



Brennstoffmissbrauch in Holzfeuerungsanlagen erkennen - Ein Erfahrungsbericht



Herausgeber:

Freie und Hansestadt Hamburg
Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt
Amt für Immissionsschutz und Betriebe
in Zusammenarbeit mit dem
Institut für Hygiene und Umwelt
Stadthausbrücke 8, 20355 Hamburg
www.bsu.hamburg.de

**Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt
und ländliche Räume des Landes
Schleswig-Holstein - LLUR**
Außenstelle Schleswig
Flensburger Straße 134
24837 Schleswig
www.LLUR.schleswig-holstein.de

AutorInnen:

Dr. Birgit Gras
Institut für Hygiene und Umwelt
Tel.: (040) 428 45 – 3757
Fax: (040) 428 45 – 3840
e-mail: birgit.gras@hu.hamburg.de

Hans-Werner Carstensen
Peter Lühder
Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt
und ländliche Räume
Außenstelle Schleswig
Tel.: (0 46 21) 384-0
Fax: (0 46 21) 384-440
e-mail: Poststelle@LLUR.landsh.de

Jürgen Cornelissen
IGU BIOBAC GmbH
Tel.: (0431) 69 64-112
Fax: (0431) 69 87 87
e-mail: info@igu-biobac.de

Dezember 2009

Vorbemerkung

Die Wärmegewinnung mittels Holzfeuerungsanlagen nimmt sowohl im häuslichen wie auch im gewerblichen Bereich wieder deutlich zu. So sinnvoll die Nutzung nachwachsender Brennstoffe auch hinsichtlich ihrer Kohlendioxid-Neutralität ist, dürfen durch den vermehrten Betrieb von Holzfeuerungsanlagen jedoch die bereits erzielten Erfolge im Bereich der Luftreinhaltung nicht gefährdet werden. Daher muss auch für diese Anlagen eine umweltgerechte, ruß- und schadstoffarme Verbrennung mittels geeigneter Brenntechniken und Brennstoffe gewährleistet werden.

Eine wesentliche Voraussetzung für eine möglichst schadstoffarme Feuerungsanlage ist, dass sie nur mit den für sie zugelassenen Brennstoffen betrieben wird. So darf beispielsweise in zahlreichen Einzelraumfeuerungsanlagen nur naturbelassenes Holz eingesetzt werden. Hier können bereits kleine Mengen behandelten Holzes oder Beimengungen von Verpackungsmaterial wie Kunststoffe die Schadstoffgehalte in der Luft beträchtlich erhöhen. Es können hierbei toxische organische Verbindungen wie Dioxine, Furane und polyaromatische Kohlenwasserstoffe als auch Schwermetalle emittiert werden. Gleichzeitig werden die schwerflüchtigen Schadstoffverbindungen in den Aschen angereichert.

Da bei Überprüfungen solcher Kleinf Feuerungsanlagen im gewerblichen Bereich z. B. holzverarbeitende Betriebe immer wieder in den Brennstofflagerräumen auch behandelte oder beschichtete Hölzer und Verbundstoffe festgestellt wurden, haben das Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein, Außenstelle Schleswig sowie das Amt für Immissionsschutz und Betriebe der Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt der Freien und Hansestadt Hamburg eine Handhabung gesucht, wie ggf. vorliegender Brennstoffmissbrauch sicher identifiziert werden kann.

Die Erkenntnisse und Untersuchungen beider Bundesländer zur Aufklärung eines Brennstoffmissbrauchs werden in dem vorliegenden gemeinsamen Erfahrungsbericht als Vollzugshilfe zusammengefasst.

Inhalt

	Seite
1. Einleitung und Zielsetzung	3
2. Gesetzliche Regelungen	5
3. Verfahren zur Untersuchung von Verbrennungsrückständen aus Kleinf Feuerungsanlagen	6
3.1 Untersuchung von Verbrennungsrückständen aus Kleinf Feuerungsanlagen und Bewertung der Ergebnisse anhand von Vergleichswerten für Holz	6
3.1.1 Probenahme und Probenauswahl	6
3.1.2 Visuelle Prüfung	7
3.1.3 Probenaufbereitung und chemische Untersuchung	9
3.1.4 Ergebnisse und Bewertung	11
3.2 Untersuchung von Verbrennungsrückständen aus Kleinf Feuerungsanlagen und Bewertung der Ergebnisse anhand von Vergleichswerten für Aschen	13
3.2.1 Probenauswahl, Vorbereitung und Analytik	13
3.2.2 Aschen aus naturbelassenem Holz	14
3.2.3 Bewertung von Aschen aus Kleinf Feuerungsanlagen	15
3.2.4 Vorgehen bei der Untersuchung und Bewertung von Aschen aus Kleinf Feuerungsanlagen auf der Basis von Orientierungswerten für Holzaschen	16
4. Ergebnisse von Paralleluntersuchungen und Schlussfolgerungen	17
5. Literaturverzeichnis	18
6. Anhang	20

1. Einleitung und Zielsetzung

Die Nutzung von Holz zur Wärmeerzeugung wird auf Grund steigender Energiekosten zunehmend beliebter. Dies betrifft sowohl den gewerblichen, als auch den privaten Bereich. Holz ist als nachwachsender Brennstoff CO₂-neutral, daher ist der Einsatz durchaus sinnvoll. Bei Überprüfungen von holzbe- und verarbeitenden Betrieben wurden in den Brennstofflagerräumen neben zugelassenen Hölzern immer wieder beschichtete Hölzer oder Verbundwerkstoffe festgestellt (s. Abb.1).



Abbildung 1: Holzlager

Ein Brennstoffmissbrauch konnte aber bisher in der Regel nicht nachgewiesen werden, da die als Brennstoff nicht zugelassenen Hölzer - nach Aussage der Betreiber - lediglich gelagert wurden. Sie würden diese Hölzer vor dem Verbrennen entsprechend sortieren und nur die zugelassenen Hölzer verbrennen.

In Zusammenarbeit mit der IGU BIOBAC GmbH wurde durch das Staatliche Umweltamt Schleswig (jetzt Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume des Landes Schleswig-Holstein - LLUR, Außenstelle Schleswig) eine Vorgehensweise erarbeitet, die den gerichtsfesten Nachweis eines Brennstoffmissbrauches ermöglicht.¹ Grundlage hierfür ist die optische Beurteilung und chemische Untersuchung der Asche.

¹ Dieser Bericht schließt nicht aus, dass auch mit einem anderen Verfahren ein gerichtsfester Nachweis geführt werden kann.

Aschen aus Kleinfeuerungsanlagen können - je nach Veraschungsgrad - auch mehr oder minder große Mengen an unvollständig verbranntem, d.h. verschweltem Holz enthalten. Darüber hinaus finden sich ggf. diverse Fremdbestandteile wie Nägel, Kunststoffe, Farbreste u.a..

Bei dem von der Außenstelle Schleswig des LLUR angewendeten Verfahren werden nicht nur die Verbrennungsrückstände (Aschen), sondern auch die unvollständig verbrannten Anteile der Asche (verschweltes Holz) sowie eventuell vorhandene Fremdbestandteile (z.B. Kunststoffe, Farbpigmente u.a.) untersucht (vergl. Kap. 3.1.3).

Diese Untersuchungen wurden über mehrere Heizperioden (2006/2007 und 2007/2008) durchgeführt.

Unabhängig davon wurden auch in Hamburg Aschen aus Kleinfeuerungsanlagen untersucht. Das Institut für Hygiene und Umwelt entwickelte im Auftrage des Amtes für Immissionsschutz und Betriebe (Behörde für Stadtentwicklung und Umwelt) ein Verfahren zum Erkennen von Brennstoffmissbrauch.

Im Gegensatz zum Verfahren der Außenstelle Schleswig des LLUR wurden bei den Untersuchungen durch das Institut für Hygiene und Umwelt die unvollständig verbrannten Anteile und die Fremdbestandteile der Asche durch vorherige Siebung aussortiert, d.h. es gelangten nur die Ascherückstände zur Untersuchung.

Im Folgenden werden beide Vorgehensweisen gegenübergestellt. Obwohl diese unterschiedlich sind, führen sie zu gut vergleichbaren Ergebnissen.

2. Gesetzliche Regelungen

Die gesetzlichen Regelungen ergeben sich im Wesentlichen aus dem Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnlichen Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG) und der Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen (1. BImSchV). Gemäß § 3 Abs. 1 i. V. m. § 5 der 1. BImSchV dürfen in Kleinfeuerungsanlagen grundsätzlich nur folgende (Holz-) Brennstoffe eingesetzt werden:

- Nr. 4 naturbelassenes stückiges Holz einschließlich anhaftender Rinde, beispielsweise in Form von Scheitholz, Hackschnitzeln sowie Reisig und Zapfen,
- Nr. 5 naturbelassenes nicht stückiges Holz, beispielsweise in Form von Sägemehl, Spänen, Schleifstaub oder Rinde und
- Nr. 5a Presslinge aus naturbelassenem Holz in Form von Holzbriketts.

