8	6,1	29	13	0,22	329
S3-2-AS	1.844	<0,8	5,7	21	520	0,22	315
S3-1-AE	1.076	2,6	16	94	140	1,4	<100
S3-2-AE	1.804	3,3	15	80	31	1,3	114
S3-1-BS	503	3,3	8,2	200	22	0,11	166
S3-2-BS	3.250	2,4	8,1	130	17	0,07	120
S3-3-BS	741	1,7	6,7	67	14	0,13	191
S3-1-BE	1.872	1,9	23	74	20	0,21	149
S3-2-BE	2.094	1,2	15	67	18	0,24	136
S3-1-CE	1.032	1,5	23	50	15	0,13	<100
S3-2-CE	2.008	2,0	29	55	17	0,20	<100
N-1-SW	855	<0,8	2,0	3,2	1,1	<0,05	134
N-2-SW	478	<0,8	2,5	11	1,2	<0,05	156
N-3-SW	920	<0,8	2,6	6,4	1,0	<0,05	248
N-4-SW	1.099	<0,8	4,8	3,7	6,7	<0,05	274
N-5-SW	741	<0,8	4,9	1,4	5,9	<0,05	176

Stoffgruppe (Input)	Lindan [mg/kg]	Pentachlor- phenol [mg/kg]	Benzo(a)- pyren [mg/kg]	Blei [mg/kg]	Cadmium [mg/kg]	Titán [mg/kg]	Zink [mg/kg]
S1-1-AS	<0,1	0,70	0,05	78	0,30	15	1.290
S1-2-AS	<0,1	0,60	0,05	89	0,30	19	620
S1-1-AE	<0,1	1,2	0,05	110	1,1	7,0	82
S1-2-AE	<0,1	0,40	0,05	17	0,50	13	47
S1-1-BE	<0,1	0,40	0,05	37	2,6	13	180
S1-2-BE	0,2	2,2	0,07	40	2,7	10	150
S1-1-CE	<0,1	<0,1	0,05	110	2,0	12	660
S1-2-CE	<0,1	0,30	0,05	31	0,70	13	92
S2-1-AS	<0,1	2,5	0,27	100	0,90	16	410
S2-2-AS	0,20	2,4	0,16	67	0,70	11	420
S2-1-AE	0,10	1,3	0,76	50	3,0	8,1	150
S2-2-AE	<0,1	0,90	0,38	67	0,50	10	170
S2-1-BS	<0,1	< 0,1	0,05	4,8	< 0,2	3,6	21
S2-2-BS	<0,1	2,8	0,05	68	< 0,2	6,8	26
S2-3-BS	0,10	1,5	0,05	8,3	0,20	5,2	25
S2-1-BE	<0,1	0,80	0,08	53	0,70	6,7	120
S2-2-BE	<0,1	1,6	0,60	67	0,60	6,6	150
S2-1-CE	<0,1	0,90	0,27	110	0,80	7,6	130
S2-2-CE	<0,1	2,9	0,39	94	0,40	13	140
S3-1-AS	0,10	6,2	1,40	430	3,0	45	2.700
S3-2-AS	0,20	15	2,30	320	3,8	35	2.300
S3-1-AE	<0,1	0,90	1,00	240	1,2	57	890
S3-2-AE	<0,1	1,0	0,56	170	1,5	36	680
S3-1-BS	<0,1	1,6	0,05	160	1,8	52	210
S3-2-BS	0,20	2,6	0,08	330	0,83	36	210
S3-3-BS	0,10	4,8	0,05	460	0,26	33	120
S3-1-BE	0,30	1,4	1,90	670	1,2	59	1.070
S3-2-BE	0,20	1,9	2,00	440	2,5	38	680
S3-1-CE	<0,1	3,1	0,94	430	1,2	31	820
S3-2-CE	<0,1	3,0	0,89	810	2,0	40	1.600
N-1-SW	<0,1	<0,1	0,30	<2,0	0,40	0,90	19
N-2-SW	<0,1	<0,1	0,05	<2,0	0,60	2,8	27
N-3-SW	<0,1	<0,1	0,05	<2,0	0,60	1,5	24
N-4-SW	<0,1	<0,1	0,05	3,8	<0,2	3,3	12
N-5-SW	<0,1	<0,1	0,05	9,2	<0,2	1,1	7,3

9.2.2 Min-, Max-, Mittel- und Medianwerte im Vergleich mit der Gruppe 1 des LUA

Parameter	Stoff- grup.	Proben- anzahl	unter Bestimm- grenze	min mg/kg	max mg/kg	mittel mg/kg	median mg/kg	Maximalwerte LUA Gruppe 1 mg/kg
Chlor	V1	n=11	-	419,00	918,00	687,36	684,00	100
	V1.1	n=4	-	565,00	1995,00	965,00	650,00	
	V2	n=11	-	432,00	1648,00	920,18	922,00	
	V2.1	n=8	-	361,00	817,00	593,25	602,50	
	V3	n=10	-	319,00	1484,00	885,20	849,50	
	H1	n=10	-	433,00	2282,00	889,90	643,00	
	H2	n=8	-	547,00	1445,00	918,38	917,50	
	H3	n=8	-	921,00	5379,00	1619,00	1071,50	
	H4	n=8	-	588,00	1814,00	1080,25	878,50	
	H5	n=10	-	323,00	5527,00	1648,70	1156,00	
	H6	n=8	-	8350,00	24190,00	19355,63	20537,50	
	S1	n=8	-	895,00	3290,00	1630,00	1551,00	
	S2	n=11	-	397,00	5954,00	1705,36	1143,00	
	S3	n=11	-	503,00	3250,00	1653,91	1844,00	
N	n=5	-	478,00	1099,00	818,60	855,00		
Arsen	V1	n=11	n=10	<0,80	1,00	<0,80	<0,80	0,8
	V1.1	n=4	n=3	<0,80	1,00	<0,80	<0,80	
	V2	n=11	n=9	<0,80	1,60	<0,80	<0,80	
	V2.1	n=8	n=8	<0,80	<0,80	<0,80	<0,80	
	V3	n=10	n=9	<0,80	6,90	1,05	<0,80	
	H1	n=10	n=10	<0,80	<0,80	<0,80	<0,80	
	H2	n=8	n=8	<0,80	<0,80	<0,80	<0,80	
	H3	n=8	n=8	<0,80	<0,80	<0,80	<0,80	
	H4	n=8	n=6	<0,80	1,20	<0,80	<0,80	
	H5	n=10	n=8	<0,80	2,80	<0,80	<0,80	
	H6	n=8	n=7	<0,80	1,10	<0,80	<0,80	
	S1	n=8	n=8	<0,80	<0,80	<0,80	<0,80	
	S2	n=11	n=5	<0,80	9,90	2,35	0,90	
	S3	n=11	n=2	<0,80	3,30	1,88	1,90	
N	n=5	n=5	<0,80	<0,80	<0,80	<0,80		
Bor	V1	n=11	n=6	<5,00	8,30	<5,00	<5,00	15
	V1.1	n=4	n=4	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	
	V2	n=11	n=7	<5,00	19,00	6,33	<5,00	
	V2.1	n=8	n=6	<5,00	7,00	<5,00	<5,00	
	V3	n=10	-	5,70	52,00	18,07	13,00	
	H1	n=10	n=4	<5,00	13,00	6,10	6,15	
	H2	n=8	n=7	<5,00	11,00	<5,00	<5,00	
	H3	n=8	n=5	<5,00	8,90	<5,00	<5,00	
	H4	n=8	n=3	<5,00	18,00	8,06	5,95	
	H5	n=10	n=6	<5,00	5,70	<5,00	<5,00	
	H6	n=8	n=4	<5,00	9,40	<5,00	<5,00	
	S1	n=8	n=7	<5,00	5,20	<5,00	<5,00	
	S2	n=11	n=5	<5,00	24,00	7,05	6,20	
	S3	n=11	-	5,70	29,00	14,16	15,00	
N	n=5	n=5	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00		

Parameter	Stoff- grup.	Prob- anzahl	unter Bestimm- grenze	min mg/kg	max mg/kg	mittel mg/kg	median mg/kg	Maximalwerte LUA Gruppe 1 mg/kg
Chrom	V1	n=11	-	2,40	110,00	21,31	7,20	2
	V1.1	n=4	-	3,70	5,20	4,48	4,50	
	V2	n=11	-	6,70	86,00	22,30	15,00	
	V2.1	n=8	-	3,50	16,00	7,89	6,20	
	V3	n=10	-	17,00	350,00	137,80	130,00	
	H1	n=10	-	5,10	11,00	7,42	6,95	
	H2	n=8	-	6,50	38,00	15,79	13,00	
	H3	n=8	-	1,60	8,80	5,16	4,50	
	H4	n=8	-	5,20	14,00	8,89	6,95	
	H5	n=10	-	4,40	15,00	9,28	9,25	
	H6	n=8	-	2,80	79,00	36,59	38,50	
	S1	n=8	-	6,20	25,00	12,29	9,30	
	S2	n=11	-	7,70	74,00	31,25	25,00	
	S3	n=11	-	21,00	200,00	78,82	67,00	
N	n=5	-	1,40	11,00	5,14	3,70		
Kupfer	V1	n=11	n=4	<2,00	40,00	6,62	2,50	5
	V1.1	n=4	n=1	<2,00	2,90	2,20	2,15	
	V2	n=11	n=4	<2,00	32,00	4,72	2,30	
	V2.1	n=8	n=3	<2,00	10,00	4,33	3,60	
	V3	n=10	-	9,90	140,00	60,79	57,50	
	H1	n=10	n=1	<2,00	4,60	2,69	2,50	
	H2	n=8	n=1	<2,00	4,00	2,80	2,90	
	H3	n=8	n=7	<2,00	2,20	<2,00	<2,00	
	H4	n=8	-	2,10	6,30	3,50	2,80	
	H5	n=10	n=1	<2,00	7,60	4,07	3,05	
	H6	n=8	n=1	<2,00	7,10	4,54	4,60	
	S1	n=8	-	2,40	13,00	5,39	4,30	
	S2	n=11	-	2,30	28,00	10,21	8,70	
	S3	n=11	-	13,00	520,00	75,18	18,00	
N	n=5	n=3	<2,00	6,70	3,18	<2,00		
Quecksilber	V1	n=11	n=9	<0,05	0,17	<0,05	<0,05	0,05
	V1.1	n=4	n=4	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
	V2	n=11	n=4	<0,05	0,44	0,14	0,10	
	V2.1	n=8	-	0,16	0,96	0,36	0,28	
	V3	n=10	n=4	<0,05	32,00	6,14	0,06	
	H1	n=10	n=10	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
	H2	n=8	n=5	<0,05	0,33	0,08	<0,05	
	H3	n=8	n=5	<0,05	0,08	<0,05	<0,05	
	H4	n=8	n=4	<0,05	0,07	<0,05	<0,05	
	H5	n=10	n=10	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
	H6	n=8	n=7	<0,05	0,05	<0,05	<0,05	
	S1	n=8	n=5	<0,05	0,19	0,07	<0,05	
	S2	n=11	n=3	<0,05	2,50	0,34	0,11	
	S3	n=11	-	0,07	1,40	0,38	0,21	
N	n=5	n=5	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		

