

Bewertung von  
festen Ersatzbrennstoffen

Ermittlung der Einflüsse von  
alternativen chemisch-analytischen  
Aufbereitungsverfahren „EBS-Analytik“







**umweltbundesamt**<sup>U</sup>

**ERMITTLUNG DER EINFLÜSSE VON  
ALTERNATIVEN CHEMISCH-ANALYTISCHEN  
AUFARBEITUNGSVERFAHREN AUF DIE  
BEWERTUNG VON FESTEN  
ERSATZBRENNSTOFFEN  
„EBS-ANALYTIK“**

Endbericht

Monika Denner



lebensministerium.at

REPORT  
REP-0125  
Wien, 2009



**Projektleitung**

Monika Denner

**AutorInnen**

Monika Denner

**Aufbereitung & Chemische Analysen**

Umweltbundesamt, Stoffe & Analysen, Abt. Anorganische Analysen (Sigrid Adelsberger, Andreas Hochwarter, Martin Salfinger, Stefan Seyfert, Andreas Knieschek, Birgit Vallant, Monika Denner, Andrea Hanus-Iltnar)

**Übersetzung**

Brigitte Read

**Lektorat**

Andrea Hanus-Iltnar, Birgit Vallant, Maria Deweis

**Satz/Layout**

Elisabeth Riss

**Umschlagfoto**

Heizwertreiche Fraktion 50-250 mm (© Monika Denner)

Wir bedanken uns für die fachlichen Diskussionen und die gute Zusammenarbeit im Rahmen der Studie.

Diese Publikation wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft erstellt.

Weitere Informationen zu Umweltbundesamt-Publikationen unter: <http://www.umweltbundesamt.at/>

**Impressum**

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH  
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien/Österreich

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2009

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 3-85457-924-1



# INHALT

<b>ZUSAMMENFASSUNG</b> .....	5
<b>SUMMARY</b> .....	8
<b>1 EINLEITUNG</b> .....	10
<b>2 VERSUCHSPLANUNG</b> .....	11
<b>2.1 Auswahl der geeigneten Proben</b> .....	11
<b>3 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG</b> .....	12
<b>3.1 Material und Methoden</b> .....	12
3.1.1 Untersuchungsgegenstand .....	12
<b>3.2 Probenaufbereitung</b> .....	14
3.2.1 Zerkleinerung und Homogenisierung .....	14
3.2.2 Aufschlussverfahren .....	14
3.2.3 Chemische Analysen des Probenmaterials .....	15
<b>3.3 Varianzansatz für die Mischproben</b> .....	15
<b>4 MESSWERTE UND AUSWERTUNG</b> .....	17
<b>4.1 Bestimmungsgrenzen</b> .....	17
<b>4.2 Test auf Normalverteilung</b> .....	18
<b>4.3 Varianzanalyse und Auswertung der Fraktionen &lt; 1 mm und &lt; 0,5 mm</b> .....	22
4.3.1 Aufschluss mit Salpetersäure/Wasserstoffperoxid und Flusssäure (ox./HF) .....	24
4.3.2 Aufschluss mit Königswasser und Flusssäure (KW/HF) .....	46
<b>4.4 Graphische Darstellung der Auswertungen für Fraktionen &lt; 1 mm und &lt; 0,5 mm und Säurematrices ox./HF sowie KW/HF</b> .....	67
<b>5 ERGEBNISSE UND DISKUSSION</b> .....	73
<b>5.1 Vergleich der Varianzanalysedaten zur Ermittlung des Einflusses der Korngröße</b> .....	73
<b>5.2 Ergebnisse für die Mischproben in Abhängigkeit von Korngröße und Aufschlussmatrix</b> .....	81
5.2.1 Tabellarische Gegenüberstellung der Ergebnisse nach Aufschlussmethoden ox./HF sowie KW/HF für die Fraktionen < 0,5 mm und < 1 mm .....	81
5.2.2 Graphische Gegenüberstellung und Bewertung der Ergebnisse nach beiden Aufschlussmethoden ox./HF sowie KW/HF für die Fraktion < 0,5 mm und < 1 mm .....	102
<b>5.3 Diskussion und Schlussfolgerungen</b> .....	113
<b>6 LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	119



<b>7</b>	<b>ANHANG</b> .....	121
<b>7.1</b>	<b>Referenzmaterial</b> .....	121
<b>7.2</b>	<b>Histogramme der Mischproben</b> .....	125



## ZUSAMMENFASSUNG

Die Richtlinie für Ersatzbrennstoffe des Lebensministeriums sieht in einem eigenen Kapitel Regelungen der Qualitäten von Ersatzbrennstoffen vor. Das detailliert vorgegebene Qualitätssicherungskonzept umfasst sämtliche Schritte des Untersuchungsprogrammes: Regelungen zur Probenahme, zur Aufbereitung und zu den Bestimmungsverfahren. Gemäß Kapitel 7.5 der Richtlinie ist eine Feinaufbereitung auf  $< 0,5$  mm Korngröße vorgeschrieben – sämtliche Fremdanteile (z. B. Metalle), die während der Probenvorbereitung aussortiert werden, müssen erfasst und dokumentiert werden. Als Zielsetzung für die Bestimmungsverfahren der aufbereiteten Proben ist ein Vollaufschluss vorgegeben, wobei auch alternative Aufschlussmethoden ausdrücklich zugelassen sind.

Als Grundlage für die Umsetzung der Richtlinie für Ersatzbrennstoffe in der Novelle zur Abfallverbrennungsverordnung wurden im Rahmen der vorliegenden Studie die Einflüsse der Feinaufarbeitung und der alternativen Aufschlussverfahren zur Analytik von Ersatzbrennstoffen für die umweltrelevanten Parameter Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kobalt, Nickel, Antimon, Kupfer, Zink und Quecksilber getestet.

Es wurden Mischproben von heterogenen Ersatzbrennstofffraktionen (sog. „simulierte Ersatzbrennstoffqualität nach manueller Vorsortierung“) nach einem Varianzanalysekonzept auf  $< 1$  mm und  $< 0,5$  mm aufbereitet und mittels Mikrowellenunterstützten Druckaufschlusses mit alternativen Säuremischungen aufgeschlossen. Die Säuremischungen orientierten sich an den gegenständlichen Vornormen für Ersatzbrennstoffe, die auch im Abfallbereich breite Anwendung finden (Königswasser/Flusssäure – KW/HF) sowie an den Vornormen für feste Biobrennstoffe (oxidativer Aufschluss mit Salpetersäure, Wasserstoffperoxid/Flusssäure – ox./HF).

Die Arbeit beinhaltet:

- Ermittlung des Einflusses der Aufbereitung auf  $< 1$  mm bzw.  $< 0,5$  mm und Prüfung auf Vergleichbarkeit der Ergebnisse von Mischproben in Abhängigkeit von der Aufbereitungstiefe.
- Überprüfung der These, ob bei einer aufwändigeren Probenvorbereitung auf  $< 0,5$  mm signifikant niedrigere Streuungen der Ergebnisse von heterogenen Ersatzbrennstofffraktionen nachgewiesen werden können.
- Vergleich der Ergebnisse für  $< 1$  mm und  $< 0,5$  mm Fraktionen nach oxidativem Aufschluss mit einer Mischung von Salpetersäure, Wasserstoffperoxid und Flusssäure mit einem auch im Abfallbereich üblichen Totalaufschluss mit Säuremischung Königswasser (Salzsäure zu Salpetersäure im Verhältnis 3 zu 1) und Flusssäure sowie Diskussion der Vor- und Nachteile beider Aufschlussmethoden.
- Diskussion zu Ursachen und Umgang der systemimmanenten sog. „Ausreißer“.

Die Ergebnisse auf Basis der nach Varianzanalysekonzept  $n = 24$  unabhängigen Mischprobandaten  $< 1$  mm und  $< 0,5$  mm sind für Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kobalt, Nickel, Antimon, Kupfer, Zink und Quecksilber vergleichbar. Es konnte eine mit der aufwändigen Aufbereitung mittels Ultra-Zentrifugalmühle einhergehende signifikante Reduktion der beobachteten Dispersion der Ergebnisse bei den Analyten Arsen, Blei, Cadmium, Kobalt, Nickel, Antimon und Kupfer nachgewiesen werden. Bei Zink lag die Verhältniszahl der Standardabweichung zwischen der Aufbereitung auf  $< 1$  mm und der Feinaufarbeitung ( $< 0,5$  mm) im Bereich von 1,3 bis 2,5.

### ***Einfluss der Korngröße***

Es kann hier nicht von einer signifikanten Reduktion gesprochen werden – auch bei Chrom und Quecksilber waren die Standardabweichungen unabhängig von der Aufbereitungstiefe. Insgesamt waren bei 7 von 10 Analyten signifikante Verbesserungen der Dispersion nach der zusätzlichen Feinaufbereitung feststellbar. Die Aufbereitung auf zumindest  $< 0,5$  mm gilt demnach als gerechtfertigt.

### **Aufschlussvergleich**

Im Rahmen des Aufschlussvergleiches wurden sämtliche Aufarbeitungen der heterogenen Mischproben mit Königswasser und Flusssäure nach den genormten Verfahren für feste Ersatzbrennstoffe und des Weiteren unter Anwendung der oxidativen Aufschlussmethode für feste Biobrennstoffe aufgeschlossen (Mikrowellen-unterstützter Druckaufschluss). Als homogene Referenzmaterialien wurden die Polyethylenproben EC 680, EC 680k, EC 681 und EC 681k mit aufgeschlossen.

Nach beiden Aufschlussmethoden wurden vergleichbare Mittelwerte für die heterogenen Ersatzbrennstoffproben für die Parameter Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kobalt, Nickel, Antimon, Kupfer, Zink und Quecksilber erhalten. Durch Vermeidung von höheren Anteilen an Salzsäure resultierten weniger Interferenzen bei der Bestimmung mit ICP-MS.