Als naturbelassen wird Holz angesehen, das ausschließlich mechanischer Bearbeitung ausgesetzt war und bei seiner Verwendung nicht mehr als nur unerheblich mit Schadstoffen kontaminiert wurde (§ 2 Nr. 9 der 1. BImSchV).

3. Verfahren zur Untersuchung von Verbrennungsrückständen aus Kleinf Feuerungsanlagen

Im Folgenden werden zwei unterschiedliche Verfahren zur Untersuchung und Beurteilung von Verbrennungsrückständen aus Kleinf Feuerungsanlagen beschrieben. Beide Methoden haben sich aus der Sicht der beteiligten Überwachungsbehörden in der Praxis zum Nachweis eines vermeintlichen Brennstoffmissbrauchs im Rahmen der seit 2006 erfolgten versuchsweisen Anwendung bewährt.

Bei dem vom LLUR, Außenstelle Schleswig in Zusammenarbeit mit dem Institut IGU BIOBAC GmbH, Kiel entwickelten Verfahren (s. Abschnitt 3.1) werden neben der Verbrennungssasche auch die unverbrannten Anteile der Asche, in erster Linie verschweltes Holz, einschließlich der Fremd- und Schadstoffanteile des Holzes (Farbanstriche, Kunststoffbeschichtungen usw.) untersucht. Unter Berücksichtigung des Veraschungsgrades wird dann auf die Schadstoffgehalte des eingesetzten Brennmaterials zurückgerechnet. Die Bewertung erfolgt anhand von **Vergleichswerten für naturbelassenes Holz**.

Das Verfahren der Freien und Hansestadt Hamburg, Institut für Hygiene und Umwelt (s. Abschnitt 3.2), verfolgt einen anderen Ansatz: die aus den Feuerungsanlagen entnommenen Aschen werden von den unverbrannten Anteilen sowie allen Fremdbestandteilen befreit. Zur Untersuchung gelangt die gesiebte Ascheprobe. Die Bewertung der Ergebnisse im Hinblick auf einen Brennstoffmissbrauch erfolgt über die **Vergleichsdaten von Aschen naturbelassener Hölzer**.

Durch Vergleichsuntersuchungen an zahlreichen Proben wurden die beiden Verfahren miteinander verglichen. Im Hinblick auf den Nachweis eines Brennstoffmissbrauchs ergab sich eine sehr gute Übereinstimmung (siehe Kapitel 4).

3.1 Untersuchung von Verbrennungsrückständen aus Kleinf Feuerungsanlagen und Bewertung der Ergebnisse anhand von Vergleichswerten für Holz

3.1.1 Probenahme und Probenauswahl

Zwischen Anfang 2006 und Frühjahr 2008 hatte das Staatliche Umweltamt in Schleswig (jetzt LLUR, Außenstelle Schleswig) insgesamt 31 Tischlereibetriebe aufgesucht und 37 Ascheproben zur Überprüfung eines eventuellen Brennstoffmissbrauchs entnommen. Ferner wurden vier Proben in einem Kfz - Betrieb und eine Probe in einer Gärtnerei gezogen. Somit wurden insgesamt 42 Ascheproben untersucht.

Die Ascheproben wurden vom Mitarbeiter des Staatlichen Umweltamtes Schleswig aus dem Brenn- und Ascheraum entnommen. Soweit vorhanden, wurden auch die noch nicht verbrannten bzw. verschwelten Holz- oder Fremdbestandteile beprobt. Vor Ort wurden jeweils zwei Probengefäße befüllt und versiegelt. Eine der beiden Proben wird als Rückstellprobe für eventuelle spätere Vergleichsuntersuchungen im Untersuchungslabor aufbewahrt.

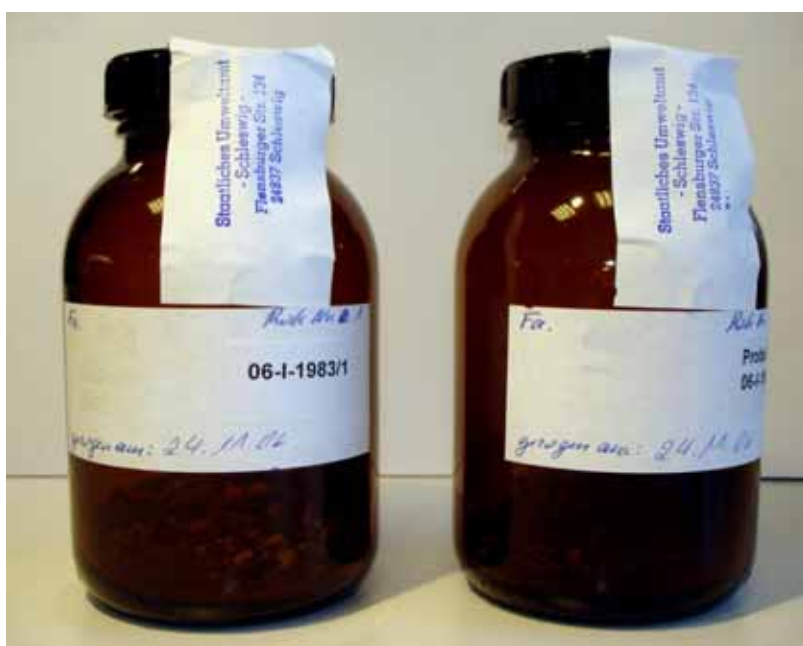


Abbildung 2: Probengefäße

3.1.2 Visuelle Prüfung

Im Labor wurden die Proben zunächst unter einem Binokular bei 5 - 10 facher Vergrößerung visuell begutachtet und fotografiert.

Aschebeimengungen wie Nägel, Beschläge, Kunststoffteile und Farbreste waren visuell sehr gut erkennbar. Zudem war unter dem Binokular sicher feststellbar, inwieweit schichtverleimtes Holz, Spanplatten oder auch gestrichene, mit Kunststoff beschichtete oder behandelte Hölzer als Brennmaterial eingesetzt wurden. Weitere Rückschlüsse auf einen möglichen Brennstoffmissbrauch lassen sich anhand der allgemeinen Beschaffenheit (Farbe, Flocke, Konsistenz) der Asche treffen. So deuten beispielsweise besonders großflockige, vielfarbige, d.h. sog. „Bunte Aschen“ sicher auf einen Brennstoffmissbrauch hin (Abb. 3 - 4).



Abbildung 3: Brennstoffmissbrauch



Abbildung. 4: Brennstoffmissbrauch

3.1.3 Probenaufbereitung und chemische Untersuchung

Im Anschluss an die visuelle Begutachtung wurden die Proben zur chemischen Untersuchung mechanisch aufbereitet. Alle Fremdbestandteile, die nicht in unmittelbarem Zusammenhang mit einem vermeintlichen Brennstoffmissbrauch zu sehen sind, wurden aussortiert. Hierzu zählten beispielsweise Nägel und Beschläge. Eventuell vorhandene unverbrannte bzw. verschwelte Hölzer, inkl. anhaftender Farben oder Beschichtungen wurden hingegen nicht aussortiert, sondern der Analytik zugeführt. Nach der Vorsortierung wurden die Proben homogenisiert und analysenfein gemahlen.

In der fein gemahlene Probe wurden die in der Tab. 1 aufgeführten Parameter bestimmt. Zur Bewertung wurden bei den hier untersuchten Proben ausschließlich anorganische Schadstoffkomponenten (Metalle / Schwermetalle) herangezogen.

Die in ausgewählten Proben zusätzlich analysierten organischen Schadstoffgrößen (Lindan, Pentachlorphenol u.a.) werden im vorliegenden Bericht nicht diskutiert.

Tabelle 1: Untersuchungsparameter und -methoden

Parameter	Methode
Trockenrückstand / Wassergehalt	DIN ISO 11465
organischer Kohlenstoff (TOC)	DIN ISO 10694
Arsen	DIN EN ISO 11885 E22 (im Königswasseraufschluss)
Blei	
Cadmium	
Chrom	
Kupfer	
Nickel	
Titan	
Zink	
Königswasseraufschluss	DIN 38414 S7

Wie eingangs beschrieben, werden bei diesem Verfahren die in der Asche gemessenen Metall- und Schwermetallgehalte auf das eingesetzte Brennmaterial zurückgerechnet. Da die Aschen in der Praxis unterschiedlich hohe Gehalte an nicht verbranntem oder nur verschweltem Holz enthielten, muss bei der Berechnung der Veraschungsgrad der Probe berücksichtigt werden.

Die Bestimmung des Veraschungsgrades erfolgt anhand des organischen Kohlenstoffs (TOC).