Parameter	Stoff- grup.	Proben- anzahl	unter Bestimm- grenze	min mg/kg	max mg/kg	mittel mg/kg	median mg/kg	Maximalwerte LUA Gruppe 1 mg/kg
Fluor	V1	n=11	n=1	<100,00	269,00	164,09	172,00	10
	V1.1	n=4	n=2	<100,00	112,00	<100,00	<100,00	
	V2	n=11	n=1	<100,00	353,00	200,09	165,00	
	V2.1	n=8	n=4	<100,00	209,00	104,25	<100,00	
	V3	n=10	-	122,00	238,00	168,20	162,00	
	H1	n=10	n=1	<100,00	375,00	173,60	157,00	
	H2	n=8	n=1	<100,00	231,00	133,75	126,00	
	H3	n=8	n=1	<100,00	132,00	109,00	114,00	
	H4	n=8	n=4	<100,00	428,00	131,63	<100,00	
	H5	n=10	n=4	<100,00	748,00	237,90	140,00	
	H6	n=8	n=3	<100,00	239,00	110,75	106,00	
	S1	n=8	n=1	<100,00	530,00	194,13	139,00	
	S2	n=11	n=1	<100,00	520,00	242,60	187,50	
	S3	n=11	n=3	<100,00	329,00	151,82	136,00	
N	n=5	-	134,00	274,00	197,60	176,00		
Lindan	V1	n=11	n=9	<0,10	0,30	<0,10	<0,10	0,25
	V1.1	n=4	n=4	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	
	V2	n=11	n=8	<0,10	3,30	0,37	<0,10	
	V2.1	n=8	n=4	<0,10	2,50	0,70	0,13	
	V3	n=10	n=10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	
	H1	n=10	n=10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	
	H2	n=8	n=8	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	
	H3	n=8	n=8	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	
	H4	n=8	n=8	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	
	H5	n=10	n=10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	
	H6	n=8	n=8	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	
	S1	n=8	n=7	<0,10	0,20	<0,10	<0,10	
	S2	n=11	n=8	<0,10	0,20	<0,10	<0,10	
	S3	n=11	n=5	<0,10	0,30	0,12	0,10	
N	n=5	n=5	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10		
PCP	V1	n=11	n=2	<0,10	3,20	0,80	0,50	1
	V1.1	n=4	n=4	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	
	V2	n=11	n=2	<0,10	24,00	4,05	1,50	
	V2.1	n=8	-	4,50	30,00	11,96	8,15	
	V3	n=10	n=7	<0,10	7,20	0,80	<0,10	
	H1	n=10	n=1	<0,10	1,30	0,57	0,40	
	H2	n=8	-	0,10	3,40	1,10	0,45	
	H3	n=8	-	0,40	4,30	1,55	0,85	
	H4	n=8	-	0,30	2,80	1,23	1,00	
	H5	n=10	-	0,50	3,10	1,57	1,30	
	H6	n=8	-	0,20	1,30	0,70	0,65	
	S1	n=8	n=1	<0,10	2,20	0,73	0,50	
	S2	n=11	n=1	0,05	2,90	1,60	1,50	
	S3	n=11	-	0,90	15,00	3,77	2,60	
N	n=5	n=5	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10		

Parameter	Stoff-grup.	Proben-anzahl	unter Bestimm-grenze	min mg/kg	max mg/kg	mittel mg/kg	median mg/kg	Maximalwerte LUA Gruppe 1 mg/kg
PAK nur Benzo(a)pyren	V1	n=11	n=9	<0,05	0,66	0,09	<0,05	0,05
	V1.1	n=4	n=4	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
	V2	n=11	n=3	<0,05	1,60	0,34	0,06	
	V2.1	n=8	n=2	<0,05	0,38	0,14	0,11	
	V3	n=10	n=5	<0,05	0,11	0,06	<0,05	
	H1	n=10	n=6	<0,05	0,07	<0,05	<0,05	
	H2	n=8	n=7	<0,05	0,06	<0,05	<0,05	
	H3	n=8	n=8	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
	H4	n=8	n=4	<0,05	0,20	0,06	<0,05	
	H5	n=10	n=5	<0,05	0,10	0,05	<0,05	
	H6	n=8	n=3	<0,05	0,12	0,06	0,05	
	S1	n=8	n=7	<0,05	0,07	<0,05	<0,05	
	S2	n=11	n=3	<0,05	0,76	0,27	0,27	
	S3	n=11	n=3	<0,05	2,30	1,01	0,94	
N	n=5	n=4	<0,05	0,30	0,08	<0,05		
Blei	V1	n=11	n=5	<2,50	21,00	5,99	3,40	3
	V1.1	n=4	-	2,70	7,40	5,03	5,00	
	V2	n=11	-	85,00	500,00	220,09	170,00	
	V2.1	n=8	-	360,00	2310,00	1482,50	1550,00	
	V3	n=10	n=2	<2,50	12,00	5,23	5,15	
	H1	n=10	-	3,00	21,00	8,90	8,65	
	H2	n=8	-	27,00	84,00	53,25	51,00	
	H3	n=8	n=1	<2,50	30,00	11,17	8,45	
	H4	n=8	-	7,70	51,00	19,84	12,50	
	H5	n=10	-	6,00	38,00	22,20	21,50	
	H6	n=8	-	4,80	450,00	234,35	225,00	
	S1	n=8	-	17,00	110,00	64,00	59,00	
	S2	n=11	-	4,80	110,00	62,65	67,00	
	S3	n=11	-	160,00	810,00	405,45	430,00	
N	n=5	n=3	<2,50	9,20	3,35	<2,50		
Cadmium	V1	n=11	n=2	<0,20	0,50	0,24	0,20	0,5
	V1.1	n=4	-	0,20	0,30	0,24	0,23	
	V2	n=11	n=1	<0,20	1,00	0,36	0,30	
	V2.1	n=8	-	0,50	6,40	1,90	0,95	
	V3	n=10	-	0,20	0,40	0,31	0,30	
	H1	n=10	n=2	<0,20	0,50	0,24	0,20	
	H2	n=8	n=1	<0,20	0,40	0,31	0,30	
	H3	n=8	n=2	<0,20	0,90	0,33	0,25	
	H4	n=8	-	0,20	0,50	0,31	0,30	
	H5	n=10	-	0,20	1,20	0,63	0,60	
	H6	n=8	-	0,30	41,00	15,68	14,00	
	S1	n=8	-	0,30	2,70	1,28	0,90	
	S2	n=11	n=2	<0,20	3,00	0,73	0,60	
	S3	n=11	-	0,26	3,80	1,75	1,50	
N	n=5	n=2	<0,20	0,60	0,36	0,40		

Parameter	Stoff- grup.	Proben- anzahl	unter Bestimm- grenze	min mg/kg	max mg/kg	mittel mg/kg	median mg/kg	Maximalwerte LUA Gruppe 1 mg/kg
Titan	V1	n=11	n=4	<5,00	14,00	6,68	5,50	5
	V1.1	n=4	n=1	<5,00	6,60	5,63	5,95	
	V2	n=11	n=2	<5,00	22,00	9,68	7,40	
	V2.1	n=8	-	22,00	75,00	36,63	27,50	
	V3	n=10	n=8	<5,00	8,20	<5,00	<5,00	
	H1	n=10	n=5	<5,00	30,00	9,49	6,70	
	H2	n=8	-	6,30	18,00	11,89	12,50	
	H3	n=8	n=7	<5,00	5,30	<5,00	<5,00	
	H4	n=8	-	7,70	15,00	13,21	14,00	
	H5	n=10	-	1,00	48,00	17,28	14,50	
	H6	n=8	-	8,10	20,00	12,81	12,50	
	S1	n=8	-	7,00	19,00	12,75	13,00	
	S2	n=11	n=1	3,60	16,00	8,60	7,60	
	S3	n=11	-	31,00	59,00	42,00	38,00	
	N	n=5	n=5	<5,00	<5,00	<5,00	<5,00	
Zink	V1	n=11	-	16,00	52,00	29,09	27,00	50
	V1.1	n=4	-	35,00	78,00	53,75	51,00	
	V2	n=11	-	170,00	1200,00	506,36	480,00	
	V2.1	n=8	-	950,00	4100,00	1665,00	1350,00	
	V3	n=10	-	19,00	110,00	64,00	64,00	
	H1	n=10	-	25,00	150,00	45,10	32,50	
	H2	n=8	-	37,00	930,00	420,88	350,00	
	H3	n=8	-	23,00	70,00	40,38	38,50	
	H4	n=8	-	19,00	91,00	43,38	34,00	
	H5	n=10	-	31,00	630,00	154,10	43,00	
	H6	n=8	-	14,00	580,00	155,75	42,50	
	S1	n=8	-	47,00	1290,00	390,13	165,00	
	S2	n=11	-	21,00	420,00	160,18	140,00	
	S3	n=11	-	120,00	2700,00	1025,45	820,00	
	N	n=5	-	7,30	27,00	17,86	19,00	

E 10 Auswertung von Holzprobenbelastungen (Werte entnommen von BOCKELMANN, 1996)

Parameter	Holzprobe	Probenanzahl	unter Bestimmungsgrenze	min [mg/kg]	max [mg/kg]	mittel [mg/kg]	median [mg/kg]
Chlor	Reine Hölzer	n=16	n=10	< 50,00	124,00	< 50,00	< 50,00
	Holzpackm. und Paletten	n=39	n=11	< 50,00	2606,00	246,13	145,00
	Innenausbau	n=30	n=5	< 50,00	1434,00	356,63	204,50
	Balken	n=22	n=9	< 50,00	462,00	104,68	66,50
	Fenster	n=68	n=10	< 50,00	799,00	200,63	149,50
	Zäune und Pfähle	n=20	n=5	< 50,00	591,00	131,95	119,50
	Kabeltrommeln	n=10	n=3	< 50,00	193,00	100,30	100,00
	Recyclingspäne	n=9	n=2	< 50,00	811,00	305,33	268,00
	Spanplatten	n=10	n=4	< 50,00	179,00	75,30	73,50
	Recyclinghölzer: Quer	n=56	n=5	< 50,00	1321,00	208,64	143,00
	Oberfl.	n=56	n=5	< 50,00	2228,00	286,96	153,50
Arsen	Reine Hölzer	n=15	n=15	< 0,40	< 0,40	< 0,40	< 0,40
	Holzpackm. und Paletten	n=39	n=39	< 0,40	< 0,40	< 0,40	< 0,40
	Innenausbau	n=30	n=25	< 0,40	17,00	0,80	< 0,40
	Balken	n=22	n=22	< 0,40	< 0,40	< 0,40	< 0,40
	Fenster	n=68	n=53	< 0,40	6,70	0,90	< 0,40
	Zäune und Pfähle	n=20	n=18	< 0,40	1,60	< 0,40	< 0,40
	Kabeltrommeln	n=10	n=10	< 0,40	< 0,40	< 0,40	< 0,40
	Recyclingspäne	n=9	n=4	< 0,40	13,00	2,61	0,50
	Spanplatten	n=10	n=6	< 0,40	6,00	1,04	< 0,40
	Recyclinghölzer: Quer	n=56	n=48	< 0,40	8,50	0,55	< 0,40
	Oberfl.	n=56	n=45	< 0,40	55,00	2,04	< 0,40
Bor	Reine Hölzer	n=16	n=4	< 5,00	14,40	7,32	7,10
	Holzpackm. und Paletten	n=39	n=36	< 5,00	24,10	< 5,00	< 5,00
	Innenausbau	n=30	n=11	< 5,00	62,20	10,48	6,85
	Balken	n=22	-	5,60	128,00	30,50	13,65
	Fenster	nicht bestimmt					
	Zäune und Pfähle	n=20	n=5	< 5,00	189,00	27,71	15,40
	Kabeltrommeln	n=10	n=3	< 5,00	1368,00	217,86	9,40
	Recyclingspäne	n=9	n=7	< 5,00	15,40	< 5,00	< 5,00
	Spanplatten	n=10	n=2	< 5,00	17,90	9,00	8,50
	Recyclinghölzer: Quer	n=56	n=48	< 5,00	392,00	10,19	< 5,00
	Oberfl.	n=56	n=40	< 5,00	179	7,4875	< 5,00
Chrom	Reine Hölzer	n=15	n=15	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
	Holzpackm. und Paletten	n=39	n=31	< 1,00	191,00	5,79	< 1,00
	Innenausbau	n=30	n=7	< 1,00	108,00	7,73	1,75
	Balken	n=22	n=11	< 1,00	582,00	61,00	< 1,00
	Fenster	n=68	n=3	< 1,00	98,00	12,35	4,40
	Zäune und Pfähle	n=20	n=1	< 1,00	7004,00	582,88	7,50
	Kabeltrommeln	n=10	n=10	< 1,00	9539,00	1371,71	1,85
	Recyclingspäne	n=9	n=1	< 1,00	37,40	17,86	22,00
	Spanplatten	n=10	n=3	< 1,00	42,30	12,03	8,80
	Recyclinghölzer: Quer	n=56	n=30	< 1,00	49,00	3,05	< 1,00
	Oberfl.	n=56	n=20	< 1,00	6262,00	116,81	1,75