Bei den Referenzmaterialien wurden relative Standardabweichungen zwischen unabhängigen Aufschlüssen/Messungen im Bereich von 0,1–6 % für die oxidative Aufschlussmethode mit Flusssäure (ox./HF) und 2–15 % für die Mischung mit Königswasser/Flusssäure (KW/HF) erhalten. Für die Polyethylenproben war die oxidative Aufschlussmethode besser geeignet (konsistentere Daten, weniger Störungen, kein Rückstand beim Aufschluss). Unabhängig von den genormten Aufschlussmethoden wurden Recherchen zu alternativen Mikrowellenaufschlussmethoden durchgeführt – besonders gut einsetzbar für rückstandslose Aufschlüsse von Ersatzbrennstoffen erscheint das Aufschlussverfahren, das von ZISCHKA, KETTISCH & KAINRATH (1998) getestet wurde: Sie schlagen für Kunststoffmischungen aus dem Abfallbereich eine Mischung aus 6 ml Salpetersäure, 0,5 ml Salzsäure und 1 ml Flusssäure vor.

### **Ausreißer**

Im Zuge der zahlreichen Aufschlüsse und durchgeführten Analysen der Fraktionen  $< 0,5$  mm und  $< 1$  mm für die Mischproben heterogener Ersatzbrennstoffe wurden wiederholt vereinzelte höhere Ergebnisse für die angeführten Analyten ermittelt. Es wurden keinerlei Ausreißer im Zuge der statistischen Datenevaluierung ausgeschlossen, da die Ursache für die deutlich erhöhten Ergebnisse in der heterogenen Probenzusammensetzung und der durchgeführten Probenaufbereitung liegt (Details dazu werden im Kapitel 5.3. eingehend diskutiert). Die Ausreißer sind systemimmanent und gehören jedenfalls zum Datenset.





Eine Regelung betreffend **Bewertung der Grenzwerteinhaltung von Ersatzbrennstoffen** im Zusammenhang mit Ausreißern findet sich in der Richtlinie für Ersatzbrennstoffe. Für Abfallströme gilt, dass **die jeweils letzten 10 Untersuchungsergebnisse zur Bestimmung des Medians und des 80er Perzentils herangezogen werden müssen**. Der Grenzwert gilt als eingehalten, wenn der Beurteilungswert den Grenzwert für den Median und das 80er Perzentil nicht überschreitet. **Eine anderweitige Ausreißerelimination ist nicht gestattet!** Mit dieser Regelung (8 von 10) wird indirekt auch die Frequenz von zulässigen Ausreißern angesprochen. Keinesfalls sollten Einzelergebnisse zur Bewertung von Ersatzbrennstoffen herangezogen werden – fundierte Entscheidungen betreffend heterogene Fraktionen können nur im Laufe der Zeit auf Basis einer Vielzahl an unabhängig ermittelten Daten unter Berücksichtigung der zugehörigen Spannweiten getroffen werden.

## SUMMARY

The Guideline for Waste-derived Fuels allocates a specific chapter for the definition of rules for the quality of secondary recovered fuels (SRFs). The detailed quality assurance specifications cover the full range of steps for the test programme, namely rules for sampling, preparation and determination procedures. According to chapter 7.5 of the Guideline the particle size has to be reduced to  $< 0.5$  mm in order to produce a test sample – and all materials or impurities separated out during the preparation of samples (e.g. metals) must be identified and documented. The aim for the determination procedure performed on the prepared samples is full digestion, and alternative digestion methods are also expressly permitted.

As a basis for the implementation of the Guideline for Waste-derived Fuels in the amended Waste Incineration Ordinance, the effects of refined sample preparation and alternative digestion methods for the analysis of secondary recovered fuels were tested as part of this study for the environmental parameters arsenic, lead, cadmium, chromium, cobalt, nickel, antimony, copper, zinc and mercury.

Mixed samples from heterogeneous fractions of secondary recovered fuels (so-called “simulated quality of secondary recovered fuels after manual pre-sorting”) were prepared according to a variance analysis design in sizes of  $< 1$  mm und  $< 0.5$  mm, and digested through microwave-assisted digestion at high pressure with alternative acid mixtures. The acid mixtures were in compliance with the relevant prestandards for secondary recovered fuels which are also widely used in the waste sector (aqua regia + HF), as well as with the prestandards for solid biofuels (ox./HF).

The study includes:

- Determination of the effects of particle size reduction to  $< 1$  mm and  $< 0.5$  mm and testing for the comparability of results from mixed samples, depending on the degree of preparation
- Verification of the assumption that a more complex sample preparation (size reduction to  $< 0.5$  mm) produces significantly lower dispersions of the results for heterogeneous SRFs
- Comparison of the results for  $< 1$  mm and  $< 0.5$  mm fractions after oxidative digestion (using a mixture of nitric acid, hydrogen peroxide and hydrofluoric acid) with total digestion, commonly used also in the waste sector, using an acid mixture of aqua regia (hydrochloric acid and nitric acid in a ratio of 3:1) and hydrofluoric acid, and discussion of the advantages and disadvantages of both digestion methods
- Discussion about the causes of so-called “outliers” inherent in the system and how to handle them.

### ***Effects of particle size***

The results on the basis of independent  $< 1$  mm and  $< 0.5$  mm mixed sample data according to the variance analysis design ( $n=24$ ) are comparable for arsenic, lead, cadmium, chromium, cobalt, nickel, antimony, copper, zinc and mercury. A significant reduction in the observed dispersion of results was found with the complex preparation in an ultra centrifugal mill for the analytes arsenic, lead, cadmium, cobalt, nickel, antimony and copper. For zinc the ratio for the standard deviation between the  $< 1$  mm particle size and the refined preparation ( $< 0.5$  mm particle size) was in a range of 1.3–2.5. This cannot be regarded as a significant reduction – and, likewise, standard deviations for chromium and mercury were not dependent on the degree of preparation.



All in all, significant improvements in dispersion after the additional refined preparation were observed for 7 out of 10 analytes. Preparation with a particle size reduction to at least  $< 0.5$  mm is thus considered justified.

For the digestion comparison all preparations of the mixed heterogeneous samples were digested with aqua regia and hydrofluoric acid according to the standard procedures for solid recovered fuels and, additionally, by using the oxidative digestion method for solid biofuels (microwave-assisted digestion at high pressure). The polyethylene samples EC 680, EC 680k, EC 681 and EC 681k were co-digested as homogeneous reference materials.

### ***Digestion comparison***

With both digestion methods comparable mean values were obtained for the heterogeneous SRF samples with regard to the parameters arsenic, lead, cadmium, chromium, cobalt, nickel, antimony, copper, zinc and mercury. Avoiding higher proportions of hydrochloric acid resulted in less interference in the determination with ICP-MS.

For the reference materials, the relative standard deviations obtained between independent digestion procedures/measurements were in a range of 0.1–6% for the oxidative digestion method with hydrofluoric acid (ox./HF), and 2–15% for the mixture with aqua regia/hydrofluoric acid (aqua regia + HF). The oxidative digestion method was better suited for the polyethylene samples (more consistent data, less interference, no digestion residues). Independent of the standard digestion methods, research was conducted into alternative microwave digestion methods – here the digestion procedure tested by ZISCHKA, KETTISCH & KAINRATH (1998) seems to be particularly suitable for residue-free secondary recovered fuel digestion: for polymer compounds from the waste sector, they propose a mixture of 6 ml of nitric acid, 0.5 ml of hydrochloric acid and 1 ml of hydrofluoric acid.

During the numerous digestion processes and analyses performed on the  $< 0.5$  mm and  $< 1$  mm fractions for the mixed samples of heterogeneous SRFs, isolated higher results were repeatedly obtained for the cited analytes. No outliers were eliminated during the statistical data evaluation, since the distinctly higher results were due to the heterogeneous sample composition and the sample preparation (for a discussion of the relevant details see section 5.3). The outliers are inherent in the system and, in any case, belong to the data set.

### ***Outliers***

Rules on the **evaluation of limit value compliance for secondary recovered fuels** in conjunction with outliers can be found in the Guideline for Waste-derived Fuels. The rule for waste streams is that it is always **the last 10 test results that have to be used to determine the median and the 80<sup>th</sup> percentile**. The limit value is considered to be complied with if the evaluation value does not exceed the limit for the median and the 80<sup>th</sup> percentile. **No other elimination of outliers is permitted!** With this rule (8 out of 10) the frequency of permissible outliers is also – indirectly – considered. Single results should never be used for the evaluation of secondary recovered fuels – well-founded decisions regarding heterogeneous fractions can only be made in the course of time, on the basis a large number of independently derived data and by taking into account respective ranges.

# 1 EINLEITUNG

Die Erkenntnisse der ersten umfassenden Untersuchungen in Österreich zur Ableitung der Qualität von Ersatzbrennstoffen aus chemisch-analytischer Sicht (UMWELTBUNDESAMT 2006) fanden in die Richtlinie für Ersatzbrennstoffe Eingang.

Im Zeitraum 2007 bis 2009 wurden weitere umfangreiche Arbeiten am Umweltbundesamt zur „Verifizierung der Richtlinie für Ersatzbrennstoffe“ durchgeführt. Dabei wurde besonders auf den Praxistest der Beprobungskonzepte der Richtlinie für Ersatzbrennstoffe Wert gelegt. MitarbeiterInnen des Umweltbundesamt beprobten eine Monatsproduktion von Ersatzbrennstoffen einer österreichischen Ersatzbrennstoffanlage und testeten das Qualitätssicherungskonzept für Ersatzbrennstoffanlagen mit einer Jahresproduktion von über 40.000 t. Weiters beteiligten sich engagierte VertreterInnen österreichischer Zementwerke und Kraftwerksanlagen am Praxistest und führten eigene Probenahmen ihrer Anlieferungen durch. Sämtliche Proben wurden in der Prüfstelle des Umweltbundesamt weiter aufbereitet und chemisch-analytisch charakterisiert. Untersucht wurden nicht nur aufbereitete Fraktionen aus der Ersatzbrennstoffaufbereitung (Kunststoff/Kartonagengemisch) sondern auch Klärschlämme und Altöl.