In vollständig veraschten Proben liegt der organische Kohlenstoffgehalt unterhalb von 0,5 Gew. %; unverbranntes Holz weist einen Kohlenstoffgehalt von ca. 50 Gew. % auf. In den hier untersuchten Proben lag der aus dem organischen Kohlenstoff berechnete Veraschungsgrad zwischen ca. 50 und 99 %. Die Abb. 5 - 7 zeigen Proben mit unterschiedlichen Veraschungsgraden.



Abbildung 5: Veraschungsgrad 49 %



Abbildung 6: Veraschungsgrad 76 %



Abbildung 7: Veraschungsgrad 99 %

3.1.4 Ergebnisse und Bewertung

Die Untersuchungsergebnisse der 42 untersuchten Proben sind im Anhang 1 zusammenfassend dargestellt.

Der Anhang 1 enthält Angaben zur allgemeinen Beschaffenheit (visuelle Begutachtung) sowie zu den Metall- und Schwermetallgehalten der Asche, inkl. der unverbrannten / verschwelenen Anteile. Neben den Aschegehalten finden sich die rechnerisch ermittelten Schadstoffgehalte des eingesetzten Brennmaterials, die über den Veraschungsgrad zurückgerechnet wurden. Diese rechnerisch ermittelten Werte wurden letztendlich zur Bewertung eines vermeintlichen Brennstoffmissbrauchs herangezogen, in dem diese den Orientierungswerten für naturbelassenes Holz (Tab. 2) gegenübergestellt wurden.

Tabelle 2: Orientierungswerte für naturbelassenes Holz (max. Konzentrationsniveau in mg/kg TS)

Arsen (As)	Blei (Pb)	Cadmium (Cd)	Chrom (Cr)	Kupfer (Cu)	Nickel (Ni)	Titan (Ti)	Zink (Zn)
2	20	2	20	20	10	10	200

Die in der Tab. 2 aufgeführten Orientierungswerte stellen für die untersuchten Metalle und Schwermetalle ein Konzentrationsniveau dar, das nach Angaben zahlreicher öffentlicher und privater Quellen in naturbelassenem Holz nicht überschritten wird. Somit sind Überschreitungen der angeführten Orientierungswerte ein Indiz dafür, dass nicht ausschließlich naturbelassenes Holz als Brennmaterial eingesetzt wurde.

Die Untersuchung und Bewertung von 42 Ascheproben ergab zusammenfassend das folgende Ergebnis (s. Tab. 3 und Anhang 1):

- in 35 Ascheproben wurden eine oder mehrere Überschreitungen der o.g. Orientierungswerte nachgewiesen; weitere 5 Proben waren aufgrund der visuellen Prüfung zu beanstanden,
- in den zu beanständigenden Proben traten im Hinblick auf die Überschreitung der o.g. Orientierungswerte zumeist Mehrfachüberschreitungen auf, d.h. gleich mehrere Schwermetallgehalte lagen oberhalb der Orientierungswerte,
- als **besonders geeignete Nachweisparameter** haben sich Titan, Blei, Chrom und Kupfer erwiesen,
- die häufigsten Überschreitungen ergaben sich für das Titan; von 17 Proben (Titan wurde nicht in allen 42 Proben gemessen) waren 15 Proben (= 88 %) auffällig und
- alle „chemisch auffälligen“ Aschen waren auch visuell zu beanstanden (100 % ige Übereinstimmung).

Tabelle 3: Metall- und Schwermetallgehalte in Brennstoffen aus 42 Kleinfeuerungsanlagen (über den Veraschungsgrad rechnerisch ermittelte Brennstoffgehalte in mg/kg TS)

	As	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Ti	Zn
Proben, ges. (n)	42	42	42	42	42	42	17	42
min. Gehalt	0,02	0,07	< 0,01	0,13	0,43	0,09	8,4	1,4
max. Gehalt	18	3575	12	781	837	48	7633	4675
Überschreitungen (n)	9	25	3	17	24	7	15	20
Überschreitungen (%)	21	60	7	40	57	17	88	48

3.2. Untersuchung von Verbrennungsrückständen aus Kleinf Feuerungsanlagen und Bewertung der Ergebnisse anhand von Vergleichswerten für Aschen

3.2.1 Probenauswahl, Vorbereitung und Analytik

Durch das Institut für Hygiene und Umwelt Hamburg wurden 47 Aschen aus Kleinf Feuerungsanlagen von Tischlereien, Gärtnereibetrieben, Werkstätten und Privathaushalten untersucht. 33 dieser Proben wurden von Betriebsüberwachern oder der Umweltpolizei angeliefert, hier handelte es sich überwiegend um „verdächtige Aschen“. Sie fielen durch holzfremde Beimengungen auf und häufig war es beim Verfeuern zu Geruchsbelästigungen in der Nachbarschaft gekommen. Die anderen 14 Aschen stammen aus privaten Kaminöfen, in denen naturbelassenes Holz aus eigenen Gärten verbrannt wurde (Fichte, Buche, Birke, Knickholz, Mischholz u.s.w. mit unterschiedlichem Rindenanteil).

Der visuelle Eindruck der Aschen erwies sich als sehr aussagekräftig. Beimengungen wie Reste an Farbpartikeln, Beschichtungen, verleimtes oder behandeltes Holz, Zement, Metalle u.s.w. wurden daher dokumentiert. Nach dem Sieben auf < 2 mm wurde das Feinmaterial untersucht. Es wurde auf Elemente analysiert, die den Einsatz von belastetem Altholz bei der Verbrennung möglichst gut belegen können und einfach und sicher zu bestimmen sind: Arsen, Chrom, Kupfer und Bor überwiegend aus Holzschutzmitteln sowie Blei, Cadmium, Nickel, Zink und Titan aus Farbpigmenten und Chlorid aus Härtern oder als Rückstand chlororganischer Substanzen.

Da die Trockenrückstände der gesiebten Aschen sehr einheitlich bei > 99 % lagen, ist der Bezug auf die Originalsubstanz für eine Bewertung ausreichend. Auf die Untersuchung von PAK aus teerölbehandelten Hölzern sowie von chlororganischen Altholzschadstoffen (PCP, HCH oder PCB) wurde wegen des analytischen Aufwandes bei gleichzeitig geringer Aussagekraft der Befunde für die gesiebte Aschefraktion verzichtet.

Nach einem Königswasseraufschluss wurden die Elemente As, Pb, B, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn und Ti spektrometrisch mit dem ICP-OES (Jobin Yvon, JY70C bzw. Ultima 2C) quantifiziert. Die Messung von Chlorid erfolgte ionenchromatographisch (Metrohm 761 Compact IC) aus dem wässrigen Auszug der Ascheprobe.

Tabelle 4: Untersuchungsparameter und -methoden

Parameter	Methode
Königswasseraufschluss	DIN 38414-S7 / DIN ISO 11466
Elution	DIN 38414-S4
Arsen	DIN EN ISO 11885 (ICP-OES)
Blei	
Bor	
Cadmium	
Chrom	
Kupfer	
Nickel	
Titan	
Zink	
Chlorid	

3.2.2 Aschen aus naturbelassenem Holz

In Anhang 2 sind die Analysenergebnisse für die 14 „Naturholzaschen“ zusammengestellt, sie beinhalten die Untersuchungen aus HU, 2006. Zum Vergleich sind in Anhang 4 Daten aus der Literatur wiedergegeben. Die genannten Wertespanssen sollen einen Eindruck über die mögliche Bandbreite von „Hintergrundgehalten“ vermitteln. Dabei ist zu beachten, dass einzelne Ausreißerwerte die Spannen prägen können. Sowohl die Untersuchungs- als auch die Literaturdaten machen deutlich, dass die Gehalte einiger Elemente relativ stark streuen können. Bereits das Verbrennen von „reinem“ Holz kann in Einzelfällen zu nennenswerten Befunden an Schadelementen im Ascherückstand führen. Dies muss bei der Bewertung von Ascheanalysen hinsichtlich eines Brennstoffmissbrauchs berücksichtigt werden.

Eine Abschätzung der Schadstoffgehalte in Holzaschen lässt sich auch auf der Basis von Daten für das Holz vornehmen. Bei dieser Herangehensweise ergeben sich aus der natürlichen Wertespanne für Holz (s. BUG, 2002) ebenfalls z. T. beträchtliche „Hintergrundbelastungen“ von Holzaschen (s. HU, 2006). Bei den leichter flüchtigen Elementen Arsen, Cadmium, Zink und Chlorid führt der Brennvorgang zu nennenswerten „Verlusten“ im Ascherückstand.

Auf der Grundlage der beschriebenen Bandbreite für natürliche Holzaschebelastungen wurden Orientierungswerte abgeleitet, bei deren Überschreiten sicher auf ein Zumischen von behandeltem Holz bzw. von holzfremden Materialien zu schließen ist (s. Tab. 5). Die Anwendbarkeit der Werte wurde durch die Untersuchung unbekannter Aschen geprüft

(s. Kap. 3.2.3) und abschließend durch Parallelmessungen mit der Vorgehensweise des LLUR, Außenstelle Schleswig abgeglichen (s. Kap. 4).