Parameter	Holzprobe	Probenanzahl	unter Bestimmungsgrenze	min [mg/kg]	max [mg/kg]	mittel [mg/kg]	median [mg/kg]
Kupfer	Reine Hölzer	n=15	n=13	< 2,00	4,80	< 2,00	< 2,00
	Holzpachm. und Paletten	n=39	n=28	< 2,00	11,10	< 2,00	< 2,00
	Innenausbau	n=30	n=15	< 2,00	14,20	2,41	< 2,00
	Balken	n=22	n=9	< 2,00	12,10	4,25	2,35
	Fenster	n=68	n=35	< 2,00	11,00	2,14	< 2,00
	Zäune und Pfähle	n=20	n=6	< 2,00	3628,00	245,78	5,55
	Kabellrommeln	n=10	n=10	< 2,00	4220,00	698,61	3,80
	Recyclingspäne	n=9	n=2	< 2,00	22,10	13,34	14,30
	Spanplatten	n=10	n=4	< 2,00	25,30	7,77	6,35
	Recyclinghölzer: Quer	n=56	n=36	< 2,00	199,00	7,43	< 2,00
Oberfl.	n=56	n=24	< 2,00	282,00	12,62	2,40	
Quecksilber	Reine Hölzer	n=15	n=15	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
	Holzpachm. und Paletten	n=39	n=39	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
	Innenausbau	n=30	n=30	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
	Balken	n=22	n=22	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
	Fenster	n=68	n=15	< 0,20	24,00	2,81	1,35
	Zäune und Pfähle	n=16	n=13	< 0,20	1,00	0,26	< 0,20
	Kabellrommeln	n=8	n=10	< 0,20	0,50	< 0,20	< 0,20
	Recyclingspäne	n=9	n=9	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
	Spanplatten	n=10	n=10	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20
	Recyclinghölzer: Quer	n=56	n=39	< 0,20	0,80	< 0,20	< 0,20
Oberfl.	n=56	n=45	< 0,20	2,90	0,24	< 0,20	
Fluor	Reine Hölzer	n=16	n=10	< 2,00	5,60	2,21	< 2,00
	Holzpachm. und Paletten	n=39	n=34	< 2,00	6,50	< 2,00	< 2,00
	Innenausbau	n=30	n=2	< 2,00	82,70	7,51	4,55
	Balken	n=22	n=1	< 2,00	221,00	31,28	15,35
	Fenster	n=68	n=2	< 2,00	105,00	8,71	5,80
	Zäune und Pfähle	n=20	n=22	< 2,00	230,00	33,53	8,45
	Kabellrommeln	n=10	n=1	< 2,00	25,30	8,45	5,95
	Recyclingspäne	n=9	-	3,30	14,40	6,84	4,80
	Spanplatten	n=10	n=1	< 2,00	15,60	7,80	8,75
	Recyclinghölzer: Quer	n=56	n=27	< 2,00	721,00	20,52	< 2,00
Oberfl.	n=56	n=24	< 2,00	2091,00	100,29	2,35	
Lindan	Reine Hölzer	n=15	n=12	< 0,08	0,24	< 0,08	< 0,08
	Holzpachm. und Paletten	n=39	n=39	< 0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,08
	Innenausbau	n=30	n=6	< 0,08	20,90	1,88	0,19
	Balken	n=22	n=22	< 0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,08
	Fenster	n=68	n=25	< 0,08	6,32	0,74	0,25
	Zäune und Pfähle	n=14	n=8	< 0,08	2,59	0,44	< 0,08
	Kabellrommeln	n=10	n=9	< 0,08	0,26	< 0,08	< 0,08
	Recyclingspäne	n=9	n=7	< 0,08	1,39	0,20	< 0,08
	Spanplatten	n=10	n=6	< 0,08	0,25	0,10	< 0,08
	Recyclinghölzer: Quer	nicht bestimmt					
Oberfl.	n=55	n=32	< 0,08	6,28	0,46	< 0,08	

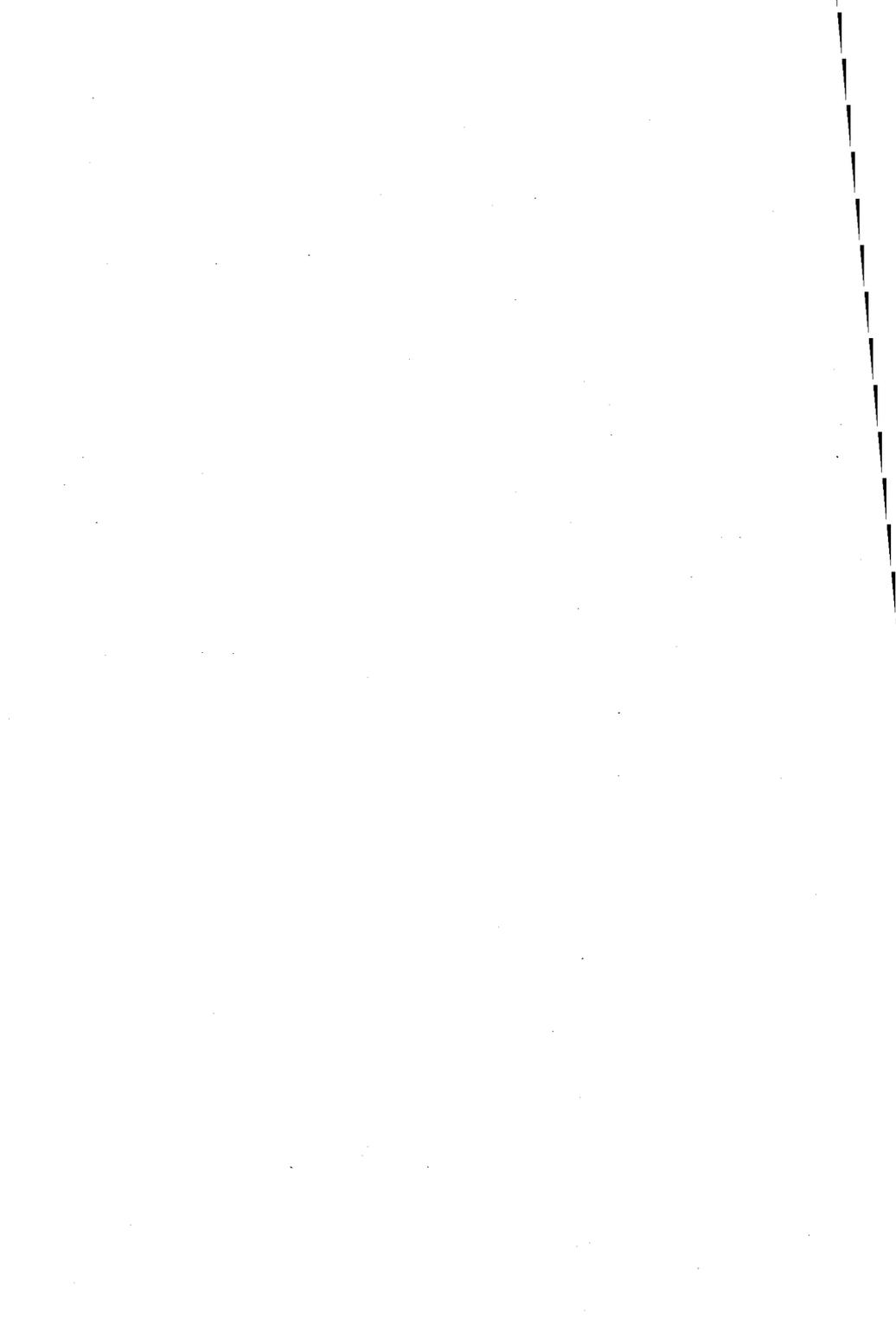
Parameter	Holzprobe	Probenanzahl	unter Bestimmungsgrenze	min [mg/kg]	max [mg/kg]	mittel [mg/kg]	median [mg/kg]
PCP	Reine Hölzer	n=16	n=14	< 0,05	0,25	0,06	< 0,05
	Holzpachm. und Paletten	n=39	n=36	< 0,05	0,90	0,05	< 0,05
	Innenausbau	n=30	n=9	< 0,05	11,60	0,75	0,18
	Balken	n=22	n=4	< 0,05	0,32	< 0,05	< 0,05
	Fenster	n=68	n=68	< 0,05	163,00	15,17	3,11
	Zäune und Pfähle	n=16	n=1	< 0,05	0,70	0,26	0,16
	Kabeltrommeln	n=10	n=6	< 0,05	1,32	0,25	< 0,05
	Recyclingspäne	n=9	n=1	< 0,05	4,43	1,67	0,40
	Spanplatten	n=10	n=3	< 0,05	4,87	1,70	1,75
	Recyclinghölzer: Quer	n=4	n=1	< 0,05	17,00	8,35	8,19
Oberfl.	n=55	n=16	< 0,05	538,00	13,02	0,27	
Blei	Reine Hölzer	n=15	n=14	< 5,00	5,80	< 5,00	< 5,00
	Holzpachm. und Paletten	n=39	n=36	< 5,00	8,10	< 5,00	< 5,00
	Innenausbau	n=30	n=9	< 5,00	2964,00	352,83	12,25
	Balken	n=22	n=13	< 5,00	64,20	8,42	< 5,00
	Fenster	n=68	-	20,00	9530,00	1245,53	386,50
	Zäune und Pfähle	n=20	n=11	< 5,00	101,00	13,36	< 5,00
	Kabeltrommeln	n=10	n=10	< 5,00	13,00	5,54	< 5,00
	Recyclingspäne	n=9	n=3	< 5,00	297,00	52,44	10,20
	Spanplatten	n=10	n=4	< 5,00	198,00	66,83	48,70
	Recyclinghölzer: Quer	n=56	n=40	< 5,00	316,00	15,90	< 5,00
Oberfl.	n=56	n=29	< 5,00	36950,00	712,71	4,05	
Cadmium	Reine Hölzer	n=15	n=14	< 0,40	0,80	< 0,40	< 0,40
	Holzpachm. und Paletten	n=39	n=37	< 0,40	1,30	< 0,40	< 0,40
	Innenausbau	n=30	n=23	< 0,40	5,00	0,75	< 0,40
	Balken	n=22	n=21	< 0,40	0,70	< 0,40	< 0,40
	Fenster	n=68	n=48	< 0,40	8,90	1,13	< 0,40
	Zäune und Pfähle	n=20	n=16	< 0,40	0,80	0,29	< 0,40
	Kabeltrommeln	n=10	n=10	< 0,40	0,50	< 0,40	< 0,40
	Recyclingspäne	n=9	n=7	< 0,40	0,50	< 0,40	< 0,40
	Spanplatten	n=10	n=10	< 0,40	< 0,40	< 0,40	< 0,40
	Recyclinghölzer: Quer	n=56	n=48	< 0,40	2,80	< 0,40	< 0,40
Oberfl.	n=56	n=43	< 0,40	5,70	< 0,40	< 0,40	
Zink	Reine Hölzer	n=15	n=5	< 2,00	33,70	6,28	4,70
	Holzpachm. und Paletten	n=39	-	2,20	77,80	16,50	9,90
	Innenausbau	n=30	-	9,80	18433,00	2720,23	83,20
	Balken	n=22	n=5	< 2,00	108,00	21,07	13,35
	Fenster	n=68	-	31,00	14000,00	1785,44	1180,00
	Zäune und Pfähle	n=20	-	4,20	160,00	31,56	17,55
	Kabeltrommeln	n=10	-	9,80	107,00	39,62	29,75
	Recyclingspäne	n=9	-	8,80	531,00	139,18	43,80
	Spanplatten	n=10	-	6,10	146,00	69,31	82,05
	Recyclinghölzer: Quer	n=56	n=2	< 2,00	12746,00	347,55	24,30
Oberfl.	n=56	n=1	< 2,00	26519,00	1013,00	43,30	