In der Richtlinie für Ersatzbrennstoffe wird die Zielsetzung der Bestimmungsverfahren angeführt: Es soll ein Vollaufschluss erreicht werden, wobei insbesondere das Verfahren A der ÖNORM CEN/TS 15411 Feste Sekundärbrennstoffe anzuwenden ist.

Da die Vorgaben der Richtlinie für Ersatzbrennstoffe in der Novelle zur Abfallverbrennungsverordnung umgesetzt werden sollen, ist es das Ziel des gegenständlichen Projektes, die Einflüsse der Aufarbeitung und der Analytik von Ersatzbrennstoffen für die umweltrelevanten Parameter Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kobalt, Nickel, Antimon, Kupfer, Zink und Quecksilber zu testen.

## **Projektziele**

Durch die bisherigen Arbeiten am Umweltbundesamt mit dem Schwerpunkt auf Ersatzbrennstofffraktionen ergaben sich nachfolgende offene Fragen im Hinblick auf die Bewertung der Qualität von Ersatzbrennstoffen:

- Welchen Einfluss hat die Aufbereitungstiefe (Korngröße) des Ersatzbrennstoffes auf die Streuung der Analyseergebnisse bei üblichen Prüfprobenmengen? Ist die Forderung einer Mindestaufbereitung auf  $< 0,5$  mm gerechtfertigt oder sind Fraktionen mit einer Aufbereitungstiefe auf  $< 1$  mm als ausreichend zu bezeichnen?
- Welchen Einfluss hat die gewählte Aufschlussmethode (Säurematrix, Aufschlussverfahren) auf die Zuverlässigkeit der Ergebnisse bei heterogenen Ersatzbrennstoffen? Können auch alternative Säuremischungen zu einem Vollaufschluss führen? Welche Vor- und Nachteile ergeben sich daraus für das analytische Bestimmungsverfahren?

Die Projektziele der gegenständlichen Studie umfassen die Behandlung der Fragestellungen für ein sog. „Worst-Case“-Szenario im Sinne der Heterogenität des Ersatzbrennstoffes. Als Material für die Durchführung der Untersuchungen wurden die Proben aus der Studie „ERSA“ (UMWELTBUNDESAMT 2006) gewählt. Dadurch konnte von einer neuerlichen aufwändigen Beprobung abgesehen werden; das Material ist aufgrund seiner Herkunft stark heterogen und es liegen bereits umfangreiche Daten zu den Ergebnissen mit einer Aufbereitungstiefe auf  $< 1$  mm vor.



## 2 VERSUCHSPLANUNG

### 2.1 Auswahl der geeigneten Proben

Für die Erreichung der Projektziele konnte auf die vorhandenen Proben aus der Restmüll-Splittinganlage Wien zurückgegriffen werden.

Die heizwertreiche Fraktion wurde im Zeitraum 15. bis 21. Juni 2005 in der Restmüll-Splittinganlage Wien aus Restmüll produziert (50–250 mm) und in einstündigen Intervallen vom Bandabschnitt beprobt. Insgesamt wurden während des Versuches 400 t heizwertreiche Fraktion produziert und davon 2,5 t über den Notausgang beprobt.

Es resultierten 17 Einzelproben (1 Containerprobe für Tag 1, 16 Einzelproben vom Band an weiteren drei Tagen).

Die Proben wurden vor Ort manuell vorsortiert; dabei wurden metallhaltige Anteile und Steine entfernt und dadurch eine so genannte „simulierte Ersatzbrennstoffqualität aus Restmüll“ hergestellt.

Nach einer mehrstufigen Vor-Ort-Zerkleinerung auf eine „Korngröße“ von rd. 30 mm wurden die Proben homogenisiert und durch fraktioniertes Schaufeln mit Zufallsauswahl geteilt.

Die zufällig ausgewählten Teilproben wurden für die Herstellung der Einzelprobenaliquote und der Proben für die Herstellung der ein- und zweistufigen Mischproben verwendet.

Details zur Probenaufarbeitung sind den Kapiteln 4.4 und 4.6 der Studie ERSA (UMWELTBUNDESAMT 2006) zu entnehmen.

Obwohl durch die manuelle Vorsortierung die metallhaltigen Anteile und Steine entfernt wurden<sup>1</sup>, stellt die so genannte „simulierte Ersatzbrennstoffqualität aus Restmüll“ einen besonders heterogenen Materialtyp von Ersatzbrennstoffen dar und ist für das Projekt sehr gut geeignet.

Unter einer ausgewogenen Kosten/Nutzenbetrachtung wurden die verfügbaren Aufarbeitungen der Mischproben ausgewählt:

- Tagesmischproben aus den zugehörigen Einzelproben pro Produktionstag (2 unabhängige Aufarbeitungen).
- Einstufige Wochenmischprobe aus Aliquoten sämtlicher Einzelproben (2 unabhängige Aufarbeitungen).
- Zweistufige Wochenmischprobe aus Aliquoten der Tagesmischproben (2 unabhängige Aufarbeitungen).

---

<sup>1</sup> Eine quantitative Entfernung von Metallpartikeln ist durch die manuelle Entfernung und Aussortierung von Störstoffen praktisch nicht möglich.

### 3 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG

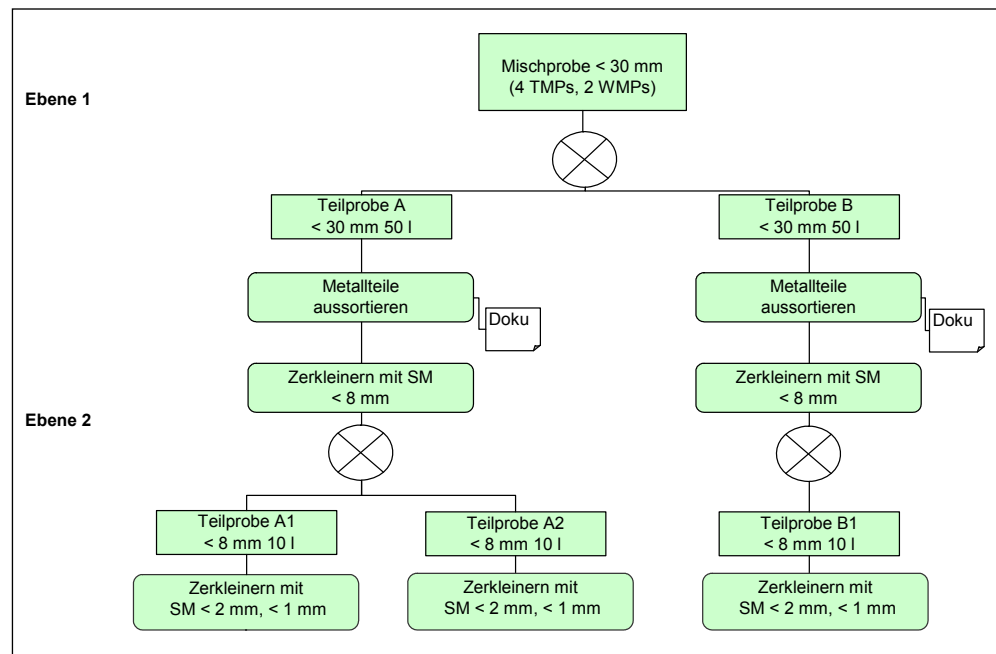
#### 3.1 Material und Methoden

##### 3.1.1 Untersuchungsgegenstand

Es handelt sich hierbei um die Tages- und Wochenmischproben einer simulierten „ofenfertigen Ersatzbrennstoff-Fraktion“ aus der Restmüll-Splittanlage Wien (heterogenes Material). Der untere Heizwert der simulierten Ersatzbrennstofffraktion betrug 20 MJ/kg TM, der Chlorgehalt lag im Bereich von 0,96–1,2 % TM.

Von sämtlichen Prüfproben liegen aus den vorhergehenden Arbeiten die aufbereiteten Fraktionen auf < 1 mm bereits vor (siehe Kapitel 2.1).

In nachfolgender Abbildung werden die vorangegangenen Aufarbeitungsschritte der Mischproben dargestellt. Für die gegenständlichen Untersuchungen werden vorhandene Abfüllungen der Proben mit Bezeichnung „A1“ und „A2“ sowie „B1“ < 1 mm homogenisiert und jeweils in der Zentrifugalmühle mit Titanausrüstung zerkleinert (Siebeinsatz 0,5 mm; Trapezlochung).



TMP ... Tagesmischprobe WMP ... Wochenmischprobe SM ... Schneidmühle SM 2000

Abbildung 1: Darstellung der Probenvorbereitung der Mischproben für die Varianzanalyse im Zuge der Studie ERSA (vgl. UMWELTBUNDESAMT 2006).



### 3.1.1.1 Probenliste

Tabelle 1: Labornummer und Beschreibung/Kurzbezeichnung – Proben aus Studie ERSA<sup>2</sup>.