3.2.3 Bewertung von Aschen aus Kleinfeuerungsanlagen

Die im Folgenden betrachteten Aschen sind "Verdachtsproben" und stammen aus Kleinfeuerungsanlagen von Tischlereien, Gärtnereien, Werkstätten und Privathaushalten. Die meisten der Aschen enthielten Beimengungen wie Farb- oder Beschichtungsreste, Metalle, Zement, Verbundholzreste, was auf das Mitverfeuern behandelter Althölzer hindeutet. In Anhang 3 sind die Analysenergebnisse für die Aschen zusammengestellt.

Ein Vergleich dieser Daten mit den Orientierungswerten zeigt, dass viele Schadelementgehalte deutlich darüber liegen, visuelle und analytische Befunde korrelieren dabei sehr gut. Die Proben 44 - 47 der Tabelle sind sowohl optisch als auch analytisch unauffällig. Besonders häufig sind Belastungen an Blei, Chrom, Kupfer, Zink, Titan und Chlorid. Vor allem die Farbpigmentelemente (Blei, Zink und Titan) erweisen sich als besonders aussagekräftige Parameter. Der Aschebefund für das allgegenwärtige druckimprägnierte Holz (Probe 39) macht die Bedeutung von Chrom und Kupfer als Analysenparameter deutlich. Aber auch die weniger häufig nachgewiesenen Verunreinigungen durch Arsen, Cadmium und Nickel tragen zur Absicherung der Ergebnisse bei. Lediglich die Borgehalte sind wenig ausschlaggebend.

Dass diese untersuchten Proben aus dem praktischen Vollzug nur eine kleine Auswahl möglicher Belastungen widerspiegeln, zeigen Literaturdaten von Aschen behandelter Hölzer. Der Nachweis von 337 mg/kg an Cadmium in der Asche einer Kunststoffprobe (LUA NRW, 2002) oder von 30.300 mg/kg an Bor in der Asche einer mit Borsalz imprägnierten Holzprobe (POHLANDT et al., 1993) veranschaulicht, dass in Einzelfällen auch ganz andere Gehalte auftreten können.

Aus Literaturdaten und den eigenen Untersuchungsergebnissen lässt sich schließen, dass das Mitverfeuern von behandeltem Holz oder holzfremder Beimengungen im Allgemeinen zu so auffälligen Aschebelastungen führt, dass sie bei einem Vergleich mit Schadelementgehalten natürlicher Holzaschen trotz deren Bandbreite gut erkennbar sind.

Es zeigt sich, dass sich fast immer mehrere dieser Elemente in den Aschen angereichert haben. Die Orientierungswerte erweisen sich bei einer umfassenden Parameterauswahl als gut geeignet, Aschen behandelter Hölzer sicher zu erkennen.

3.2.4 Vorgehen bei der Untersuchung und Bewertung von Aschen aus Kleinfeuerungsanlagen auf der Basis von Orientierungswerten für Holzaschen

- Da der visuelle Eindruck eines Ascherückstandes sehr aussagekräftig hinsichtlich eines Brennstoffmissbrauchs ist, müssen die holzfremden Beimengungen wie Farbrückstände, Metalle u.s.w., aber auch Reste verleimter Hölzer dokumentiert werden.
- Die chemische Analyse dient der Absicherung eines Verdachts. Sie wird an der auf < 2 mm gesiebten Asche durchgeführt, d.h. am weitestgehend ausgebrannten Material.
- Analysen auf die Parameter Blei, Zink und Titan haben sich als besonders aussagekräftig herausgestellt. Chrom-, Kupfer- und Chloridbelastungen wurden ebenfalls häufig nachgewiesen. Aber auch die Elemente Arsen, Cadmium und Nickel tragen zur Absicherung der Ergebnisse bei. Sie sind i.A. in den Standard-Analysepaketen von Laboratorien enthalten. Die Bestimmung des Trockenrückstandes ist i. A. nicht nötig. Die Untersuchung der Asche-
feinfraktion auf organische Schadstoffe (PAK, PCP, PCB u.s.w.) ist in den meisten Fällen nicht sinnvoll.

Für eine Bewertung der Analysenergebnisse werden die in Tab. 5 genannten Orientierungswerte herangezogen. Sie wurden auf der Grundlage eigener Untersuchungen sowie nach Auswertung von Literaturdaten festgelegt. Die Werte sind nicht für Kohle- oder Brikettaschen geeignet¹, d.h. bei einem hohen Anteil an Kohle oder Brikett im Brennmaterial können die u.a. Orientierungswerte nicht zur Bewertung herangezogen werden.

Tabelle 5: Orientierungswerte für Holzaschen aus Kleinfeuerungsanlagen (in mg/kg OS)

Arsen (As)	Blei (Pb)	Cadmium (Cd)	Chrom (Cr)	Kupfer (Cu)	Nickel (Ni)	Zink (Zn)	Titan (Ti)	Chlorid (Cl)
30	200	10	400	600	200	2000	500	4000

- In naturbelassenen Hölzern und deren Aschen können die Gehalte der aufgeführten Elemente sehr unterschiedlich sein. Das wurde bei der Ableitung der Orientierungswerte berücksichtigt. Letztlich können vereinzelt natürliche Ausreißerwerte nicht vollständig ausgeschlossen werden.

- Die Art der Holzbehandlung ist vielfältig und damit auch die Schadstoffpalette. Aus diesen Gründen sollten in Ascheuntersuchungen zum Nachweis von Brennstoffmissbrauch möglichst viele der in Tab. 5 genannten Elemente einbezogen werden. Auf einer solchen Basis lässt sich eine Holzasche sicher beurteilen.

¹Das Verbrennen von Briketts oder Kohle kann zu höheren Gehalten einzelner Elemente führen. Durch Abklärung vor Ort und visuelle Beurteilung der Asche sollte eine Fehlinterpretation zu vermeiden sein (HU, 2006).

4. Ergebnisse von Paralleluntersuchungen und Schlussfolgerungen

An insgesamt 16 Ascheproben (14 Tischlerei- und 2 Kfz - Betriebe) wurden Paralleluntersuchungen vorgenommen, d.h. es wurde überprüft, ob die beiden vorgestellten Untersuchungsverfahren im Hinblick auf den Nachweis eines Brennstoffmissbrauchs vergleichbare Ergebnisse liefern. Die Paralleluntersuchungen ergaben im Hinblick auf die Endbewertung (Brennstoffmissbrauch ja oder nein) eine sehr gute Übereinstimmung (s. Anhang 5). Somit liegen zwei geeignete Untersuchungsverfahren zum Nachweis eines Brennstoffmissbrauchs vor.

Obwohl die Paralleluntersuchungen vergleichbare Ergebnisse lieferten, ergeben sich in der Praxis - je nach Veraschungsgrad und zu erwartenden Schadstoffkomponenten - Vorteile für das eine oder andere Verfahren. Bei der Beurteilung des Brennstoffmissbrauchs anhand von anorganischen Schadstoffkomponenten ist es vorteilhaft, wenn die Untersuchungs- und die Bewertungsmatrix identisch sind.

Da beim Verfahren, das bei der Außenstelle Schleswig des LLUR zur Anwendung kommt, die Beurteilung über die rechnerisch ermittelten Gehalte für den unverbrannten Brennstoff erfolgt, sollte dies Verfahren immer dann herangezogen werden, wenn in der Asche viele unverbrannte und verschwelte Holzanteile vorhanden sind, d.h. **die Beurteilungsmatrix der eingesetzte Brennstoff** ist. Der Veraschungsgrad ist bei diesen Proben gering.

Mit zunehmender oder vollständiger Veraschung, d.h. bei einem hohen Veraschungsgrad, ist das Nachweisverfahren des Instituts für Hygiene und Umwelt anzuwenden, da hier **die Beurteilungsmatrix die Asche** ist.

Die hier beschriebenen Vorgehensweisen bei der Untersuchung und Beurteilung von Verbrennungsrückständen haben sich in der Praxis bereits bewährt. In begründeten Verdachtsfällen können somit Proben aus den betreffenden Feuerungsanlagen entnommen, auf die genannten Analysenparameter untersucht, anhand der vorgegebenen Orientierungswerten beurteilt und ggf. Verfahren eingeleitet werden. Bei der Außenstelle Schleswig des LLUR gehören die Untersuchungen inzwischen zur gängigen Verwaltungspraxis, in Hamburg wurden erste Erfahrungen gesammelt.

Der vorliegende Erfahrungsbericht beschreibt somit **eine** fachlich fundierte Vorgehensweise, die ein einheitliches und gerichtsfestes Handeln bei der Bekämpfung von Brennstoffmissbrauch in Kleinfeuerungsanlagen ermöglichen kann.