Anhang F**Verunreinigungen im Gebrauchtholz****- Fotodokumentation der Versuchsdurchführung -**Seite

F 1: Beispiele für Gebrauchtholzbestände	1
F 2: Entnahme der Mischproben	2
F 3: Sortierung	3
F 4: Beispiele für Stoffgruppen	4
F 5: Probenaufbereitung	15

Anmerkung:

Auf die Darstellung der Fotodokumentation wird aus drucktechnischen Gründen verzichtet.



Anhang G

Klärschlamm-Recyclingholz-Kompostierung

- Versuchsbeschreibung und Meßwerte -

Seite

G 1 Beschreibung der Versuchseinrichtung	2
G 2 Probennahme	3
G 3 Analysenparameter.....	3

G 1 Beschreibung der Versuchseinrichtung

Die Kompostierung wurde in zylindrischen Edelstahlreaktoren mit einem Innendurchmesser von 418 mm und einem Nutzinhalt von ca. 125 l durchgeführt. Zur Temperierung sind die Reaktoren mit Heizdrähten und einer äußeren Isolierschicht ausgestattet. Seitlich sind in 25 cm, 50 cm und 75 cm Höhe (vom Rottegutboden aus gemessen) sowie direkt auf der Höhe des Rottegutbodens Probenahmestutzen angebracht. Desweiteren weisen die Reaktoren im Deckel Anschlußstutzen für verschiedene meßtechnische Einrichtungen (z.B. Thermofühler) sowie ein Beregnungskreuz zur Bewässerung auf. Am Reaktorboden sind Vorrichtungen zur Belüftung und zur Sickerwasserentnahme angebracht. Zur gleichmäßigeren Luftverteilung wurde unterhalb des Rottegutes eine Kiesschicht eingefüllt, die durch einen Lochblechboden vom unteren Teil des Reaktors abgetrennt ist.

Der Bioreaktor sowie die dazugehörige Peripherie ist in der folgenden Abbildung dargestellt.

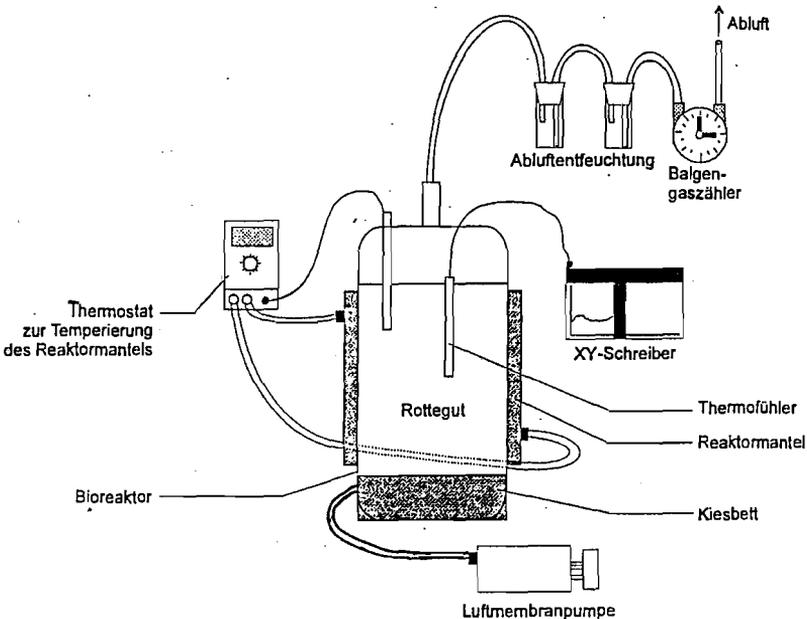


Abb. 1: Aufbau der Versuchsanlage

G 2 Probennahme

Die Reaktoren wurden in unterschiedlichen Verhältnissen, wie in Kapitel 6.1.1 beschrieben, mit einem Klärschlamm-Recyclingholz-Gemisch befüllt. Dazu wurden zunächst die Ausgangsmaterialien Recyclingholz und Klärschlamm in einem 90 l großen Kübel mit der erforderlichen Anzahl an 10 l-Kunststoffeimern befüllt. Um eine repräsentative Probe der Materialien Recyclingholz und Klärschlamm zu erhalten, wurde von jedem Kunststoffeimer eine gleich große Probenmenge entnommen und hieraus eine ca. 2 l-Mischprobe erstellt. Das Befüllen und Entleeren der Reaktoren wurde mittels einer Schaufel durchgeführt. Dabei wurde von jeder Schaufel ebenfalls eine gleich große Probenmenge entnommen und hieraus eine 2 l-Mischprobe erstellt. Die Beprobung der Reaktoren erfolgte jeweils zu Beginn und gegen Ende der Untersuchung.

G 3 Analysenparameter

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden die Inputmaterialien Recyclingholz, Klärschlamm und das Klärschlamm-Recyclingholz-Gemisch sowie das Outputmaterial auf die in der folgenden Tabelle dargestellten Parameter analysiert.

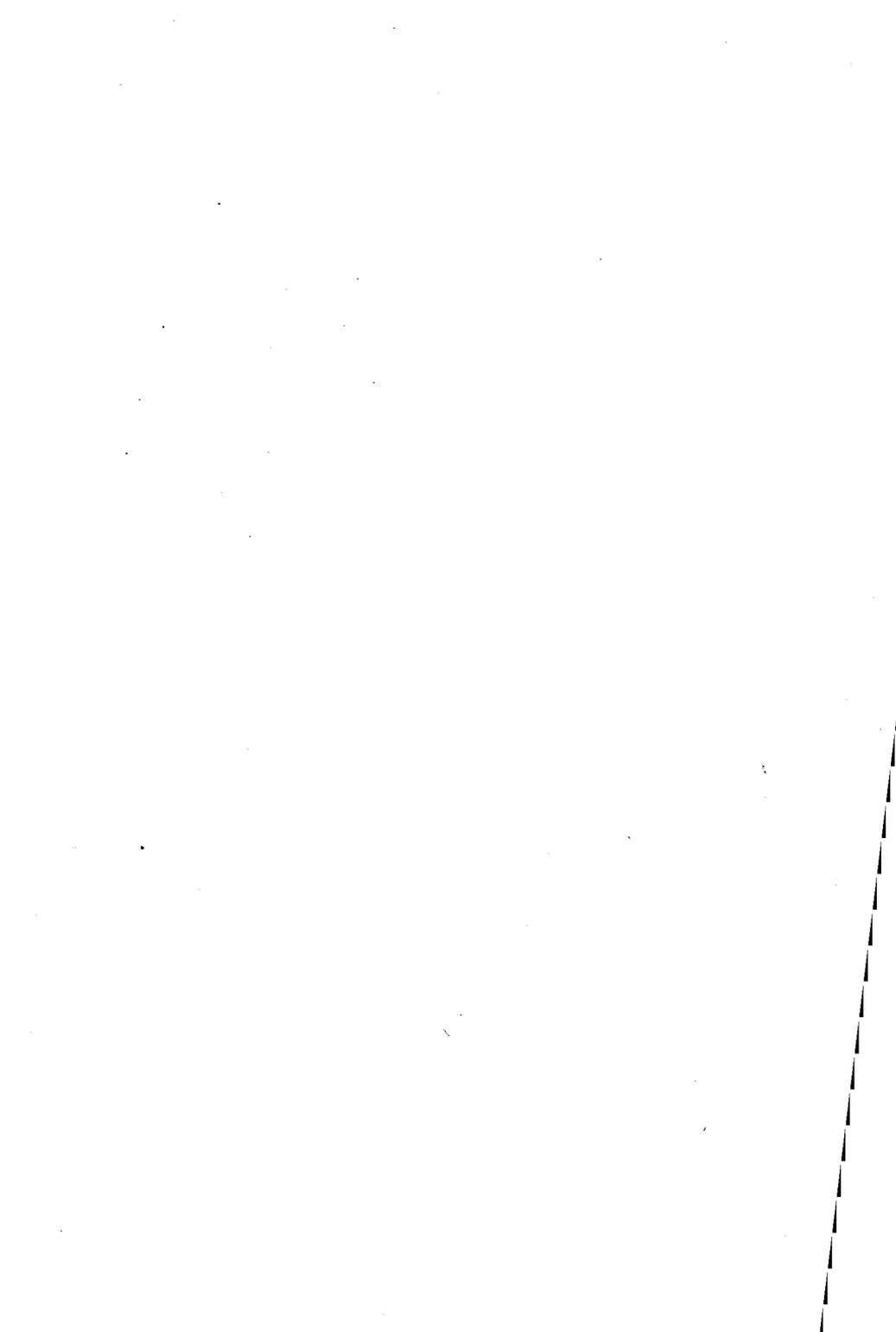
Tab. 1: Analysenparameter und Vorschriften für die untersuchten Stoffe

Recyclingholz, Klärschlamm, Klärschlamm-Recyclingholz-Gemisch	
- Glühverlust	DIN 38 414 S 3
- TOC	DIN
- Wassergehalt	DIN 38 414 S 2
- pH-Wert	DIN 38 414 S 4
- elektr. Leitfähigkeit	DIN 38 404 C 8
- Chlorid, Fluorid	DIN 38405 D 19
- PAK	nach EPA
- Schwermetalle (Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer, Nickel, Quecksilber, Zink)	DIN 38 406
- Stickstoff (gesamt):	nach BGK

Erläuterung der Abkürzungen:

BGK: Bundesgütegemeinschaft Kompost e. V.