Labornummer	Beschreibung	Kurzbezeichnung	Fraktion
S0506 2325	Tagesmischprobe Tag 1, Ebene 1 – TMP 1 B (Container)	TMP 1 B	< 1 mm
S0506 2359	Tagesmischprobe Tag 1, Ebene 2 – TMP 1 A1 (Container)	TMP 1 A1	< 1 mm
S0506 2359	Tagesmischprobe Tag 1, Ebene 2 – TMP 1 A2 (Container)	TMP 1 A2	< 1 mm
S0506 2360	Tagesmischprobe Tag 2, Ebene 1 – TMP 2 B	TMP 2 B	< 1 mm
S0506 2361	Tagesmischprobe Tag 2, Ebene 2 – TMP 2 A1	TMP 2 A1	< 1 mm
S0506 2361	Tagesmischprobe Tag 2, Ebene 2 – TMP 2 A2	TMP 2 A2	< 1 mm
S0506 2362	Tagesmischprobe Tag 3, Ebene 1 – TMP 3 B	TMP 3 B	< 1 mm
S0506 2363	Tagesmischprobe Tag 3, Ebene 2 – TMP 3 A1	TMP 3 A1	< 1 mm
S0506 2363	Tagesmischprobe Tag 3, Ebene 2 – TMP 3 A2	TMP 3 A2	< 1 mm
S0506 2364	Tagesmischprobe Tag 4, Ebene 1 – TMP 4 B	TMP 4 B	< 1 mm
S0506 2365	Tagesmischprobe Tag 4, Ebene 2 – TMP 4 A1	TMP 4 A1	< 1 mm
S0506 2365	Tagesmischprobe Tag 4, Ebene 2 – TMP 4 A2	TMP 4 A2	< 1 mm
S0506 2366	Zweistufige Wochenmischprobe WMP aus Tagesmischproben, Ebene 1 – WMP aus TMPs B	WMP aus TMPs B	< 1 mm
S0506 2367	Zweistufige Wochenmischprobe WMP aus Tagesmischproben, Ebene 2 – WMP aus TMPs A1	WMP aus TMPs A1	< 1 mm
S0506 2367	Zweistufige Wochenmischprobe WMP aus Tagesmischproben, Ebene 2 – WMP aus TMPs A2	WMP aus TMPs A2	< 1 mm
S0506 2368	Einstufige Wochenmischprobe WMP aus Einzelproben Ez, Ebene 1 – WMP aus Ez B	WMP aus Ez B	< 1 mm
S0506 2369	Einstufige Wochenmischprobe WMP aus Einzelproben Ez, Ebene 2 – WMP aus Ez A1	WMP aus Ez A1	< 1 mm
S0506 2369	Einstufige Wochenmischprobe WMP aus Einzelproben Ez, Ebene 2 – WMP aus Ez A2	WMP aus Ez A2	< 1 mm

<sup>2</sup> UMWELTBUNDESAMT 2006

## 3.2 Probenaufbereitung

### 3.2.1 Zerkleinerung und Homogenisierung

- Homogenisierung, Probenteilung und Herstellung von 50 g Aliquoten der Fraktion < 1 mm.
- Zerkleinerung der 50 g Aliquote mittels Zentrifugalmühle ZM 200 mit Siebeinsatz aus Titan (Trapezsieb, 0,5 mm) auf eine Korngröße von < 0,5 mm<sup>3</sup>.

### 3.2.2 Aufschlussverfahren

#### 3.2.2.1 Aufschluss gemäß VORNORM ÖNORM CEN/TS 15297:2006 (Kurzbezeichnung „ox./HF“)

Mikrowellenunterstützter, oxidativer Säureaufschluss unter Druck mit einer Säuremischung von Wasserstoffperoxid, Salpetersäure und Flusssäure gemäß pr CEN/TS 15297:2005.

Einwaagen 300 mg (die Einwaage pro Mikrowellenaufschlussgefäß ist limitiert).

Säuremischung: 5 ml Salpetersäure (subboiled, 65 %); 2,5 ml Wasserstoffperoxid (p.a., 30 %); 0,4 ml Flusssäure (suprapur, 40 %) und Borsäurekomplexierung mit 2,5 ml 4 % Borsäure (suprapur).

#### 3.2.2.2 Aufschluss gemäß VORNORM ÖNORM CEN/TS 15411:2006 (Kurzbezeichnung „KW/HF“)

Mikrowellenunterstützter Säureaufschluss unter Druck mit einer Mischung aus Königswasser und Flusssäure gemäß VORNORM ÖNORM CEN/TS 15411:2006 (Verfahren A) unter Anwendung der Grundsätze der ÖNORM EN 13656.

Einwaagen 300 mg (die Einwaage pro Mikrowellenaufschlussgefäß ist limitiert).

Säuremischung: 6 ml Salzsäure (subboiled, 37 %); 2 ml Salpetersäure (subboiled, 65 %); 2 ml Flusssäure (suprapur, 40 %) und Borsäurekomplexierung mit 22 ml 4 % Borsäure (suprapur).

---

<sup>3</sup> Aufgrund der Zerkleinerungscharakteristik der Zentrifugalmühle Hauptanteil < 250 µm.





### 3.2.3 Chemische Analysen des Probenmaterials

#### 3.2.3.1 Trockenmassebestimmung 105 °C

Trocknung von 1 g Aliquoten lufttrockener Probe < 1 mm und < 0,5 mm bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz im Trockenschrank. Vorgangsweise gemäß VORNORM ÖNORM CEN/TS 15414-3.

#### 3.2.3.2 Metalle und Metalloide (Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kobalt, Nickel, Antimon, Kupfer, Zink, Quecksilber)

Die Bestimmung von Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kobalt, Nickel, Antimon, Kupfer und Zink erfolgt in geeignet verdünnten Aufschlusslösungen mit säurematrixangepassten Bezugslösungen und Verwendung interner Standards mit ICP-MS in Anlehnung an DIN EN ISO 17294-2.

Für die Analyse von Arsen in den Aufschlüssen KW/HF wird aufgrund der Chloridinterferenzen bei der ICP-MS-Analyse die GR-AAS eingesetzt. Die Bestimmung mit GR-AAS erfolgt gemäß DIN EN ISO 15586.

Die Bestimmung von Quecksilber erfolgt nach On-line-Reduktion mit Natriumborhydrid mittels Fließinjektions(FIMS)-Kaltdampf-AAS in Anlehnung an ÖNORM EN 1483.

#### Qualitätssichernde Maßnahmen

Zur Überprüfung der Aufschlussqualität wurden gemeinsam mit den Proben die Referenzmaterialien Polyethylen EC 680, EC 680 k, EC 681 und EC 681 k mit aufgeschlossen und auf die zertifizierten Gehalte analysiert.

*Referenzmaterial*

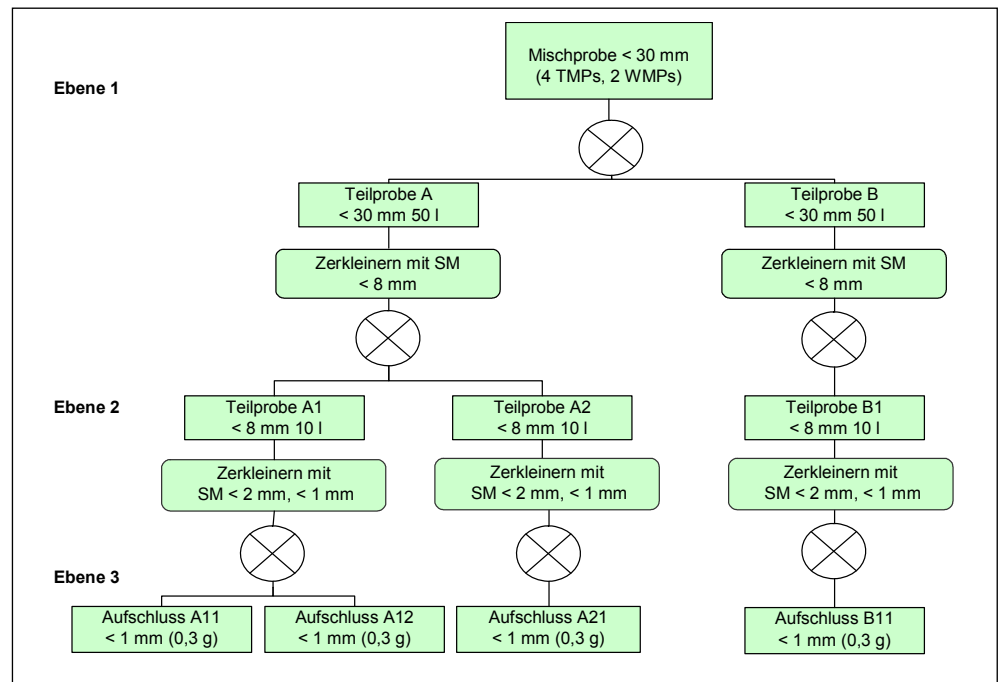
### 3.3 Varianzansatz für die Mischproben

Mittels nachstehend abgebildeten Versuchsaufbaus kann nachgewiesen werden, inwiefern die heterogene Zusammensetzung der Probe die Analysenergebnisse beeinflusst bzw. welche Stufe der Aufarbeitung die dominierende Varianzkomponente an der beobachteten Gesamtvarianz darstellt.

Die Aufschlusslösungen werden jeweils einfach analysiert, da die Varianz einer Wiederholbestimmung aus einer Aufschlusslösung nicht ausschlaggebend ist.

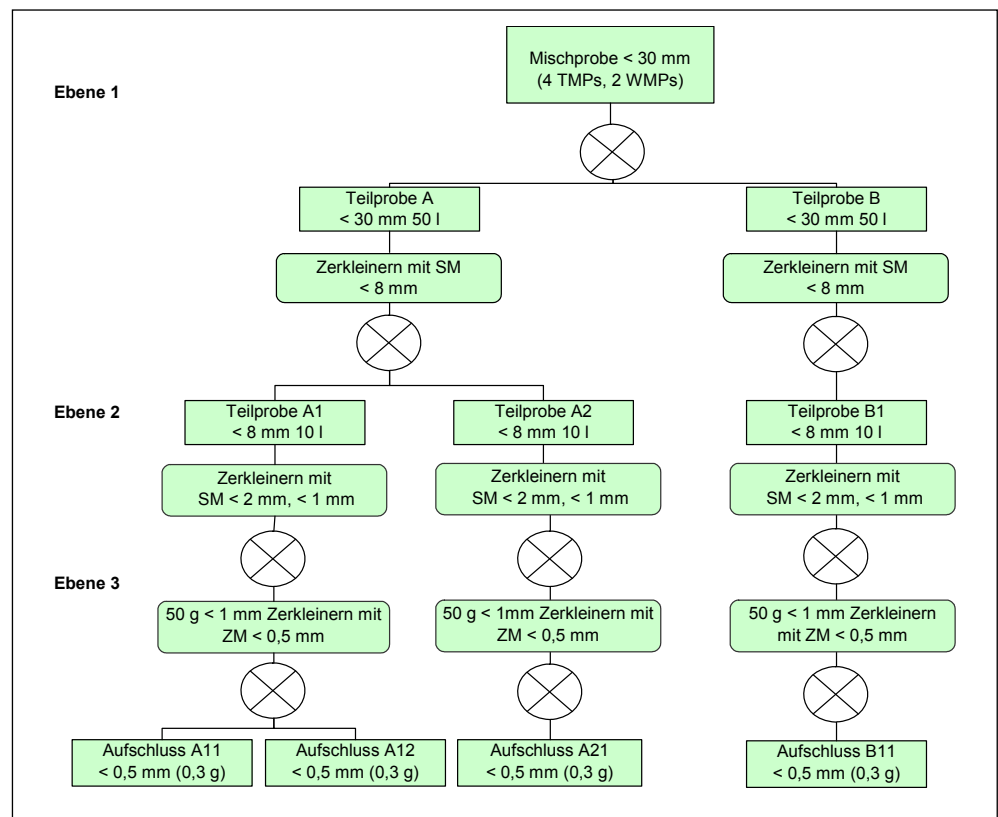
Wesentlich aussagekräftiger (jedoch auch mit zusätzlichem Aufwand für den Aufschluss verbunden) ist die Analyse von zwei unabhängigen Säureaufschlüssen einer Probe (hier: jeweils zwei unabhängige Einwaagen/Aufschluss für sämtliche Mischproben mit dem Zusatz „A1“; siehe Abbildung 2 und Abbildung 3).