5. Literaturverzeichnis

Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 26.09.2002 (BGBl. I S. 3830), zuletzt geändert durch Gesetz vom 23.10. 2007 (BGBl. I S. 2470)

Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen – 1. BImSchV) in der Fassung der Bekanntmachung vom 14.03.1997 (BGBl. I S. 490), zuletzt geändert durch Verordnung vom 14.08.2003 (BGBl. I S. 1614, 1631)

EMPA, 2000 „Emissionen und Stoffflüsse von (Rest-) Holzfeuerungen“,
EMPA-Bericht Nr. 880 002/1, Dübendorf, Schweiz

BUG, 2002 „Schadstoffe in Altholz“ Hamburger Umweltbericht 62/02,
Behörde für Umwelt- und Gesundheit, Hamburg

HU, 2006 „Untersuchung von Holzaschen aus Kleinfeuerungsanlagen, Erkennen von Brennstoffmissbrauch, Institut für Hygiene und Umwelt, Hamburg

LUA NRW, 2002 „Aussagefähigkeit des EMPA-Ascheschnelltests zum Nachweis von Brennstoffmissbrauch bei Kleinfeuerungsanlagen“, Abschlußbericht, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen

NOGER, D. und E. PLETSCHER, 2000 „Der EMPA-Ascheschnelltest“, Müll und Abfall 3,
S. 126 – 137

OBERBERGER, I., 1994 „Mengen, Charakteristik und Zusammensetzung von Aschen aus Biomasseheizwerken“ in: „Sekundärrohstoff Holzasche“, Tagungsband zum Symposium in Graz

OBERBERGER, I., „Aschen aus Biomassefeuerungen – Zusammensetzung und Verwertung“
In: VDI-Bericht 1319 „Thermische Biomassenutzung – Technik und Realisierung“,
VDI-Verlag Düsseldorf

POHLAND, K. , M. STRECKER und R. MARUTZKY, 1993 „Ash from the combustion of wood treated with inorganic wood preservatives: Element composition and leaching“,
Chemosphere, Vol. 26, Nr. 12, S. 2121-2128

POHLAND, K., 1994 "Zusammensetzung, Verwertung und Entsorgung von mineralischen Rückständen aus der Verbrennung unbehandelter und behandelter Hölzer", Dissertation, TU Braunschweig

POHLAND, K., 1996 „Entsorgung von Holzaschen“ aus: Alt- und Restholz, VDI-Verlag, Hrg. Landesumweltamt NRW, S. 191-204

UECKERT, G.R. METTE und B. SATTELMACHER, 2002 „Einsatz von Holzaschen in der Landwirtschaft“, Mitteil. der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft, Band 98, S. 71 – 72

STAHL, E., P. DOETSCH, 2008 „Qualität und Verwertungsmöglichkeiten von Holzaschen aus naturbelassenen Hölzern“, Umweltwiss. Schadst. Forsch. 20, S. 290-298

6. Anhang

Anhang 1 Untersuchungsergebnisse für Verdachtsaschen sowie rechnerisch ermittelte Gehalte für die eingesetzten Brennstoffe

Anhang 2 Untersuchungsergebnisse für Aschen von naturbelassenen Hölzern

Anhang 3 Untersuchungsergebnisse für Verdachtsaschen

Anhang 4 Literaturdaten für Aschen naturbelassener Hölzer

Anhang 5 Ergebnisvergleich Verfahren LLUR, Außenstelle Schleswig in Zusammenarbeit mit IGU BIOBAC - Institut für Hygiene und Umwelt

Anhang 6 Ablaufschema Aschenuntersuchung

Anhang 7 Probennahmeprotokoll

Anhang 1: Untersuchungsergebnisse für Verdachtsaschen (mg/kgTS) sowie rechnerisch ermittelte Gehalte für die eingesetzten Brennstoffe

		Asche	Asche	Brenn- stoff	Asche	Brenn- stoff	Asche	Brenn- stoff	Asche	Brenn- stoff	Asche	Brenn- stoff	Asche	Brenn- stoff	Asche	Brenn- stoff	Asche	Brenn- stoff	Brennstoff- missbrauch
Nr.	Beimengungen	TOC	As	As	Pb	Pb	Cd	Cd	Cr	Cr	Cu	Cu	Ni	Ni	Ti	Ti	Zn	Zn	
1	Farbpartikel	10,9	3,4	0,76	470	104	2,4	0,53	278	62	270	60	159	36	-	-	962	214	ja
2	Farbpartikel, Kunststoff, Spanplatte	11,4	2,8	0,64	2010	468	4,40	1,02	108	26	175	40	56	13,0	-	-	6930	1612	ja
3	Farbpartikel	23,2	3,4	1,60	363	172	24,0	11,60	116	56,0	126	60	29	13,8	-	-	3480	1658	ja
4	auffallend "leichte" Flo- cken, sehr hell	2,9	3,9	0,23	58	4	0,58	0,03	167	10	328	20	17	2,0	-	-	428	26	nur visuell auffällig
5	sehr feine Asche, einige kleine Farbpartikel	2,4	0,7	0,04	233	11	1,7	0,09	136	6,6	368	18	145	7,2	-	-	6520	320	ja
6	sehr feine Asche keine Auffälligkeiten	1,5	5,9	0,18	33	2	5,3	0,16	179	6,0	626	20	89	2,0	-	-	704	22	nein
7	Farbpartikel, Kunststoff, Spanplatte, Nägel	24,2	6,9	3,5	142	71	1,1	0,55	192	96	323	162	22	11	-	-	1210	605	ja
8	Farbpartikel, Kunststoff, Spanplatte, Aluminium, schichtverleimtes Holz	6,8	11	1,50	502	70	3,2	0,44	165	23	767	107	84	12	-	-	3960	550	ja
9	Farbpartikel, Kunststoff- beschichtungen	2,2	9,2	0,41	147	6,6	2,7	0,12	67	3,0	124	5,6	21	0,95	-	-	2340	105	nur visuell auffällig
10	Kunststoffe, schicht- verleimtes Holz, Nägel	13,0	6,0	1,6	29	7,6	2,8	0,74	39	10	126	33	19	4,9	-	-	3060	805	ja
11	Farbpartikel, Kunststoff- beschichtungen	6,7	7,0	0,96	11000	1507	6,2	0,85	5700	781	6110	837	32	4,4	-	-	13200	1808	ja
12	Kunststoffbeschichtun- gen, Papier, Pappe, Farbpartikel	2,2	6,1	0,28	1180	53	< 1	< 0,04	1470	66	87	39	21	0,95	-	-	4210	189	Ja
13	Farbpartikel, Polyuretan- schaum	1,3	4,5	0,12	572	15	3,6	0,09	78	2,1	315	8,4	20	0,53	-	-	1780	47	nur visuell auffällig
14	Farbpartikel, schichtver- leimtes Holz	3,5	4,5	0,32	600	43	2,1	0,15	295	21	160	11	32	2,3	-	-	2930	209	ja

		Asche	Asche	Brenn- stoff	Asche	Brenn- stoff	Asche	Brenn- stoff	Asche	Brenn- stoff	Asche	Brenn- stoff	Asche	Brenn- stoff	Asche	Brenn- stoff	Asche	Brenn- stoff	Brennstoff- missbrauch
Nr.	Beimengungen	TOC	As	As	Pb	Pb	Cd	Cd	Cr	Cr	Cu	Cu	Ni	Ni	Ti	Ti	Zn	Zn	
15	atypisches Aschebild (ähnlich A-Kohle)	11,0	78	18	1270	295	2,8	0,65	78	18	1140	265	33	7,7	-	-	3320	772	ja
16	Farbpartikel	4,9	3,8	0,38	277	28	1,4	0,14	354	35	1140	114	475	48	-	-	8990	899	ja
17	Kunststoff, Farbpartikel	2,9	2,5	0,15	731	44	7,7	0,46	65	3,9	283	17	36	2,2	-	-	1580	95	ja
18	Farbpartikel	2,9	49	1,3	38	1,0	1,6	0,04	181	4,8	535	14	25	0,66	-	-	440	12	nur visuell auffällig
19	Farbpartikel, Kunststoffe	4,8	142	14	303	30	< 1	< 0,1	333	31	406	40	40	3,9	-	-	8030	787	ja
20	Farbpartikel, Kunststoffe, Spanplatte	19,7	25	10	271	108	4,7	1,9	83	33	278	111	24	9,6	-	-	1320	528	ja
21	Farbpartikel, Kunststoffe	9,1	6,0	1,1	361	69	1,8	0,33	66	12	729	135	46	8,6	-	-	6634	1229	ja
22	Farbpartikel, Kunststoffe	< 0,5	2,2	0,02	7,1	0,07	< 1	< 0,01	13	0,13	42	0,43	8,7	0,09	-	-	136	1,4	nur visuell auffällig
23	Farbpartikel, Kunststoffe, viele Nägel	2,3	32	1,5	2530	121	1,3	0,06	160	7,6	394	19	32	1,5	-	-	6410	305	ja
24	atypische schwarze Farbe, rußartige, ölige, klebrige Konsistenz	24,1	2,7	1,4	181	91	16	8,0	167	84	422	211	28	14	-	-	1090	545	ja
25	Farbpartikel	3,6	49	3,6	1930	142	2,4	0,18	153	11	223	16	19	1,4	-	-	508	37	ja
26	Kunststoff, Nägel, unbekannte Verklumpun- gen	1,3	3,4	0,09	251	6,6	< 1	< 0,03	28	0,74	73	1,9	12	0,32	733	19	198	5,2	ja
27	unbekannte Verklumpun- gen	< 0,50	2,6	0,03	27	0,28	< 1	< 0,01	20	0,20	72	0,74	10	0,10	822	8,4	244	2,5	nein
28	viele Farbpartikel, silbrige Metallteilchen, geschmol- zenes Metall	11,6	10	2,5	14300	3575	7,4	1,9	109	27	349	87	61*)	15	6733	1683	18700 *)	4675	Ja
29	Farbpartikel, schichtverleimtes Holz	5,3	3,4	0,38	2460	273	2,9	0,32	172	19	622	69	28	3,0	4290	466	3880	431	ja