EPA.: Environmental Protection Association (Amerikanische Umweltbehörde)



Anhang H

Holzaschen - Analyseergebnisse -

Seite

H 1 Holzaschenanalysen im Eluat (Abfallanalysedatei des Landesumweltamtes, 1996).....	2
H 2 Holzaschenanalysen im Feststoff (Abfallanalysedatei des Landesumweltamtes, 1996).....	3
H 3 Vergleich der Ascheneluatanalysen (LUA-Datei) mit Grenzwerten nach der TASI und TA Abfall	3
H 4 Holzaschenanalysen im Eluat und im Feststoff aus eigenen Untersuchungen des Landesumweltamtes (WINKLER, 1996a).....	4
H 5 Vergleich der Ascheneluatanalysen (WINKLER, 1996) mit Grenzwerten nach der TASI und TA Abfall.....	5
H 6 Holzascheneluatanalysen aus Untersuchungen des WKI (POHLANDT, 1994)	5
H 7 Arbeitsprogramm der Untersuchung des LUA in bezug auf die Chromgehalte in mineralischen Reststoffen aus der thermischen Behandlung von Holz	6
H 7.1 Experimentelles.....	6
H 7.2 Darstellung des Verbrennungs- bzw. Pyrolyseofens zur thermischen Behandlung von Holzproben.....	7
H 7.3 Untersuchungsergebnisse.....	8

H 1 Holzaschenanalysen im Eluat (Abfallanalysedatei des Landesumweltamtes, 1996)

- 29 Aschenanalysen auf verschiedene Parameter

Eluatkriterien	Einheit	Anzahl der untersuchten Proben	MIN	MAX	Mittelwert	Median
Aluminium	mg/l	8	0,3000	81,5000	13,8875	0,4000
Ammoniak	mg/l	1	9,9000	9,9000	9,9000	9,9000
Ammonium	mg/l	1	2,8600	2,8600	2,8600	2,8600
AOX	mg/l	3	0,0200	0,1800	0,0750	0,0250
Arsen	mg/l	6	0,0001	0,0700	0,0367	0,0375
Barium	mg/l	1	1,0400	1,0400	1,0400	1,0400
Beryllium	mg/l	1	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010
Blei	mg/l	18	0,0050	2,6000	0,4355	0,0500
Bor	mg/l	4	0,5000	1,0200	0,6300	0,5000
Cadmium	mg/l	17	0,0005	25,4400	1,5970	0,0100
Chlorid	mg/l	12	24,0000	6336,0000	1308,2545	570,4000
Chrom-ges.	mg/l	22	0,0080	6,1000	1,3130	0,5350
Chrom-VI	mg/l	21	0,0100	300,0000	16,1800	0,6800
CSB	mg/l	6	12,0000	1120,0000	251,0000	34,5000
Cyanide, gesamt	mg/l	2	0,0500	0,0500	0,0500	0,0500
Cyanide, leicht freisetzbar	mg/l	10	0,0200	0,1000	0,0520	0,0500
Eisen	mg/l	14	0,0100	0,1900	0,0508	0,0400
EOX	mg/l	8	0,0100	0,2600	0,0759	0,0365
Fluorid	mg/l	12	0,2000	10,0000	1,5936	0,5300
Kobalt	mg/l	1	0,0500	0,0500	0,0500	0,0500
Kohlenwasserstoffe	mg/l	10	0,0500	0,1000	0,0556	0,0500
Kupfer	mg/l	16	0,0050	0,3100	0,0511	0,0200
Leitfähigkeit	µS/cm	15	2380,0000	24300,0000	12309,2857	11630,0000
Nickel	mg/l	13	0,0050	0,1600	0,0372	0,0200
Nitrit	mg/l	2	0,7216	10,5000	5,6108	5,6108
Oxidierbarkeit als KMnO ₄ -Verbrauch	mg/l	9	12,0000	1024,0000	154,0333	30,0000
PAK nach TVO (gesamt)	µg/l	4	0,0000	0,0440	0,0413	0,0400
pH-Wert		15	9,5000	13,0000	11,7721	12,4000
Phenole	mg/l	12	0,1000	1,0000	0,4273	0,1000
Quecksilber	mg/l	7	0,0000	0,0051	0,0013	0,0005
Säurekapazität Ks 4,3	mmol/l	3	1,5400	42,0000	16,9167	7,2100
Säurekapazität Ks 8,2	mmol/l	1	6,0700	6,0700	6,0700	6,0700
Silber	mg/l	1	0,0500	0,0500	0,0500	0,0500
Sulfat	mg/l	2	1500,0000	2975,0000	2237,5000	2237,5000
Titan	mg/l	3	0,0100	0,0270	0,0157	0,0100
TOC	mg/l	1	2,6000	2,6000	2,6000	2,6000
Vanadium	mg/l	1	0,1300	0,1300	0,1300	0,1300
Wasserlöslicher Anteil	Gew.-%	0				
Zink	mg/l	17	0,0100	6,4500	0,6296	0,1100
Zinn	mg/l	1	0,0500	0,0500	0,0500	0,0500

H 2 Holzaschenanalysen im Feststoff (Abfallanalysedatei des Landesumweltamtes, 1996)

Feststoff						
Arsen	mg/kg	3	0,5900	12,0000	8,1967	12,0000
Blei	mg/kg	3	31,1000	530,0000	340,3667	460,0000
Bor	mg/kg	2	190,0000	250,0000	220,0000	220,0000
Cadmium	mg/kg	4	3,7000	46,0000	17,9500	11,0500
Chrom-ges.	mg/kg	2	120,0000	290,0000	205,0000	205,0000
Chrom-VI	mg/kg	1	5,2000	5,2000	5,2000	5,2000
Eisen	mg/kg	3	585,0000	34000,0000	18861,6667	22000,0000
EOX	mg/kg	1	2,0000	2,0000	2,0000	2,0000
Extrahierbare lipophile Stoffe	%	1	0,1000	0,1000	0,1000	0,1000
Glühverlust	Gew.-%	20	2,8000	56,6000	25,6947	24,3500
Kupfer	mg/kg	3	77,8000	140,0000	105,9333	100,0000
PAK-EPA (gesamt)	µg/kg	1	2000,0000	2000,0000	2000,0000	2000,0000
PAK-TVO (gesamt)	µg/kg	1	1000,0000	1000,0000	1000,0000	1000,0000
pH-Wert		2	8,8000	10,3000	9,5500	9,5500
Quecksilber	mg/kg	3	0,0300	4,0000	1,3533	0,0300
Titan	mg/kg	2	20000,0000	23000,0000	21500,0000	21500,0000
Wassergehalt	%	12	0,0000	61,0000	13,6182	2,1500
Zink	mg/kg	3	280,0000	1100,0000	570,0000	330,0000

H 3 Vergleich der Ascheneluatanalysen (LUA-Datei) mit Grenzwerten nach der TASI und TA Abfall

Eluatkriterien	Einheit	Anzahl der untersuchten Proben	MIN	MAX	Median	TASI		TA Abfall
						Deponiekl. 1	Deponiekl. 2	
pH-Wert		15	9,5	13	12,4	5,5-13,0	5,5-13,0	4 bis 13
Leitfähigkeit	µS/cm	15	2380	24300	11630	≤ 10.000	≤ 50.000	≤ 100.000
TOC	mg/l	1	2,6	2,6	2,6	≤ 20	≤ 100	≤ 200
Phenole	mg/l	12	0,1	1	0,1	≤ 0,2	≤ 50	≤ 100
Arsen	mg/l	6	0,0001	0,07	0,0375	≤ 0,2	≤ 0,5	≤ 1
Blei	mg/l	18	0,005	2,6	0,05	≤ 0,2	≤ 1	≤ 2
Cadmium	mg/l	17	0,0005	25,44	0,01	≤ 0,05	≤ 0,1	≤ 0,5
Chrom-VI	mg/l	21	0,01	300	0,68	≤ 0,05	≤ 0,1	≤ 0,5
Kupfer	mg/l	16	0,005	0,31	0,02	≤ 1	≤ 5	≤ 10
Nickel	mg/l	13	0,005	0,16	0,02	≤ 0,2	≤ 1	≤ 2
Quecksilber	mg/l	7	0	0,0051	0,0005	≤ 0,005	≤ 0,02	≤ 0,1
Zink	mg/l	17	0,01	6,45	0,11	≤ 2	≤ 5	≤ 10
Fluorid	mg/l	12	0,2	10	0,53	≤ 5	≤ 25	≤ 50
Ammonium	mg/l	1	2,86	2,86	2,86	≤ 4 *	≤ 200 *	≤ 1000
Chlorid	mg/l	12	24	6336	570,4			≤ 10000
Cyanide, leicht freisetzbar	mg/l	10	0,02	0,1	0,05	≤ 0,1	≤ 0,5	≤ 1
Sulfat	mg/l	2	1500	2975	2237,5			≤ 5000
Nitrit	mg/l	2	0,7216	10,5	5,6108			≤ 30
AOX	mg/l	3	0,02	0,18	0,025	≤ 0,3	≤ 1,5	≤ 3
Wasserlöslicher Anteil	Gew.-%	0				≤ 3	≤ 6	≤ 10
Feststoff								
Glühverlust	Gew.-%	20	2,8	56,6	24,35	≤ 3	≤ 6	≤ 10

* Ammonium-N

H 4 Holzaschenanalysen im Eluat und im Feststoff aus eigenen Untersuchungen des Landesumweltamtes (WINKLER, 1996a)

- 8 Aschenanalysen:

RW	Rostasche aus Kesselfeuerung	4
FW	Filterstaub:	4
	Summe:	8

- untersuchte Parameter:

Eluat- und Feststoffanalysen: Blei, Cadmium, Chrom(-ges), Eisen, Kupfer, Titan, Zink

Eluatkriterien	Einheit	Anzahl der untersuchten Proben	MIN	MAX	Mittelwert	Median
Blei	mg/l	8	0,300	160,000	32,539	14,150
Cadmium	mg/l	8	0,035	0,100	0,043	0,035
Chrom-ges.	mg/l	8	0,120	16,000	3,856	0,365
Eisen	mg/l	8	< 0,300	< 0,300	< 0,300	< 0,300
Kupfer	mg/l	8	< 0,100	1,700	0,390	0,140
Titan	mg/l	8	< 0,100	0,270	0,121	0,100
Zink	mg/l	8	0,100	27,000	5,975	2,200
Feststoff						
Blei	mg/kg	8	460,000	10.000,000	3.186,250	1.265,000
Cadmium	mg/kg	8	2,100	75,000	20,450	6,250
Chrom-ges.	mg/kg	8	120,000	710,000	320,000	285,000
Eisen	mg/kg	8	13.000,000	41.000,000	28.375,000	29.000,000
Kupfer	mg/kg	8	100,000	820,000	415,000	380,000
Titan	mg/kg	8	5.000,000	100.000,000	34.300,000	14.800,000
Zink	mg/kg	8	330,000	19.000,000	5.228,750	2.450,000