Für die Erreichung der Projektziele werden die Varianzansätze für beide Aufschlüsse oxidativ/HF und KW/HF verwendet. Somit stehen auch für die Vergleiche der Ergebnisse in Abhängigkeit von den verwendeten Säuremischungen jeweils zwei Datensätze zur Verfügung, nämlich unabhängige Aufbereitungspfade mit Zusatz „A1“ und „B1“.



TMP ... Tagesmischprobe WMP ... Wochenmischprobe SM ... Schneidmühle SM 2000

Abbildung 2: Aufarbeitungsbaum für die Varianzanalyse – Fraktion <math>< 1\text{ mm}</math>.



TMP ... Tagesmischprobe WMP ... Wochenmischprobe SM ... Schneidmühle SM 2000

ZM ... Zentrifugalmühle

Abbildung 3: Aufarbeitungsbaum für die Varianzanalyse – Fraktion <math>< 0,5\text{ mm}</math>.



## 4 MESSWERTE UND AUSWERTUNG

In nachfolgenden Abschnitten werden die Messwerte und Auswertungen der Mischproben dargestellt. Für sämtliche Berechnungen wurden die ungerundeten Messwerte herangezogen und diese zur leichteren Nachvollziehbarkeit in den Tabellen angegeben.

### 4.1 Bestimmungsgrenzen

Die Bestimmungsgrenzen werden in Abhängigkeit von der Säurematrix dargestellt. Die Salzsäure-freie Säuremischung liefert oft Vorteile bei der Bestimmung mit ICP-MS – unter vergleichbarem methodischem Aufwand sind mit der Salpetersäure/Wasserstoffperoxid/Flusssäure-Mischung (ox./HF) vielfach tiefere Bestimmungsgrenzen erreichbar.

Für die Analyse geringer Arsengehalte mit hohen Anteilen an Salzsäure (hier: KW/HF-Säuremischung) ist die ICP-MS nicht so gut geeignet (hohe Bestimmungsgrenzen durch Interferenz Ar-Cl) – die Arsengehalte in der Königswasser/HF-Matrix wurden daher mit der GR-AAS bestimmt.

Tabelle 2: Übersicht der methodischen Bestimmungsgrenzen und Analysenmethoden (gerundet auf 1 sign. Stelle).

Parameter	Einheit	Bestimmungsgrenze Säurematrix		Analysemethode
		ox./HF	KW/HF	
Arsen	mg/kg	0,4	0,2	ICP-MS (ox./HF); GR-AAS (KW/HF)
Blei	mg/kg	0,3	0,5	ICP-MS
Cadmium	mg/kg	0,2	0,2	ICP-MS
Chrom	mg/kg	0,2	1,2	ICP-MS
Kobalt	mg/kg	0,2	0,2	ICP-MS
Nickel	mg/kg	0,2	1	ICP-MS
Antimon	mg/kg	1	2	ICP-MS
Kupfer	mg/kg	0,5	0,6	ICP-MS
Zink	mg/kg	1	3	ICP-MS
Quecksilber	mg/kg	0,05	0,06	FIMS

## 4.2 Test auf Normalverteilung

Zur Prüfung auf das Vorliegen einer Normalverteilung gemäß Kolmogoroff-Smirnov<sup>4</sup> mit Hilfe des statistischen Softwareprogramms SPSS wurden sämtliche Einzelergebnisse zur Fraktion < 0,5 mm und zur Fraktion < 1 mm (unabhängig von den Aufschlusssäuren) für die sechs Mischproben herangezogen (n = 48) – es wurde für den Test kein Unterschied zwischen den einzelnen Ergebnissen pro Mischprobe gemacht. Jeder der n = 4 Datensätze pro Mischprobe wurde für den Test gleichwertig zur Berechnung herangezogen (Signifikanzniveau 5 % ( $\alpha = 0,05$ )).

Tabelle 3: Prüfung der Mischprobendaten auf Vorliegen einer Normalverteilung (NV) – Daten aggregiert für die Fraktionen < 0,5 mm und < 1 mm (n = 48).

Parameter	Test auf Normalverteilung gemäß Kolmogoroff-Smirnov
As ox./HF + KW/HF < 0,5 mm	signifikante Abweichung von NV
As ox./HF + KW/HF < 1 mm	signifikante Abweichung von NV
Pb ox./HF + KW/HF < 0,5 mm	NV
Pb ox./HF + KW/HF < 1 mm	NV
Cd ox./HF + KW/HF < 0,5 mm	NV
Cd ox./HF + KW/HF < 1 mm	signifikante Abweichung von NV
Cr ox./HF + KW/HF < 0,5 mm	NV
Cr ox./HF + KW/HF < 1 mm	NV
Co ox./HF + KW/HF < 0,5 mm	NV
Co ox./HF + KW/HF < 1 mm	NV
Ni ox./HF + KW/HF < 0,5 mm	signifikante Abweichung von NV
Ni ox./HF + KW/HF < 1 mm	signifikante Abweichung von NV
Sb ox./HF + KW/HF < 0,5 mm	NV
Sb ox./HF + KW/HF < 1 mm	NV
Cu ox./HF + KW/HF < 0,5 mm	signifikante Abweichung von NV
Cu ox./HF + KW/HF < 1 mm	signifikante Abweichung von NV
Zn ox./HF + KW/HF < 0,5 mm	signifikante Abweichung von NV
Zn ox./HF + KW/HF < 1 mm	signifikante Abweichung von NV
Hg ox./HF + KW/HF < 0,5 mm	signifikante Abweichung von NV
Hg ox./HF + KW/HF < 1 mm	signifikante Abweichung von NV

<sup>4</sup> Der Kolmogoroff-Smirnov-Test hat den Vorteil, dass er auch bei kleinen Stichprobenumfängen angewendet werden kann.



Die Histogramme im Anschluss zeigen die beobachtete Verteilung der Ergebnisse für die untersuchten Metalle und Metalloide. Im Vergleich dazu sind die Normalverteilungskurven in die Graphiken mit aufgenommen. Existieren Datensätze oberhalb der eingezeichneten Normalverteilungskurve, so ist von einer signifikanten Abweichung von der NV auszugehen (vgl. Arsen, Cadmium < 1 mm, Nickel, Kupfer, Zink, Quecksilber). Es wurden alle vorhandenen Daten (n = 48) zu den ox./HF- und KW/HF-Aufschlüssen separat nach Fraktion < 0,5 mm und < 1 mm zusammengefasst. Dadurch können die bei den Bestimmungen regelmäßig gefundenen höheren Gehalte an Metallen/Metalloiden (As) besonders gut veranschaulicht werden. Insbesondere bei Vergleich der Histogramme der Fraktion < 1 mm mit der Fraktion < 0,5 mm ist die Dispersion der Ergebnisse < 1 mm oft deutlich erkennbar. Umso wichtiger ist es daher, die sog. „Ausreißer“ nicht zu eliminieren, sondern diese systematisch zu erfassen und im Verlauf von Untersuchungen die Häufigkeit des Auftretens derselben zu beobachten. Bei Kupfer, Nickel und Zink wurden die höchsten Gehalte höchstwahrscheinlich durch Metallpartikel in der aufbereiteten Analysenprobe verursacht.

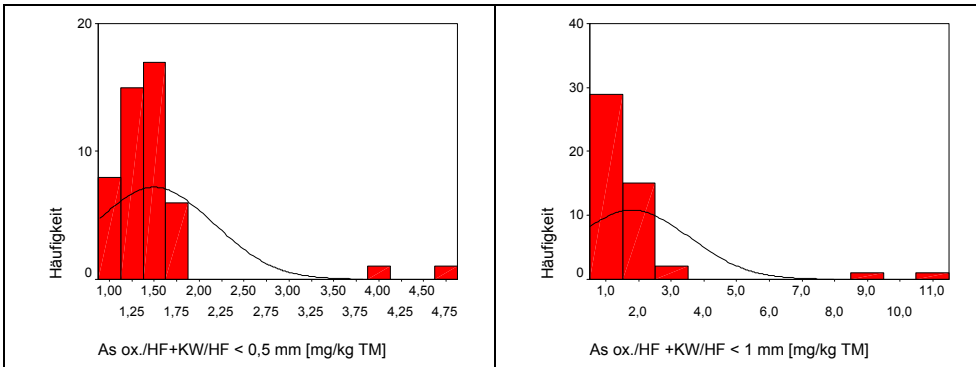


Abbildung 4: Histogramm Mischproben – Fraktion < 0,5 mm – Arsen.