		Asche	Asche	Brenn- stoff	Asche	Brenn- stoff	Asche	Brenn- stoff	Asche	Brenn- stoff	Asche	Brenn- stoff	Asche	Brenn- stoff	Asche	Brenn- stoff	Asche	Brenn- stoff	Brennstoff- missbrauch
Nr.	Beimengungen	TOC	As	As	Pb	Pb	Cd	Cd	Cr	Cr	Cu	Cu	Ni	Ni	Ti	Ti	Zn	Zn	
30	Farbpartikel, Kunststoffe, Spanplatte	11,7	6,0	1,4	572	136	5,9	1,4	523	125	814	194	48	11	5410	1288	5770	1374	ja
31	Farbpartikel, Nägel	8,9	31	5,6	34	6,2	< 1	< 0,18	104	19	327	60	8,0	1,5	11100	2018	707	129	ja
32	schwarze Asche mit Farbpartikeln	17,9	4,7	1,7	805	298	2,3	0,90	934	346	574	213	15	5,6	911	337	1225	454	ja
33	großflockige Asche mit Farbpartikeln	16,5	13	4,2	70	23	< 1	< 0,06	85	28	192	64	89	30	22900	7633	768	256	ja
34	Farbpartikel, Kunststoffe, Harze, Spanplatte	16,2	6,3	2,1	1230	410	3,4	1,1	81	27	242	81	25	8,3	17700	5900	12800	4267	ja
35	Farbpartikel	1,0	11	0,23	275	5,6	2,6	< 0,10	123	2,5	1050	21	27	0,50	3780	77	6600	134	ja
36	Farbpartikel	< 0,50	12	0,12	926	9,3	2,0	0,02	517	5,2	659	6,6	152	1,5	2000	20	7430	74	ja
37	"leichte", sehr helle Asche, Farbpartikel	1,8	18	0,67	408	15	1,4	0,05	252	9,3	521	19	26	1,0	411	16	2110	78	ja
38	sehr "leichte", helle Asche, Farbpartikel	1,2	15	0,34	405	9,9	8,7	0,21	753	19	745	18	640	16	8250	202	5480	134	ja
39	Farbpartikel	4,2	6,6	0,56	155	13	2,5	0,21	48	4,1	185	16	37	3,2	247	21	2120	181	ja
40	Farbpartikel, Kunststoffe, Nägel	3,6	19,0	1,40	159	12	1,10	0,08	693	51	950	70	53	3,4	8960	659	962	71	ja
41	schwarze, grobstückige Asche, Farbpartikel	25,0	3,8	1,90	1200	600	5,3	2,70	94	47,0	86	43	12	6,0	615	308	3420	1710	ja
42	Farbpartikel, schichtverleimtes Holz, Nägel, Schrauben	2,8	13	0,74	382	22	< 1	0,05	152	8,7	426	24	33	1,9	237	14	2580	147	ja

*) Messwerte durch Metallteile gestört, Daten wurden zur Bewertung nicht herangezogen

Anhang 2: Untersuchungsergebnisse für Aschen von naturbelassenen Hölzern (mg/kgTM)

Nr.	Brennholz	Feuerungs- anlage	Beimeng.	As	Pb	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni	Zn	B	Ti	Cl
1	Fichte	Außenkamin	keine	11	47	1,3	23	230	<0,2	37	1110	268	216	-
2	Fichte	offener Kamin	keine	<5	<10	3,2	141	229	<0,2	39	1290	308	91	1450
3	Birke	Kaminofen	keine	<5	16	1,4	6	156	<0,2	23	1760	443	200	760
4	Lärche	Kaminofen	keine	6,5	15	1,2	11	187	<0,2	17	799	388	273	830
5	naturbelassenes Holz	nicht bekannt	keine	<5	<10	<0,5	4	134	<0,2	21	161	536	91	410
6	Gartenmischholz	Kaminofen	keine	7	16	1,9	5	212	<0,02	18	1190	399	57	481
7	Zierkirsche, wenig Kiefer	Kaminofen	keine	<5	10	<0,5	138	300	<0,04	16	701	675	101	4590 4110
8	Knickholz	Kaminofen	keine	<5	<10	<0,5	3	129	<0,04	6	175	273	28	567
9	Buche, Birke	Kaminofen	diverse Nägel	<0,5	23	2,2	11	159	<0,04	31	520	450	108	278
10	Buche, wenig Kiefer	Kaminofen	grüne Partikel	<0,5	<10	1,4	6	117	<0,04	32	289	352	60	371
11	Gartenmischholz	Kamin	Nägel	22	16	0,9	173	346	<0,04	30	569	402	135	674
12	Apfelbaum	alter Eisenofen	keine	<0,5	<10	<0,5	4	113	<0,04	10	133	321	59	128
13	Palettenholz	Kaminofen	keine	<2	25	0,6	17	196	<0,02	32	612	355	157	290
14	Gartenmischholz	Kaminofen	keine	<2	4	1,5	4	101	<0,02	32	435	323	63	980

Anhang 3: Untersuchungsergebnisse für Verdachtsaschen (mg/kg OS)

Nr.	Beimengungen	As	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Zn	B	Ti	Cl
15	Nagel, weiße Plättchen	36	1590	4,5	834	854	71	4120	452	3520	10120
16	Holzkohle, Zement, weiße Plättchen	145	1420	2,8	1170	960	38	2730	259	4270	4500
17	Nagel, Holzkohle, Zement, weiße Plättchen	681	1020	4,2	741	1090	39	9720	171	3440	-
18	Glas, Nägel, Draht, Plastik, Holzreste	<5	1320	5,5	355	504	39	3740	2003	4424	4888
19	Holzkohlereste, weiße Farbreste	<0,5	2404	13,8	343	151	40	24397	324	13610	-
20	restliche Holzspäne	6,4	791	13,1	648	483	33	2904	178	5384	4320
21	Steine	301	11	<0,5	2777	746	4	361	92	278	1290
22	Zement, Nägel, Schrauben, Steine	<5	21	1,2	1120	1110	16	688	466	417	230
23	weiße Plättchen	6,8	199	<0,5	267	360	52	872	315	9364	675
24	weiße Plättchen, Steine, Nägel, Metallklammern	23	861	2,2	479	1605	81	4100	264	3280	5854
25	Nägel, weiße Farbpartikel, Fadenreste?	5,8	36	3,4	49	167	25	1020	188	560	4890
26	Glas, Metallplättchen, viele weiße Farbpartikel	7	1730	2,5	753	117	33	4350	397	12600	8500
27	Schraub., Nägel, geschmolz. Metall, Zem., Farbpart.	3,9	12900	7,2	5440	5790	30	3750	304	5830	3360
28	Schraub., Papierreste, Mineralwolle?, weiße Farbpart.	3,3	498	4,1	5,4	239	21	5870	200	3500	10500
29	sehr viele weiße Farbpartikel, Beschichtungen?	40,2	36	1,5	376	610	26	771	500	2940	1080
30	Nägel, viele Metallspäne, wenig Farbpartikel	12,9	3600	3,1	99	532	35	4320	435	2790	4600
31	viele weiße Farbpartikel, Fensterkitt?	5,3	386	2,1	310	337	470	6870	347	9460	5620