H 5 Vergleich der Ascheneluatanalysen (WINKLER, 1996) mit Grenzwerten nach der TASI und TA Abfall

Eluatkriterien	Einheit	Anzahl der untersuchten Proben	MIN	MAX	Mittelwert	TASI		TA Abfall
						Deponiekl. 1	Deponiekl. 2	
Blei	mg/l	8	0,300	2,600	0,40	≤ 0,2	≤ 1	≤ 2
Cadmium	mg/l	8	0,035	0,100	0,04	≤ 0,05	≤ 0,1	≤ 0,5
Chrom-ges.	mg/l	8	0,120	16,000	3,86	≤ 0,05	≤ 0,1	≤ 0,5
Kupfer	mg/l	8	< 0,100	1,700	0,39	≤ 1	≤ 5	≤ 10
Zink	mg/l	8	0,100	27,000	5,98	≤ 2	≤ 5	≤ 10

H 6 Holzascheneluatanalysen aus Untersuchungen des WKI (POHLANDT, 1994)

- 35 Aschenanalysen:

RP	Rostaschen	19
FP	Filterstäube:	14
SP	Schlacken:	2
UH	unbehandeltes Holz:	4
	Summe:	39

- untersuchte Parameter:

Eluatanalysen: Chrom(-ges), Fluor, Zink, Chlor und Blei
 weitere: Glühverlust, pH-Wert

Typ	Glühverlust [%]	pH-Wert	Chrom [mg/l]	Fluor [mg/l]	Zink [mg/l]	Chlor [mg/l]	Blei [mg/l]
Rost	46,70	8,90	n.n.	0,16	0,26	8,00	n.b.
Rost	22,10	11,30	n.n.	0,23	n.n.	35,00	n.b.
Rost	38,70	12,60	0,22	2,89	0,89	1190,00	n.b.
Rost	10,00	8,70	n.n.	0,18	n.n.	1,00	n.b.
Flug	0,20	11,60	n.n.	0,38	n.n.	2,00	n.b.
Flug	0,90	11,50	0,16	0,17	n.n.	3,00	n.n.
Rost	1,60	11,30	n.n.	0,18	n.n.	13,00	n.b.
Flug	0,30	12,20	n.n.	0,18	n.n.	n.n.	n.b.
Rost	2,30	10,30	n.n.	0,27	n.n.	11,00	n.b.
Rost	1,10	12,70	0,69	0,03	n.n.	38,00	n.b.
Rost	6,00	12,80	0,07	0,28	0,03	3,00	n.n.
Rost	2,70	12,40	n.n.	0,05	0,12	25,00	n.b.
Flug	12,70	11,40	0,50	1,02	n.n.	1020,00	n.b.
Rost	0,10	11,60	n.n.	n.n.	n.n.	98,00	n.b.
Flug	9,30	12,90	n.n.	0,04	n.n.	34,00	n.b.
Rost	33,00	9,70	n.n.	0,80	n.n.	622,00	n.b.
Flug	12,70	12,90	0,33	1,03	0,12	192,00	n.b.
Flug	16,40	13,40	6,31	0,60	0,03	620,00	n.n.
Rost	2,20	13,30	0,75	0,40	n.n.	427,00	r.b.
Rost	7,70	12,50	0,42	0,03	n.n.	93,00	n.b.
Flug	0,00	12,50	n.n.	0,11	n.n.	126,00	n.b.
Rost	43,80	7,90	n.n.	0,89	0,96	50,00	n.b.
Rost	11,10	9,90	0,04	0,32	0,31	9,00	n.n.
Rost	19,30	8,00	n.n.	0,30	0,16	7,00	n.n.
Rost	12,00	12,50	0,39	n.n.	0,02	27,00	n.n.
Flug	18,80	12,80	7,77	1,52	1,47	2210,00	0,51
Schlacke	0,00	8,90	n.n.	0,04	n.n.	8,00	n.b.
Flug	1,40	10,30	0,63	0,30	n.n.	4540,00	n.b.
Flug	2,90	8,90	0,25	0,10	n.n.	13900,00	n.b.
Schlacke	0,00	10,50	n.n.	n.n.	n.n.	1,00	n.b.
Rost	0,30	12,90	0,69	n.n.	n.n.	5,00	n.b.
Flug	8,20	13,00	3,10	1,43	0,17	662,00	n.b.
Rost	4,40	13,20	0,05	0,10	0,02	n.n.	n.b.
Flug	0,00	13,60	0,12	0,14	n.n.	46,00	n.b.
Flug	0,00	13,90	3,02	0,08	1,07	886,00	n.b.
Aschen	40,40	13,10	0,49	0,28	n.n.	n.b.	n.b.
von	59,40	13,20	0,42	8,61	0,15	n.b.	n.b.
unbehand.	24,50	13,30	1,23	10,80	0,87	n.b.	n.b.
Hölzern	0,00	13,20	n.n.	0,12	0,85	n.b.	n.b.

H 7 Arbeitsprogramm der Untersuchung des LUA in bezug auf die Chromgehalte in mineralischen Reststoffen aus der thermischen Behandlung von Holz

H 7.1 Experimentelles

Bei dem eingesetzten Holz handelte es sich um Kiefern-Leimholz, wie es in Baumärkten zum Einsatz im Wohnbereich angeboten wird. Ca. 500 g dieses Holzes wurden zerspannt (Spanlänge ≤ 10 mm, Spandurchmesser ≤ 2 mm). Nachfolgend wurden im Rüttler 10 Portionen zu je 30 g Späne mit jeweils 20 ml einer Lösung von 12

g/l $K_2Cr_2O_7$ in dest. H_2O beaufschlagt und ca. 1 h gerüttelt, um eine möglichst gleichmäßige Beaufschlagung zu erzielen.

Die so behandelten Spanportionen wurden anschließend vereint und bei 60 Grad Celsius 48 h getrocknet.

Pro g Holz wurden so 2,83 mg Cr-VI aufgebracht.

Der Verbrennungs- bzw. Pyrolysevorgang fand in einem ca. 6 g Späne fassenden Nickel-Tiegel statt, der in einem elektrisch beheizten Veraschungsgerät auf 650 Grad Celsius erhitzt wurde. Der Tiegel besaß seitlich ein kurzes Einleitungsrohr aus Edelstahl. Dieses war mit einem weiteren Edelstahlrohr verschraubt, das aus dem Veraschungsgerät herausführte. Durch diese Zuleitung wurde Luft oder Stickstoff in den Tiegel geleitet. Nach Lösen der Verschraubung konnte der Tiegel zum Wiegen, Befüllen und Entleeren dem Veraschungsgerät entnommen werden.

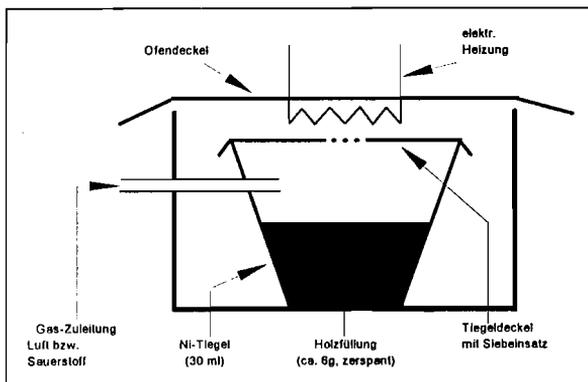
Um den Austrag von Probensubstanz bzw. Rückstand zu verhindern, war der Tiegel mit einem Deckel aus Nickel versehen. Gase konnten durch eine Bohrung im Deckel, die mit einem Edelstahldrahtnetz (Maschenweite ca. $50\ \mu m$) ausgestattet war, entweichen.

Die Strömungsgeschwindigkeit des zugeführten Gases wurde mit einem Schwebekörperströmungsmesser vor dem Eintritt in das Veraschungsgerät gemessen. Verbrennungs- und Pyrolysevorgang dauerten jeweils ca. 1 h.

Die Elutionen der Verbrennungs- bzw. Pyrolyserückstände wurden nach deren Wägung mit 50 ml dest. H_2O ausgeführt (24 h, Schüttler), die Schmelzkuchen der K_2CO_3/KNO_3 - Schmelzaufschlüsse in 250 ml dest. H_2O gelöst.

Die Analysen von Cr-VI und Cr-ges wurden mit einem Photometer Caddas 50 der Fa. Dr. Lange und den entsprechenden Reagenzien der Fa. Dr. Lange durchgeführt.

H 7.2 Darstellung des Verbrennungs- bzw. Pyrolyseofens zur thermischen Behandlung von Holzproben



H 7.3 Untersuchungsergebnisse

Proben-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	unbehandeltes Holz		behandeltes Holz							
	Verbrennung unter Luft					Pyrolyse unter Stickstoff		Verbrennung und Pyrolyse		
Gasstrom/(l/h)	40	40	10	100	60	40	40	60	60	60
Holzmasse/g	6,31	6,23	6,42	6,36	6,47	6,28	6,24	6,18	6,34	6,45
aufgebrachte Cr-VI-Masse in mg (vor Verbrennung)	17,86	17,63	18,16	17,99	18,31	17,77	17,66	17,49	17,94	18,25
pro g Holz aufgebrachtes Cr-VI in mg	0,00	0,00	2,83	2,83	2,83	2,83	2,83	2,83	2,83	2,83
mit H ₂ O aus dem Rückstand eluiertes Cr-VI in mg	0,00	0,00	7,74	13,29	entfällt	0,00	0,00	entfällt	17,98	16,14
mit H ₂ O aus dem Rückstand eluiertes Cr-VI in mg pro g Holz	0,00	0,00	1,21	2,01	entfällt	0,00	0,00	entfällt	2,84	2,50
in % der aufgebrachten Cr-VI-Masse	0,0%	0,0%	42,6%	73,9%	entfällt	0,0%	0,0%	entfällt	100,2%	88,4%
mit H ₂ O aus dem Rückstand eluiertes Cr-ges. in mg	0,00	0,00	7,86	13,86	entfällt	0,00	0,00	entfällt	entfällt	entfällt
mit H ₂ O aus dem Rückstand eluiertes Cr-ges. in mg pro g Holz	0,00	0,00	1,20	2,18	entfällt	0,00	0,00	entfällt	entfällt	entfällt
in % der aufgebrachten Cr-ges.-Masse	0,0%	0,0%	43,3%	77,0%	entfällt	0,0%	0,0%	entfällt	entfällt	entfällt
Cr-ges. nach Aufschluß des Rückstandes in mg	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	16,76	entfällt	entfällt	16,18	entfällt	entfällt
Cr-ges. nach Aufschluß des Rückstandes in mg pro g Holz	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	2,59	entfällt	entfällt	2,62	entfällt	entfällt
in % der aufgebrachten Cr-ges.-Masse	entfällt	entfällt	entfällt	entfällt	91,5%	entfällt	entfällt	92,6%	entfällt	entfällt

Anhang J**Güteüberwachung bei der Gebraucht- und Restholzaufbereitung und
-entsorgung**Seite

J 1 Güteüberwachung	2
----------------------------------	----------

J 1 Güteüberwachung

I. Prüfung für die Güteüberwachung von Recyclingspänen (beim Aufbereiter) - angelehnt an die Richtlinien für die Güteüberwachung von Mineralstoffen im Straßenbau (RG Min-StB 93)

Tab. I-1: Prüfung für den Eignungsnachweis und die Güteüberwachung von Recyclingspänen

Nr.	Prüfgegenstand	Prüfverfahren	Eignungsnachweis	Ifd.Güteüberwachung	
				E	F
1	Eingangskontrolle, Kennzeichnung		X	t ¹	4
2	Aufbereitung, Lagerung		X	t ²	4
3	Durchführung der Eigenüberwachung		X		4
4	Feststoffwerte Produkt		X	w	4

Eignungsnachweis

X ist durchzuführen

Eigenüberwachung je angeliefertem Material bzw. je produzierter Spangröße

t täglich

w wöchentlich

¹ laufend

² nach Augenschein

Fremdüberwachung

4 viermal im Jahr

1 Eignungsnachweis und Güteüberwachung

Der Eignungsnachweis besteht aus einer Erstprüfung und einer Betriebsbeurteilung (Erstinspektion).