Abbildung 5: Histogramm Mischproben – Fraktion < 1 mm – Arsen.

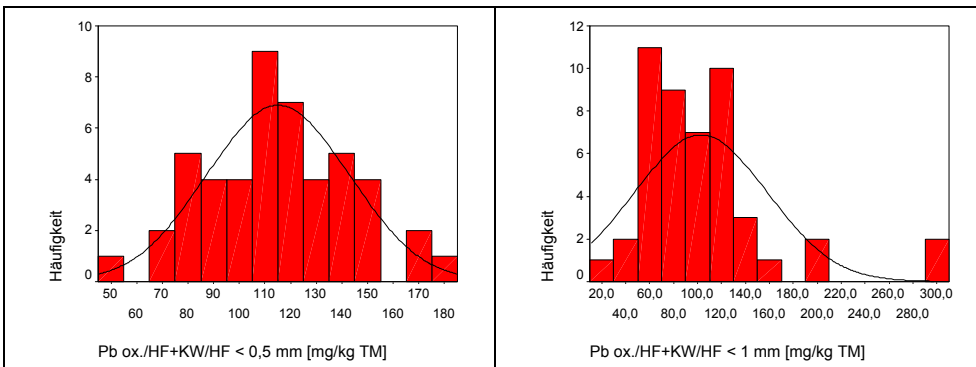


Abbildung 6: Histogramm Mischproben – Fraktion < 0,5 mm – Blei.

Abbildung 7: Histogramm Mischproben – Fraktion < 1 mm – Blei.

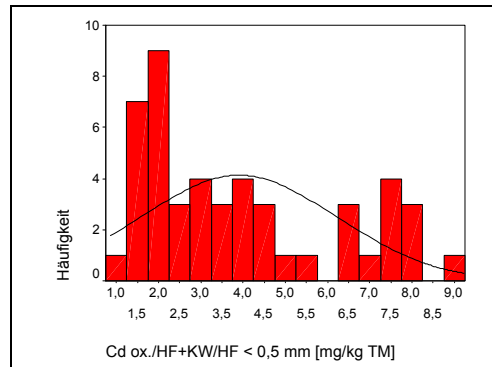


Abbildung 8: Histogramm Mischproben – Fraktion <math>0,5\text{ mm}</math> – Cadmium.

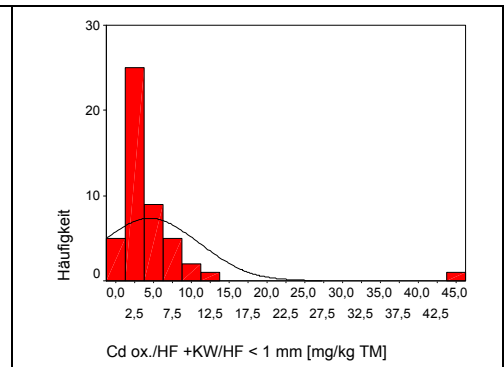


Abbildung 9: Histogramm Mischproben – Fraktion <math><1\text{ mm}</math> – Cadmium.

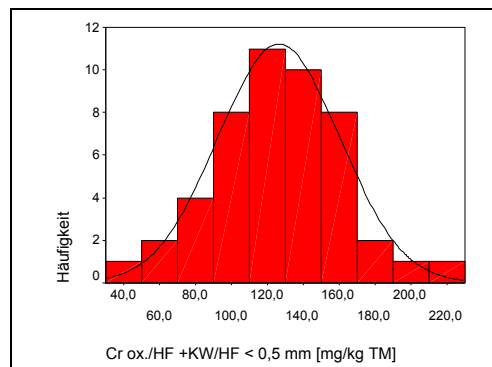


Abbildung 10: Histogramm Mischproben – Fraktion <math>0,5\text{ mm}</math> – Chrom.

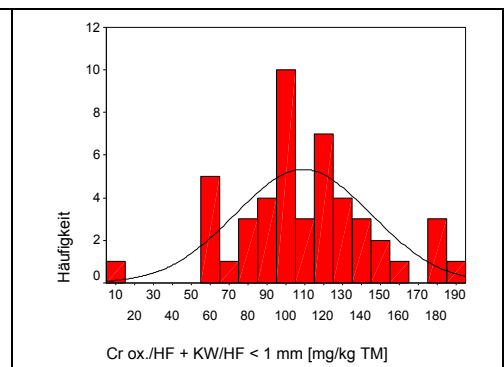


Abbildung 11: Histogramm Mischproben – Fraktion <math><1\text{ mm}</math> – Chrom.

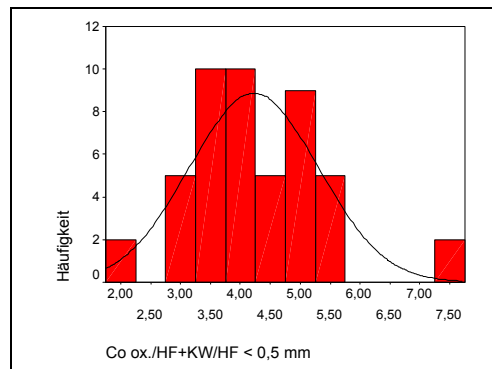


Abbildung 12: Histogramm Mischproben – Fraktion <math>0,5\text{ mm}</math> – Kobalt.

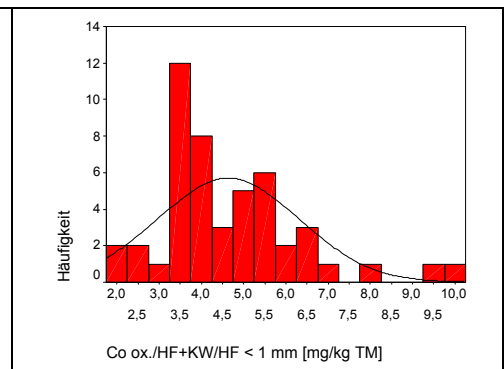


Abbildung 13: Histogramm Mischproben – Fraktion <math><1\text{ mm}</math> – Kobalt.

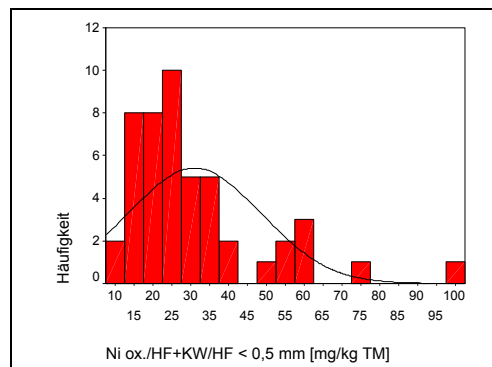


Abbildung 14: Histogramm Mischproben – Fraktion <math>0,5\text{ mm}</math> – Nickel.

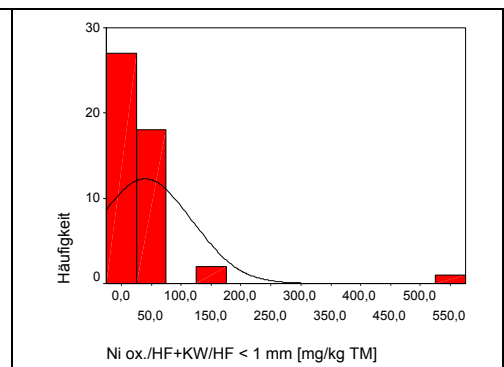


Abbildung 15: Histogramm Mischproben – Fraktion <math><1\text{ mm}</math> – Nickel.

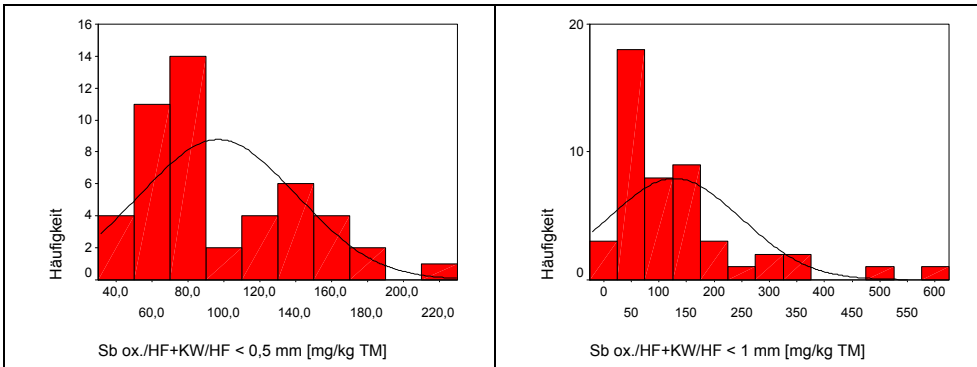


Abbildung 16: Histogramm Mischproben – Fraktion < 0,5 mm – Antimon.

Abbildung 17: Histogramm Mischproben – Fraktion < 1 mm – Antimon.

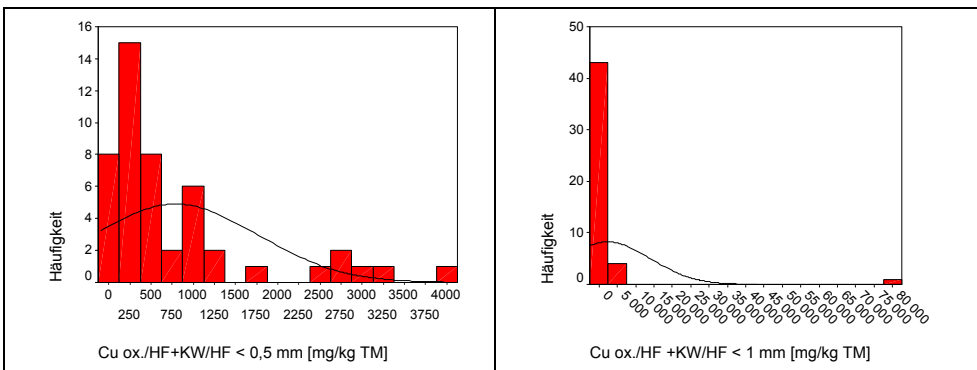


Abbildung 18: Histogramm Mischproben – Fraktion < 0,5 mm – Kupfer.