Nr.	Beimengungen	As	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Zn	B	Ti	Cl
32	Holzspäne, Isolierbandreste, Farbpartikel	85,9	1290	3,7	43	294	31	4930	371	5050	800
33	Metallspäne, Zementreste?, bunte Farbpartikel	4,2	541	2,0	162	198	25	2680	371	7900	13000
34	Steine, wenig Farbpart., Schraube, geschmolz. Metall	16,4	574	4,5	192	1250	138	8080	120	2590	4750
35	Spanplattenreste?, sehr viele Farbpartikel	24	12000	8,2	262	434	178	52100	188	13200	9040
36	Scharnier, Schlacke?, Schraube, Farbpart.	2,8	1650	7,7	145	476	29	9640	468	2710	9210
37	Schraube, Metall, Verbundholzreste, Farbpartikel	43,4	143	1,4	170	462	15	959	157	14300	1480
38	Metall, Spanplattenreste?, viele weiße Farbpartikel	5,3	172	0,8	106	192	94	1950	983	10100	1560
39	grünliche Asche von drückimprägn. Hölzern	<5	30	1,0	2750	18900	39	282	1120	114	634
40	sehr viele Steine, Zement, Metallreste	<2	276	<0,2	21	49	8	147	73	805	30
41	Nägeln, Glas, Steine, Keramik?	<2	20	0,2	16	32	8	156	48	578	40
42	sauber, sehr wenig weiße Farbpartikel	<2	393	1,0	312	184	7	449	101	803	1640
43	Holzkohlereste	1,5	30	0,6	10	141	12	199	178	121	-
44	keine	<5	20	0,9	5	100	15	642	371	153	445
45	keine	<5	15	0,8	<2	86	27	399	328	60	244
46	keine	5,4	73	<0,5	304	426	40	459	347	88	610
47	keine	<5	<10	<0,5	3	107	13	142	795	42	334
Orientierungswerte		30	200	10	400	600	200	2000	-	500	4000

Anhang 4: Literaturdaten für Aschen naturbelassener Hölzer (mg/kg)

	Grobaschen von Fichten aus Biomasseheizwerken	Kaminofenasche aus Nadelholz	Waldholzasche aus Feuerungsanlagen	Aschen von Knickholz aus Heizwerk	Rost- und Feuer- raum-Aschen aus Stückholzfeuerung(Öfen,Herde)	Rostaschen aus natur- belassenem Holz	Laub- und Nadel- holzaschen aus Öfen u. Kaminen	reine Holzasche (Kleinfeuerungs- anlagen)	Kaminofen- asche aus ver- schiedenen Gartenhölzern
Lit.	1)	2)	3)	4)	5)	6)	7)	8)	9)
n	Mittelwerte		Medianwerte	min – max	min – max	min – max	min – max	min – max	min – max
	8	1	47	2	9	15	29 - 40	-	12
Arsen	4,1	<N.G.	1,5	-	-	8,4 - 10	-	<1 - 35	<5 - 22
Blei	13,6	-	37	13,8/17,9	<1 bis 70	<0,1 - 4,2	<22 - 938**	9 - 450	<10 - 47
Cadmium	1,2	-	3,1	6,3/6,7	-	0,112	<0,4 - 14,3	<1 - 20	<0,5 - 3,2
Chrom	325,5	<N.G.	47	12,9/14,2	10 - 40	13 - 87	<10 - 150	<10 - 592	4 - 173
Kupfer	164,6	216	158	112,9/111,0	90 - 200	95 - 260	91 - 862***	99 - 498	113 - 346
Quecks.	0,01	-	-	-	-	<0,5	-	-	<0,04 - <0,2
Nickel	66	-	50	-	-	20 - 110	-	20 - 250	6 - 39
Zink	432,5	852	391	374,9/663,8	80 - 620	9 - 950	140 - 940****	54 - 1900	133 - 1760
Bor	-	335	-	-	-	-	-	-	268 - 675
Titan	-	-	-	-	-	-	-	-	28 - 273
Chlorid	<100/<600*	-	-	-	<200 - 700	100 - 2000	22 - 1230	33 - 4510	128 - 4350

1) Obernberger, 1994 bzw. 1997; 2) Pohlandt, 1994 (Messungen); 3) Stahl und Doetsch, 2008; 4) Ueckert et al., 2002; 5) Noger und Pletscher, 2000; 6) EMPA, 2000; 7) LUA NRW, 2002; 8) Pohlandt, 1996, 9) HU, 2006

N.G. = Nachweisgrenze; *Späne/Rinde; **90. Perzentil = 236; ***90. Perzentil = 243, ****ohne 11 Birkenaschen mit 2492 – 10550, 90. Perzentil = 3040 mg/kg

Anhang 5: Ergebnisvergleich Verfahren IGU BIOBAC - Institut für Hygiene und Umwelt

Beschreibung	Beschreibung	Asche Brennstoff		Asche Brennstoff		Asche Brennstoff		Asche Brennstoff		Asche Brennstoff		Asche Brennstoff		Asche Brennstoff		Asche Brennstoff		Asche Brennstoff		Brennstoffmissbrauch	
		As mg/kgOS	As mg/kgTS	Pb mg/kgOS	Pb mg/kgTS	Cd mg/kgOS	Cd mg/kgTS	Cr mg/kgOS	Cr mg/kgTS	Cu mg/kgOS	Cu mg/kgTS	Ni mg/kgOS	Ni mg/kgTS	Zn mg/kgOS	Zn mg/kgTS	Ti mg/kgOS	Ti mg/kgTS	Chlorid (Eluat) mg/kgOS	Chlorid (Eluat) mg/kgTS		
der Beimengungen	der Beimengungen																				
Nägel, weiße Farbpartikel, Fadenreste?	Nägel, Kunststoffpartikel, schichtverl. Holz	5,8	1,6	35,6	7,6	3,42	0,74	49	10	167	33	25	4,9	1020	180	560	-	4890	805	ja	nur visuell auffällig
Glas, Metallplättchen, viele weiße Farbpartikel	Kunststoffe, Papier, Pappe, Farbpartikel	7	0,3	1730	53	2,53	0,04	753	66	117	39	33	0,95	4350	189	12600	-	8500	271	ja	ja
Schraub., Nägel, geschmolz. Metall, Zem., Farbpart.	Kunststoffe, Farbpartikel	3,9	0,96	12900	1507	7,21	0,85	5440	781	5790	837	30	4,4	3750	1808	5830	-	3360	234	ja	ja
Schraub., Papierreste, Mineralwolle?, weiße Farbpart.	atypisches Aschebild, leicht, hellgraue Farbe, flockig	3,3	0,12	498	15	4,13	0,09	54	2,1	239	8,4	21	0,53	5870	47	3500	-	10500	88	ja	nur visuell auffällig
sehr viele weiße Farbpartikel, Beschichtungen?	Farbpartikel	40,2	1,3	36,1	1	1,49	0,04	376	4,8	610	14	26	0,66	771	26	2940	-	1080	12	ja	nur visuell auffällig
Nägel, viele Metallspäne, wenig Farbpartikel	Kunststoff, Farbpartikel	12,9	0,15	3600	44	3,12	0,46	99	3,9	532	17	35	2,2	4320	95	2790	-	4600	87	ja	ja
viele weiße Farbpartikel, Fensterkitt?	viele weiße Farbpartikel	5,3	0,38	386	28	2,07	0,14	310	35	337	114	470	48	6870	899	9460	-	5620	346	ja	ja
Holzspäne, Isolierbandreste, Farbpartikel	atypisches Aschebild (A-Kohle-ähnlich)	85,9	18	1290	295	3,73	0,65	43	18	294	265	31	7,7	4930	772	5050	-	800	61	ja	ja
Metallspäne, Zementreste?, bunte Farbpartikel	schichtverleimtes Holz, Farbpartikel	4,2	0,32	541	43	1,97	0,15	162	21	198	11	25	2,29	2680	209	7900	-	13000	528	ja	ja
Steine, wenig Farbpartikel, Schraube, geschmolz. Metall	schichtverleimtes Holz, Farbpartikel	16,4	1,5	574	70	4,48	0,44	192	23	1250	107	138	12	8080	550	2590	-	4750	489	ja	ja
Spanplattenreste?, sehr viele Farbpartikel	geschmolzenes Metall, Farbpartikel	24	2,5	12000	3575	8,23	1,9	262	27	434	87	178	15	52100	4675	13200	1683	9040	-	ja	ja
Scharnier, Schlacke?, Schraube, Farbpart.	leichte, hellgraue Asche mit Farbpartikeln	2,8	0,38	1650	273	7,65	0,32	145	19	476	69	29	3	9640	431	2710	466	9210	-	ja	ja
Schraube, Metall, Verbundholzreste, Farbpartikel	atyp. "buntes" Aschebild, Nägel, Farbpartikel	43,4	5,6	143	6,2	1,42	0,07	170	19	462	60	15	1,5	959	129	14300	2018	1480	-	ja	ja
Metallreste, Spanplattenreste?, viele weiße Farbpartikel	atypisches "buntes" Aschebild, Farbpartikel	5,3	4,2	172	23	0,8	0,26	106	28	192	64	94	30	1950	256	10100	7633	1560	-	ja	ja
sehr viele Steine, Zement, Metallreste	Nägel, Hartkunststoff, Verklumpungen	<2,0	0,09	276	6,6	<0,20	< 0,03	21	0,74	49	1,9	8	0,32	147	5,2	805	19	30	-	ja	ja
Nägel, Glas, Steine, Keramik?	Verklumpungen	<2,0	0,03	20,1	0,28	0,22	0,01	16	0,2	32	0,74	8	0,1	156	2,5	578	8,4	40	-	Ti: lediglich geringf.	nur visuell auffällig