Die Güteüberwachung umfaßt die Eigen- und Fremdüberwachung. Die Häufigkeit der Prüfungen beim Eignungsnachweis und der Güteüberwachung ergibt sich aus der Tabelle I-1 ergeben. Die anzuwendenden Prüfverfahren und die Prüfstelle für die Durchführung des Eignungsnachweises und der Fremdüberwachung sind noch zu bestimmen.

1.2 Eignungsnachweis

Die im Rahmen einer Erstprüfung (Erstinspektion der Anlage) vorzunehmenden Untersuchungen sind in der Tabelle I-1 zusammengestellt. Bei der Betriebsbeurteilung werden die Voraussetzungen für eine dem Verwendungszweck entsprechende Anlieferung, Sortierung, Aufbereitung, Lagerung und Verladung der angelieferten Holzmaterialien bzw. der Recyclingspäne beurteilt. Hier ist ebenfalls die Prüfstelle s. o. noch festzulegen.

1.3 Güteüberwachung

1.3.1 Eigenüberwachung

Die Eigenüberwachung besteht darin, daß die in Tabelle I-1 genannten Prüfungen an Proben aus der laufenden Produktion bzw. aus dem Eingangs- oder Ausgangslager durchgeführt werden. Sortierungen und Sichtungen können vom eigenen Personal durchgeführt werden.

Die Ergebnisse der Eigenüberwachung sind in Formblättern zu dokumentieren. Diese sind als Teil des Betriebstagebuchs zu führen, in das die Prüfstelle jederzeit Einblick nehmen kann.

Entsprechen die Prüfergebnisse nicht den Güteanforderungen, so müssen von betrieblicher Seite unverzüglich Maßnahmen ergriffen werden, die die Herstellung von einwandfreien Recyclingspänen sicherstellen. Die getroffenen Maßnahmen sind im Betriebstagebuch zu vermerken.

1.3.2 Fremdüberwachung

Die Fremdüberwachung erstreckt sich über die in der o. g. Tabelle angegebenen Prüfungen. Für die Fremdüberwachung nimmt die zugelassene Prüfstelle (muß noch bestimmt werden) Proben im Werk. Sie sollen in Gegenwart eines Vertreters des Unternehmens entnommen werden. Die Häufigkeit dieser Untersuchungen ist in der Tabelle I-1 festgelegt.

1.4 Eignungsnachweis und Fremdüberwachungszeugnis

Die Prüfstelle stellt Eignungsnachweis und Fremdüberwachungszeugnis mit den Ergebnissen der durchgeführten Untersuchungen aus. Sie leitet Ausfertigungen davon dem Unternehmen und einer zuständigen Behörde zu.

2 Eingangskontrolle, Kennzeichnung

Durch eine eingehende Kontrolle der angelieferten Materialien wird entschieden, wo das Material gelagert werden soll und für welchen Verwertungsweg es geeignet ist. Die Getrennthaltung erfolgt auf dafür gekennzeichneten Lagerflächen.

3 Aufbereitung, Lagerung (angelehnt an DIN 52 101 Anhang B)

Die Aufbereitung ist unter Angabe der Vorsortierung, der Hackeranlage, Absiebvorrichtungen und der Verladeanlage kurz zu beschreiben. Dabei sind die in den einzelnen Stufen hergestellten Spangrößen (evtl. aufbereitet für verschiedene Verwertungswege) anzugeben.

Bei einer Zwischenlagerung der Endprodukte sind die Maßnahmen gegen Verunreinigung und Vermischung zu überprüfen.

Es sind Angaben über die vorhandenen Einrichtungen im Werk für die Eigenüberwachung zu machen, aus denen geschlossen werden kann, ob die Überwachung der Aufbereitung und Lagerung möglich ist.

4 Feststoffwerte Produkt

Es erfolgen Analysen des Outputmaterials der Aufbereitungsanlage auf die vom LUA/LAI festgelegten Parameter für die verschiedenen Verwertungswege.

Probenherstellung

Der Output wird in die Gruppen unterteilt, die sich aus den Siebungen der Anlagen ergeben:

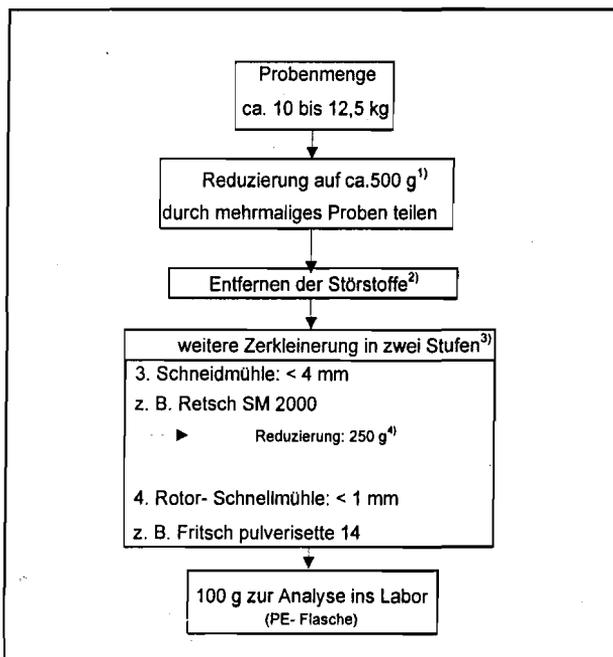
- Feinfraktion,
- Mittelfraktion und
- Grobfraktion.

Die Probenahme erfolgt über einen Zeitraum von mindestens 2 Stunden und vereinigt eine Teilprobenanzahl von 5 Proben á 2-2,5 kg (entspricht je nach Siebgröße der Outputfraktion der Menge in einem 10 Liter Eimer). Diese Menge wird als Tagesmischprobe aufbereitet. Die Probenmenge von 10-12,5 kg wird halbiert und von den

entstandenen Hälften wird eine weiter aufbereitet, die andere verworfen. Dieses Procedere ist so lange durchzuführen, bis die Gesamtmenge auf 500 g reduziert ist. Danach werden die noch enthaltenden Störstoffe, vor allem Metalle, entfernt, da diese die Zerkleinerung stören.

Das Ziel der Probenaufbereitung ist eine Probemenge von ca. 200 g mit einer Größe von < 1 mm zu erzielen. Von dem zerkleinerten Material werden 100 g in PE-Flaschen abgefüllt, die andere Hälfte dient als Rückstellprobe.

Bei der Zerkleinerung ist darauf zu achten, daß Zerkleinerungsaggregate Verwendung finden, die das Ergebnis möglichst wenig beeinflussen. D. h. es sollte darauf geachtet werden, daß sich weder das Aufbereitungsaggregat noch die Probe zu sehr erwärmt. Weiter sollte das Material der Zerkleinerungswerkzeuge so beschaffen sein, daß der Abrieb möglichst gering gehalten wird.



¹⁾ Reduzierung der Menge erfolgt durch Halbierung bis die gewünschte Menge vorliegt (eine Hälfte wird verworfen, die andere weiter aufbereitet).

²⁾ hier: Metall- und Nichtmetallteile, die bei der Zerkleinerung stören

³⁾ intensive Reinigung der Zerkleinerungsgeräte nach jeder Probe

⁴⁾ der Rest dient als Rückstellprobe

Abb. I-1: Beispiel für das Vorgehen bei der Probenaufbereitung

Ein mögliches Vorgehen bei der Zerkleinerung des Materials, das sich schon bewährt hat, ist in Abbildung I-1 dargestellt. Es erfolgt in zwei Schritten. Der erste Schritt ist eine Zerkleinerung der 500 g Probe auf < 4mm mit einer Schneidmühle (z. B. Retsch SM 2000). Danach wird die Probe nochmals halbiert (250 g), die eine Hälfte verworfen und die andere mit einer Rotor-Schnellmühle (z. B. Fritsch pulverisette 14) auf < 1 mm zerkleinert.

Analysenumfang und Methoden

Die Tabelle I-2 zeigt den Analysenumfang angelehnt an die Richtwerte des LUA für die verschiedenen Verbrennungswege und die dazu angewandten Methoden.

Tab. I-2: Analysenumfang

Verwendungsbereiche/ notwendige Analysenparameter	stoffliche Verwertung	Feuerungs- anlagen nach der 1. BlmSchV	Feuerungs- anlagen nach der 4. BlmSchV Ziff. 1.2	Feuerungs- anlagen nach der 4. BlmSchV Ziff. 1.3	Feuerungs- anlagen nach der 4. BlmSchV i. V. m. der 17. BlmSchV
Arsen, Kupfer, Bor, Quecksilber, Fluor	X	X	X	X	X
Cadmium Chrom Blei, Titan, Zink	X	X			X
Chlor	X	X	X		X
Pentachlorphenol, Lindan, Benzo(a)pyren	X	X	X	X	X

Tab. I-3: Analysenmethoden

Parameter	Methode
Salpetersäuredruckaufschluß	angelehnt an Untersuchungsverfahren nach § 35 LMBG (Durchführung mittels Mikrowelle)
Arsen, Cadmium, Chrom, Kupfer, Blei, Titan, Zink, Bor	DIN 38406 E22
Quecksilber	DIN 38406 E12-1
Chlor gesamt, Fluor gesamt	Wickbold-Verbrennung, Ionenchromatographie bzw. ionenselektive Elektrode
Pentachlorphenol	Extraktion mit Toluol, Derivatisierung mit TESH, GC-ECD
Lindan	Extraktion mit Toluol, GC-ECD
Benzo(a)pyren	Extraktion mit THF/Ultraschall, HPLC-DAD/-FLD

**II. Dokumentation beim Aufbereiter, Transporteur, Verwerter angelehnt an:
LAGA: Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Reststoffen/Abfällen - Technische Regeln**