Abbildung 19: Histogramm Mischproben – Fraktion < 1 mm – Kupfer.

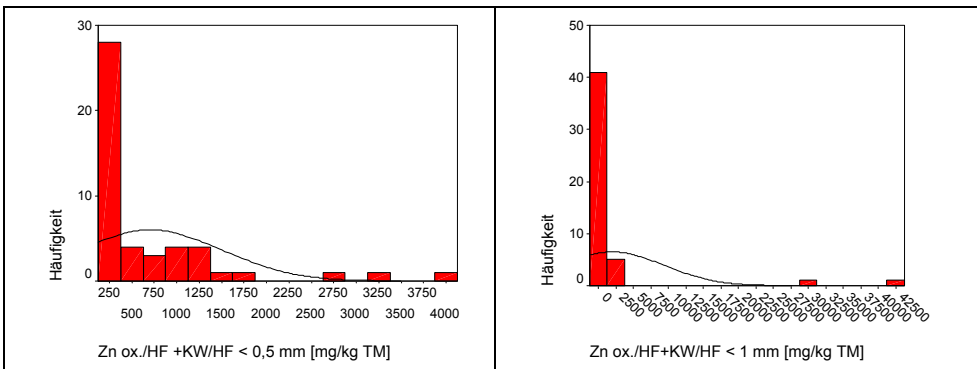


Abbildung 20: Histogramm Mischproben – Fraktion < 0,5 mm – Zink.

Abbildung 21: Histogramm Mischproben – Fraktion < 1 mm – Zink.

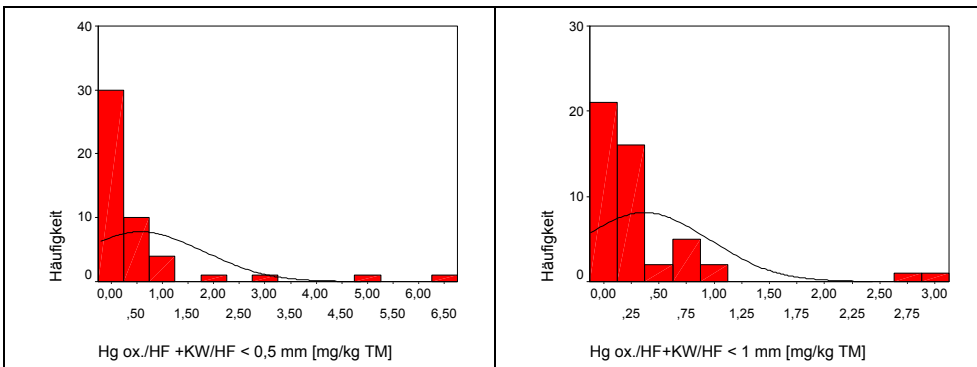


Abbildung 22: Histogramm Mischproben – Fraktion < 0,5 mm – Quecksilber.

Abbildung 23: Histogramm Mischproben – Fraktion < 1 mm – Quecksilber.

### 4.3 Varianzanalyse und Auswertung der Fraktionen < 1 mm und < 0,5 mm

In den Tabellen auf den Seiten 26 bis 66 werden die Auswertungen der untersuchten Mischproben nach Aufschluss ox./HF bzw. nach Aufschluss KW/HF dargestellt.

Die untersuchten Mischproben umfassen:

- Tagesmischprobe 1 (TMP 1 – Container 1)
- Tagesmischprobe 2 (TMP 2)
- Tagesmischprobe 3 (TMP 3)
- Tagesmischprobe 4 (TMP 4)
- zweistufige Wochenmischprobe aus Tagesmischproben (WMP aus TMPs)
- einstufige Wochenmischproben aus Einzelproben (WMP aus Ez).

Um die Frage zu beantworten, ob eine Zerkleinerung auf < 0,5 mm deutlich bessere Ergebnisse mit niedrigeren Standardabweichungen ergibt, wurde das bereits in der Studie ERSA (UMWELTBUNDESAMT 2006) angewendete Varianzanalysekonzept in Anlehnung an NT ENVIR 004, Annex E3 ausgewählt.

#### Erläuterungen zur Varianzanalyse

Es werden üblicherweise zumindest zehn Mischproben für das Varianzanalysekonzept vorgeschlagen – aufgrund der verfügbaren Ressourcen und damit die bereits vorhandenen Daten zur Fraktion < 1 mm nach oxidativem Aufschluss mit Flusssäurezugabe (ox./HF) aus der Studie ERSA direkt genutzt werden konnten, wurden die bisherigen Varianzkonzepte gemäß NT ENVIR 004, Annex E3 für die anschließenden Untersuchungen auf Einfluss von Korngröße und Säurematrix für den Aufschluss beibehalten.

Wie in Abbildung 2 und Abbildung 3 auf Seite 16 veranschaulicht, wurde jede Mischprobe in Ebene 1 in zwei 50 l Laborproben A und B mit einer Korngröße von < 30 mm geteilt. Während die Laborprobe B nach dem üblichen Verfahren bis zur Analysenprobe < 1 mm bzw. fortführend auf < 0,5 mm aufgearbeitet wurde (Bezeichnung B11), wurden aus der Laborprobe A in Ebene 2 jeweils zwei 10 l Laborproben A1 und A2 hergestellt und diese weiter zur Analysenprobe < 1 mm bzw. < 0,5 mm zerkleinert.

In Ebene 3 auf der Stufe der Analysenprobe der Laborproben A1 wurden jeweils zwei unabhängige Einwaagen aus der < 1 mm bzw. < 0,5 mm Analysenprobe einem Säureaufschluss unter Druck zugeführt (Bezeichnung: A11 und A12 bzw. A21). Dabei wurde stets darauf geachtet, dass beide Einwaagen in zwei verschiedenen Serien an Aufschlüssen bearbeitet wurden (Ziel: unabhängige Wiederholbestimmung, Aufteilung daher auf zwei Serien).

Pro Mischprobe standen für das Varianzanalysekonzept jeweils  $n = 4$  unabhängige Analyseergebnisse zur Verfügung. Insgesamt ergab das pro Analyt und Säurematrix 24 Datensätze (6 Mischproben zu je 4 unabhängigen Analyseergebnissen).





### Kurzbeschreibung des Verfahrens der Varianzanalyse<sup>5</sup>

Sämtliche Daten wurden auf den jeweiligen Mittelwert normiert. Es wurden die Differenzen der Ebene 3 zwischen den unabhängigen Aufschlüssen (A11 und A12) berechnet ( $n = 6$  Datensätze). Die Differenzen zwischen den berechneten Mittelwerten der Teilprobe A1 (MW aus A11 und A12) und zwischen den Ergebnissen der Teilprobe A21 wurden zur Abschätzung der Differenz auf Ebene 2 herangezogen ( $n = 6$  Datensätze). Weiters konnten die Differenzen auf Ebene 1 berechnet werden, indem die Abweichungen zwischen den Mittelwerten aus der Teilprobe A und dem Ergebnis der Teilprobe B11 ausgewertet wurden ( $n = 6$  Datensätze).

Da es unterschiedliche Wiederholungen auf jeder der betrachteten Ebene gab, wurden die kumulativen Varianzen für jede Ebene durch entsprechende Berücksichtigung der Mehrfachanalysen ermittelt.

Die berechneten Varianzen auf jeder Stufe wurden wie folgt abgeleitet und bezeichnet:

#### Varianz der Ebene 3 – Analyse

- Aus der Varianz wurde die Standardabweichung der Analysenstufe berechnet; Bezeichnung „% SD Analyse“.

Die Ursache der Unterschiede zwischen den Ergebnissen auf der Analysenstufe (A11 und A12) liegen in der Heterogenität der auf  $< 1$  mm bzw. auf  $< 0,5$  mm aufbereiteten Fraktion und in den Unsicherheitskomponenten aus Einwaage, Aufschluss und Analysenmethode. Um die Wiederholbarkeit des Verfahrens zu bestimmen, wurden im Rahmen der qualitätssichernden Maßnahmen Polyethylen-Referenzmaterialien EC 680, EC 680 k, EC 681 und EC 681 k aufgeschlossen und analysiert (relative Standardabweichungen zwischen unabhängigen Aufschlüssen/Messungen im Bereich von 0,1–6 % für ox./HF und 2–15 % für KW/HF).

#### Varianz der Ebene 2 – Probenteilung $< 8$ mm

- Aus der Varianz wurde die Standardabweichung der Probenteilung (10 l) berechnet; Bezeichnung „% SD Probenteilung  $< 8$  mm“.

Unterschiede zwischen den berechneten Mittelwerten aus den beiden unabhängigen Wiederholbestimmungen (A11 und A12) und den Ergebnissen der Analysenprobe A21 sind auf die Probenteilung in Ebene 2  $< 8$  mm (je 10 l) zurückzuführen.

#### Varianz der Ebene 1 – Probenteilung $< 30$ mm

- Aus der Varianz wurde die Standardabweichung der Probenteilung (50 l) berechnet; Bezeichnung „% SD Probenteilung  $< 30$  mm“.

---

<sup>5</sup> Eine ausführliche Beschreibung mit Dummydaten zur Veranschaulichung der Varianzanalyse kann Kapitel 12.2 auf Seite 207 der Studie ERSA (UMWELTBUNDESAMT 2006) entnommen werden.

Unterschiede zwischen den berechneten Mittelwerten aus der Teilprobe A und den Ergebnissen der Teilprobe B sind auf die Probenteilung in Ebene 1 < 30 mm zurückzuführen (je 50 l).

### **Gesamtvarianz – kombinierte Varianz aus Ebene 1 bis 3**

Die Gesamtvarianz aus Probenvorbereitung (Probenteilung auf 2 Ebenen) und Analyse wurde durch Summation über die individuellen Varianzen jeder Ebene (1, 2 und 3) berechnet – aus der Gesamtvarianz wurde die Gesamtstandardabweichung ermittelt und in den Tabellen ausgewiesen; Bezeichnung „% SD PV+Analyse“.