Überschreitungen der u.g. Orientierungswerte sind rot gekennzeichnet

blaue Felder = Ergebnisse IGU BIOBAC

weiße Felder = Ergebnisse Institut für Hygiene und Umwelt

Orientierungswerte für naturbelassenes Holz (blaue Felder) und für Aschen aus naturbelassenem Holz (weiße Felder)

Asche	Holz	Asche	Holz	Asche	Holz	Asche	Holz	Asche	Holz	Asche	Holz	Asche	Holz	Asche	Holz	Asche	Holz
As	As	Pb	Pb	Cd	Cd	Cr	Cr	Cu	Cu	Ni	Ni	Zn	Zn	Ti	Ti	Chlorid	Chlorid
mg/kgOS	mg/kgTS	mg/kgOS	mg/kgTS	mg/kgOS	mg/kgTS	mg/kgOS	mg/kgTS	mg/kgOS	mg/kgTS	mg/kgOS	mg/kgTS	mg/kgOS	mg/kgTS	mg/kgOS	mg/kgTS	mg/kgOS	mg/kgTS
30	2	200	20	10	2	400	20	600	20	200	10	2000	200	500	10	4000	4000

Anhang 6: Ablaufschema Aschenuntersuchung

Verdacht auf Brennstoffmissbrauch!

- Es gibt Hinweise durch Dritte (Qualm, Geruchsbelästigungen, andere Beobachtungen)?
- Bei einem Kontrollbesuch finden sich im Brennstofflager gestrichene, lackierte, behandelte oder verleimte Hölzer bzw. holzfremde Beimengungen?
- Im Aschekasten oder im Feuerraum lassen sich Reste von Farben oder Beschichtungen, von verleimtem Holz oder holzfremden Materialien erkennen; die Asche ist farblich auffällig?

Lediglich im letzten Fall ist der Brennstoffmissbrauch im Allgemeinen bereits erwiesen, ansonsten empfiehlt sich zur Klärung und Beweissicherung die Entnahme und Untersuchung von Ascherückständen.

Probenahme

- Aus dem Feuerraum oder dem Aschekasten wird von verschiedenen Stellen Asche inkl. nicht vollständig verbrannter Holzreste und holzfremder Beimengungen entnommen und auf 2 Gläser (Analysen- und Rückstellprobe) verteilt.
- Es empfiehlt sich, das Brennstofflager, die Feuerungsanlage und die Asche zu fotografieren.
- Es wird ein Protokoll gefertigt (siehe z.B. das Probenahmeprotokoll im Anhang). Dieses enthält auch eine Beschreibung der Asche und ihrer Beimengungen.

Untersuchung der Proben und Bewertung der Ergebnisse

Eine der Proben wird zur Analyse an ein Labor gegeben, eine als Rückstellprobe aufbewahrt. Je nach Art der Ascherückstände gibt es zwei Wege der Untersuchung und Bewertung:

- der Rückstand enthält nur wenig unverbrannte Holzreste, er besteht überwiegend aus Asche
 - ⇒ Analyse der Asche und Bewertung der Ergebnisse mit Hilfe der Orientierungswerte
 - ⇒ für Holzaschen (s. nächste Seite)
- der Rückstand enthält viele unverbrannte und verschwelte Holzanteile
 - ⇒ Untersuchung der Asche inkl. der Holzreste und Bewertung anhand der
 - ⇒ Orientierungswerte für Holz (s. nächste Seite)

Zu beachten: soll nachgewiesen werden, ob die in die Feuerung gelangten Hölzer durch organische Holzschutzmittel belastet waren, ist dies nur durch die Untersuchung unverbrannter oder verschwelter Holzanteile machbar.

Untersuchung der Aschen

Das Probenmaterial wird im Labor visuell begutachtet (Beschaffenheit der Asche, holzfremde Beimengungen, Reste verleimter Hölzer u.s.w.) und das Ergebnis dokumentiert.

Die auf < 2 mm gesiebte Asche wird homogenisiert und gemahlen. Die Analyse sollte möglichst viele der in der Tabelle genannten Elemente umfassen, mindestens aber Blei, Chrom, Kupfer, Zink und Titan.

Die Ergebnisse werden durch Vergleich mit den Orientierungswerten für Holzaschen beurteilt.

Orientierungswerte für Holzaschen aus Kleinfeuerungsanlagen (mg/kg OS)

Arsen (As)	Blei (Pb)	Cadmium (Cd)	Chrom (Cr)	Kupfer (Cu)	Nickel (Ni)	Zink (Zn)	Titan (Ti)	Chlorid (Cl)
30	200	10	400	600	200	2000	500	4000

(As, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Zn, Ti im Königswasseraufschluss, Cl im S4-Eluat)

Untersuchung von Aschen mit viel Restholzanteil

Das Probenmaterial wird im Labor visuell begutachtet (Beschaffenheit der Asche und der Holzreste, holzfremde Beimengungen u.s.w.) und das Ergebnis dokumentiert. Die unverbrannten und verschwelen Resthölzer ermöglichen sehr gut, unerlaubt in die Feuerung gelangte verleimte oder beschichtete Chargen zu erkennen.

Fremdbestandteile, die nicht in unmittelbarem Zusammenhang mit einem vermeintlichen Brennstoffmissbrauch stehen, werden aussortiert (z.B. Nägel und Beschläge). Das restliche Probenmaterial inkl. der unverbrannten Hölzer wird homogenisiert und gemahlen.

Es werden der Trockenrückstand und der TOC bestimmt sowie möglichst viele der in der Tabelle genannten Elemente mindestens aber Blei, Chrom, Kupfer, Zink und Titan. Der TOC als Maß für den Veraschungsgrad einer Probe ermöglicht die Berechnung der Elementgehalte auf Gehalte in unverbranntem Holz.

Diese Ergebnisse werden durch Vergleich mit den Orientierungswerten für naturbelassenes Holz beurteilt.

Die Proben lassen sich zusätzlich für die Untersuchung auf organische Holzschutzmittel nutzen.

Orientierungswerte für naturbelassenes Holz (mg/kg TS)

Arsen (As)	Blei (Pb)	Cadmium (Cd)	Chrom (Cr)	Kupfer (Cu)	Nickel (Ni)	Titan (Ti)	Zink (Zn)
2	20	2	20	20	10	10	200

(As, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Ti und Zn im Königswasseraufschluss)

Anhang 7:

Probennahmeprotokoll

Allgemeine Angaben

Datum der Probennahme: (Tag, Monat, Jahr)

Anschrift

Name, Vorname:

Straße, Haus-Nr.:

PLZ, Wohnort:

Anlass der Probennahme:

.....

Lagerung des Brennstoffes

Ort der Lagerung:

Keine Aschenprobe erforderlich:

- nur naturbelassenes stückiges Holz

- Presslinge aus naturbelassenem Holz

Aschenprobe erforderlich:

- gestrichenes oder lackiertes Holz

- Sperrholz/Spanplatten/verleimtes Holz

- Holz mit Holzschutzmittel

- Holz aus Abbruch

- anderer Brennstoff

→ Fotos vom gelagerten Brennstoff machen

Feuerungsanlage

Technische Daten (*vom Typenschild übernehmen*)

- Hersteller:
- Typ:
- zugelassen für welchen Brennstoff:
- Baujahr:
- Nennwärmeleistung (kW):

→ *Fotos von der Feuerungsanlage machen*

Ascheprobe: (*zwei Proben, Gläser mit Schraubdeckel*)

Ascheprobe aus dem Aschekasten:

oder

Ascheprobe aus dem Brennraum:

Ascheproben von mehreren Stellen nehmen und möglichst gleichmäßig auf die beiden Probegläser aufteilen

→ *Fotos von der Asche aus dem Aschekasten/Brennraum machen*

Sind Fremdkörper in der Asche vorhanden, z.B. Fensterbeschläge, Scharniere, Kunststoffe, Pappen, Verpackungsmaterial?:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Probegläser mit der Anschrift der Probennahmestelle versehen.

Eventuell die Probegläser versiegeln.

Beide Gläser an ein Labor zur Analyse und Bewertung schicken. **Bewertung der Asche gemäß den Orientierungswerten für Holzaschen.**

Bemerkungen:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Probenehmer:

Material zur Probennahme:

- zwei Probegläser, Etiketten für die Anschrift
- eine kleine Schaufel zur Probeentnahme (Metall oder Porzellan, da die Asche heiß sein kann)
- Fotoapparat

Hinweis:

Es ist sinnvoll, die Probenahme mit zwei Personen durchzuführen (Zeuge).