1 Dokumentation

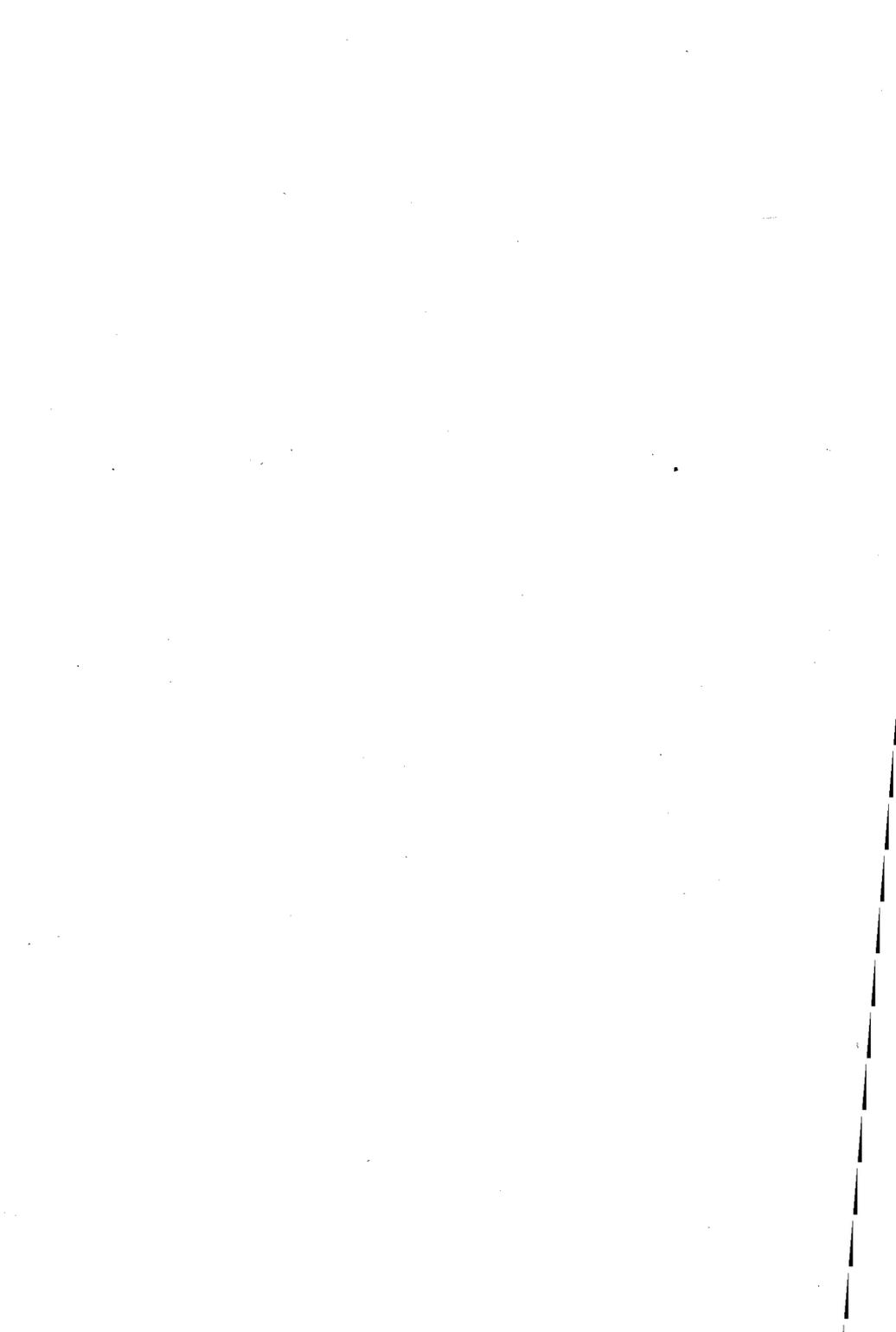
Die Verwertung von Holzrecyclingspänen ist zu dokumentieren. Dies sollte gemäß Tab II-1 geschehen. Einzelheiten zum Verfahren sind durch die zuständigen Behörden festzulegen. Auf Verlangen ist den zuständigen Behörden Einsicht in die Unterlagen zu gewähren.

Tab. II-1: Dokumentation beim Aufbereiter, Transporteur und Verwerter

Aufbereiter	Transporteur	Verwerter	Dokumentation über
X			Anlieferer/Anfallstelle
	X	X	Aufbereiter
X		X	Transporteur
X	X		Verwerter
X	X	X	Menge
X		X	Qualität
		X	Ort, Art und Zeit der Verwertung

2 Zusätzliche Dokumentation beim Verwerter

Der Verwerter zieht von den angelieferten Spänen, nach Aufbereiten getrennt, einmal in der Woche eine Probe von ca. 2 - 2,5 Kg (ca. ein 10 Liter Eimer) und bewahrt diese auf. Einmal im Monat werden durch einen Dritten fünf aus der Sammlung dieser Proben - ausgewählt und analysiert. Die Probenaufbereitung, die zu analysierenden Parameter und die dabei anzuwendenden Methoden sind in I Kap. 5 dargestellt.



Seit 1. April 1994 sind bisher folgende „Materialien“ des Landesumweltamtes NRW erschienen:

- | | | |
|----|---|----------|
| 1 | Der Dynamische Daphnientest
– Erfahrungen und praktische Hinweise –
Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 44 S. | 15,00 DM |
| 2 | Umsetzung der TA-Siedlungsabfall bei Deponien
2. Abfallwirtschaftliches Fachgespräch
Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 99 S. | 15,00 DM |
| 3 | Verwertung von Elektro- und Elektronikgeräten
Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 153 S. | 20,00 DM |
| 4 | Einsatz alternativer Baustoffe in Abdichtungssystemen
Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 91 S. | 15,00 DM |
| 5 | Einwicklung im Bereich der Sonderabfallentsorgung
Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 39 S. | 15,00 DM |
| 6 | Ökologische Auswirkungen von Fischeichen auf Fließgewässer
Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 208 S. | 25,00 DM |
| 7 | Ökologische Effizienz von Renaturierungsmaßnahmen an Fließgewässern
Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 462 S. | 28,00 DM |
| 8 | Vermeidung von Bunkerbränden in Abfallverbrennungsanlagen mit Hilfe
der Infrarot-Thermographie
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 53 S. | 15,00 DM |
| 9 | Prozeßleittechnik in Anlagen der chemischen Industrie –
Anlagenschutz und sicherheitsrelevante Komponenten
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 119 S. | 20,00 DM |
| 10 | Sicherheitstechnische Hinweise und Anforderungen an Abschott- und
Entlastungssysteme aus der Sicht der Störfall-Verordnung
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 40 S. | 15,00 DM |
| 11 | Literaturstudien zum PCDD/F-Transfer vom Boden in die Nahrungskette
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 149 S. | 25,00 DM |
| 12 | Die verlust- und kontaminationsfreie Probenahme und -vorbereitung
von Wässern und Feststoffen
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 203 S. | 28,00 DM |
| 13 | Essener Verfahren zur Bewertung von Altlastenverdachtsflächen
– Erstbewertung und normierte Charakterisierung –
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 66 S. | 15,00 DM |
| 14 | Optimierung der thermischen Behandlung organischer chlorhaltiger
Problemabfälle
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 132 S. | 25,00 DM |
| 15 | Entsorgungsbericht 1993 über Sonder- und Massenabfälle in NRW
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 75 S. | 20,00 DM |
| 16 | Begleitende meßtechnische Erfolgskontrolle bei der Sanierung
einer Textilreinigungsanlage
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 60 S. | 15,00 DM |

- | | | |
|----|--|----------|
| 17 | Ausgewählte Untersuchungsergebnisse der halbtechnischen Versuchskläranlage
– Untersuchungen zur Stickstoffelimination –
– Praxiserprobung von Online-Meßtechnik –
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 110 S. | 20,00 DM |
| 18 | Vergleich verschiedener europäischer Untersuchungs- und Bewertungsmethoden für Fließgewässer
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 140 S. | 25,00 DM |
| 19 | Zielvorgaben zum Schutz oberirdischer Binnengewässer vor gefährlichen Stoffen
– Ergebnisse der Erprobung in NRW –
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 150 S. | 25,00 DM |
| 20 | Information und Dokumentation bei Deponien
4. Abfallwirtschaftliches Fachgespräch, 26. Oktober 1994
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 98 S. | 20,00 DM |
| 21 | Ausbreitungsuntersuchungen von Gerüchen anhand einer Modellquelle
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 57 S. | 15,00 DM |
| 22 | Erschütterungen und Körperschall des landgebundenen Verkehrs
– Prognose und Schutzmaßnahmen –
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 658 S. | 40,00 DM |
| 23 | Naturraumspezifische Leitbilder für kleine und mittelgroße Fließgewässer in der freien Landschaft
Eine vorläufige Zusammenstellung von Referenzbach- und Leitbildbeschreibungen für die Durchführung von Gewässerstrukturgütekartierungen in Nordrhein-Westfalen
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 127 S. | 25,00 DM |
| 24 | Siedlungsabfalldeponien – Oberflächenabdichtung und Sickerwasser
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 162 S. | 25,00 DM |
| 25 | Thermodynamische Analyse der Verfahren zur thermischen Müllentsorgung
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 121 S. | 25,00 DM |
| 26 | Normierung und Konventionen in der Abfallanalytik – Aufgaben und Ziele
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 188 S. | 28,00 DM |
| 27 | Entsorgungsbericht 1994 über Sonder- und Massenabfälle in Nordrhein-Westfalen
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 92 S. | 20,00 DM |
| 28 | Umweltüberwachung im Spannungsfeld; integral/medial – privat/staatlich
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 289 S. | 30,00 DM |
| 29 | Bauabfallentsorgung – von der Deponierung zur Verwertung und Vermarktung
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 181 S. | 28,00 DM |
| 30 | Ergebnisse von Dioxin-Emissionsmessungen an Industrieanlagen in NRW
– Dioxinmeßprogramm Nordrhein-Westfalen –
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 114 S. | 20,00 DM |
| 31 | Umsetzung der TA Siedlungsabfall bei Deponien in NRW
Fortbildungsveranstaltung am 27./28. Juni 1995 im Bildungszentrum für die Entsorgungs- und Wasserwirtschaft GmbH (BEW) in Essen
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 189 S. | 28,00 DM |

- | | | |
|----|--|----------|
| 32 | Medienübergreifendes Arbeiten im technischen Umweltschutz
Beiträge aus dem Fachgespräch anlässlich der Verabschiedung von
Herrn Abteilungsdirektor Dr.-Ing. H.-O. Weber am 06. Juli 1995
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 78 S. | 20,00 DM |
| 33 | Handbuch der Laborpraxis für Ver- und Entsorgerinnen/
Ver- und Entsorger – 1. und 2. Ausbildungsjahr –
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 186 S. | 30,00 DM |
| 34 | Explosionsschutz bei der Lagerung brennbarer Flüssigkeiten
Entwicklungen und Erkenntnisse
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 54 S. | 18,00 DM |
| 35 | Physikalisch-chemische und biologische Auswirkungen bei der Verwendung
von Waschbergen in Schiffahrtskanälen
Untersuchungsbericht des Arbeitskreises „Waschberge im Wasserbau“
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 154 S. | 25,00 DM |
| 36 | Anforderungen an sachverständige Stellen für die Bekanntgabe und die
Zulassung im Bereich des Immissionssschutzes
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 132 S. | 25,00 DM |
| 37 | Schadstoffströme bei der Gebrauchtholzverwertung für
ausgewählte Abfallarten
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 275 S. | 30,00 DM |