**Durch Vergleich der Ergebnisse für die beobachteten Standardabweichungen jeder Ebene mit der Gesamtstandardabweichung „% SD PV+Analyse“ kann rückgeschlossen werden, welche Ebene im Hinblick auf die beobachtete Gesamtstandardabweichung die dominierende Komponente ist.**

**Eine deutliche Verringerung der Gesamtstandardabweichung kann nur dann erzielt werden, wenn zusätzliche Maßnahmen bei der Probenvorbereitung eingeführt werden (z. B. tiefere Aufarbeitung, höhere Einwaagen, ...), die auf die Anteile der dominierenden Varianzkomponenten fokussieren und diese reduzieren.**

#### **4.3.1 Aufschluss mit Salpetersäure/Wasserstoffperoxid und Flußsäure (ox./HF)**

In diesem Abschnitt werden die Auswertungen der Varianzanalysedaten (Rohdaten, nicht gerundet) für die Analyten Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kobalt, Nickel, Antimon, Kupfer, Zink und Quecksilber für die oxidativen Säureaufschlüsse mit Flußsäure (ox./HF) für die Analysenproben der Fraktionen

- < 1 mm und
- < 0,5 mm

dargestellt.

**Gesamtmittelwert** Neben den Mittelwerten pro Ebene und Mischprobe ist zur Information im Anschluss an die Tabelle weiters ein „Gesamtmittelwert“ für die heterogene Ersatzbrennstofffraktion angegeben.

Der „Gesamtmittelwert“ wurde ohne Gewichtung innerhalb der n = 4 Datensätze pro Mischprobe berechnet. Durch die Mittelung über insgesamt 24 Daten fallen einzelne höhere Datensätze nicht so ins Gewicht.

**Ergebnisse der Varianzanalyse** Für jede Datentabelle wird die mittels Varianzanalyse ermittelte Gesamtstandardabweichung

- % SD PV+Analyse



und die Standardabweichungen für die einzelnen Ebenen

- % SD Analyse
- % SD Probenteilung < 8 mm
- % SD Probenteilung < 30 mm

auf 1 signifikante Stelle gerundet angegeben.

Ein graphischer Überblick findet sich Kapitel 4.4 auf Seite 67 ff.

***graphischer  
Überblick***

Tabelle 4: Auswertung der Mischproben und Varianzanalyse – Arsen – Aufschluss ox./HF &lt; 1 mm.

Arsen		Analysen- probe A11 < 1 mm	Analysen- probe A12 < 1 mm	Mittelwert Teilprobe A1	Analysen- probe A21 < 1 mm	Mittelwert Teil- probe A	Analysen- probe B11 < 1 mm	Mittelwert Mischprobe
Bezeichnung	Probe Nr.	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
TMP 1 (Container 1)	1	1,3	1,2	1,3	0,9	1,1	1,2	1,1
TMP 2	2	2,6	1,6	2,1	1,8	2,0	1,1	1,5
TMP 3	3	2,1	1,7	1,9	2,0	1,9	1,1	1,5
TMP 4	4	1,1	1,0	1,0	10,9	6,0	0,9	3,5
WMP aus TMPs	5	1,5	1,3	1,4	1,9	1,7	3,1	2,4
WMP aus Ez	6	1,1	1,5	1,3	1,1	1,2	0,9	1,1
Gesamtmittelwert		1,9	mg/kg TM					
% SD PV+Analyse		80	%					
% SD Analyse		20	%					
% SD Probenteilung < 8 mm		80	%					
% SD Probenteilung < 30 mm		-	%					

Tabelle 5: Auswertung der Mischproben und Varianzanalyse – Arsen – Aufschluss ox./HF < 0,5 mm.

Arsen		Analysen- probe A11 < 0,5 mm	Analysen- probe A12 < 0,5 mm	Mittelwert Teilprobe A1	Analysen- probe A21 < 0,5 mm	Mittelwert Teil- probe A	Analysen- probe B11 < 0,5 mm	Mittelwert Mischprobe
Bezeichnung	Probe Nr.	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
TMP 1 (Container 1)	1	1,1	1,4	1,3	1,4	1,4	1,0	1,2
TMP 2	2	1,6	1,3	1,4	1,5	1,5	1,5	1,5
TMP 3	3	1,6	1,7	1,6	1,6	1,6	1,1	1,4
TMP 4	4	1,1	1,0	1,1	1,4	1,2	1,1	1,2
WMP aus TMPs	5	1,3	1,4	1,3	1,5	1,4	4,8	3,1
WMP aus Ez	6	1,39	1,6	1,4	1,3	1,4	1,3	1,3
Gesamtmittelwert		1,5	mg/kg TM					
% SD PV+Analyse		40	%					
% SD Analyse		10	%					
% SD Probenteilung < 8 mm		3	%					
% SD Probenteilung < 30 mm		30	%					



Tabelle 6: Auswertung der Mischproben und Varianzanalyse – Blei – Aufschluss ox./HF &lt; 1 mm.

Blei		Analysen- probe A11 < 1 mm	Analysen- probe A12 < 1 mm	Mittelwert Teilprobe A1	Analysen- probe A21 < 1 mm	Mittelwert Teilprobe A	Analysen- probe B11 < 1 mm	Mittelwert Mischprobe
Bezeichnung	Probe Nr.	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
TMP 1 (Container 1)	1	72	51	61	48	55	73	64
TMP 2	2	93	79	86	123	105	141	123
TMP 3	3	299	46	172	112	142	70	106
TMP 4	4	303	81	192	147	170	100	135
WMP aus TMPs	5	115	91	103	209	156	64	110
WMP aus Ez	6	102	101	102	64	83	117	100
Gesamtmittelwert		113	mg/kg TM					
% SD PV+Analyse		80	%					
% SD Analyse		80	%					
% SD Probenteilung < 8 mm		-	%					
% SD Probenteilung < 30 mm		-	%					

Tabelle 7: Auswertung der Mischproben und Varianzanalyse – Blei – Aufschluss ox./HF < 0,5 mm.

Blei		Analysen- probe A11 < 0,5 mm	Analysen- probe A12 < 0,5 mm	Mittelwert Teilprobe A1	Analysen- probe A21 < 0,5 mm	Mittelwert Teilprobe A	Analysen- probe B11 < 0,5 mm	Mittelwert Mischprobe
Bezeichnung	Probe Nr.	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
TMP 1 (Container 1)	1	83	77	80	107	94	100	97
TMP 2	2	121	117	119	124	121	142	132
TMP 3	3	97	110	103	88	96	83	89
TMP 4	4	133	139	136	134	135	154	145
WMP aus TMPs	5	126	106	116	122	119	139	129
WMP aus Ez	6	104	92	98	116	107	115	111
Gesamtmittelwert		114	mg/kg TM					
% SD PV+Analyse		10	%					
% SD Analyse		7	%					
% SD Probenteilung < 8 mm		9	%					
% SD Probenteilung < 30 mm		-	%					

Tabelle 8: Auswertung der Mischproben und Varianzanalyse – Cadmium – Aufschluss ox./HF &lt; 1 mm.

Cadmium		Analysen- probe A11 < 1 mm	Analysen- probe A12 < 1 mm	Mittelwert Teilprobe A1	Analysen- probe A21 < 1 mm	Mittelwert Teilprobe A	Analysen- probe B11 < 1 mm	Mittelwert Mischprobe
Bezeichnung	Probe Nr.	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
TMP 1 (Container 1)	1	1,2	4,7	2,9	1,4	2,2	1,4	1,8
TMP 2	2	2,1	3,8	3,0	44,2	23,6	7,6	15,6
TMP 3	3	1,9	1,5	1,7	4,6	3,2	1,5	2,3
TMP 4	4	2,0	0,8	1,4	1,1	1,3	3,4	2,3
WMP aus TMPs	5	2,6	13,4	8,0	7,8	7,9	2,4	5,2
WMP aus Ez	6	2,1	3,2	2,7	2,0	2,3	1,5	1,9
Gesamtmittelwert		4,9	mg/kg TM					
% SD PV+Analyse		100	%					
% SD Analyse		90	%					
% SD Probenteilung < 8 mm		50	%					
% SD Probenteilung < 30 mm		-	%					



Tabelle 9: Auswertung der Mischproben und Varianzanalyse – Cadmium – Aufschluss ox./HF < 0,5 mm.

Cadmium		Analysen- probe A11 < 0,5 mm	Analysen- probe A12 < 0,5 mm	Mittelwert Teilprobe A1	Analysen- probe A21 < 0,5 mm	Mittelwert Teilprobe A	Analysen- probe B11 < 0,5 mm	Mittelwert Mischprobe
Bezeichnung	Probe Nr.	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
TMP 1 (Container 1)	1	2,1	2,3	2,2	1,4	1,8	1,3	1,5
TMP 2	2	4,4	7,1	5,8	7,9	6,9	7,9	7,4
TMP 3	3	2,1	1,9	2,0	3,0	2,5	3,0	2,8
TMP 4	4	1,7	1,6	1,7	2,0	1,9	3,4	2,6
WMP aus TMPs	5	5,3	4,5	4,9	7,9	6,4	3,8	5,1
WMP aus Ez	6	7,4	4,9	6,1	4,0	5,1	3,3	4,2
Gesamtmittelwert		3,9	mg/kg TM					
% SD PV+Analyse		30	%					
% SD Analyse		20	%					
% SD Probenteilung < 8 mm		20	%					
% SD Probenteilung < 30 mm		9	%					

Tabelle 10: Auswertung der Mischproben und Varianzanalyse – Chrom – Aufschluss ox./HF &lt; 1 mm.

Chrom		Analysen- probe A11 < 1 mm	Analysen- probe A12 < 1 mm	Mittelwert Teilprobe A1	Analysen- probe A21 < 1 mm	Mittelwert Teilprobe A	Analysen- probe B11 < 1 mm	Mittelwert Mischprobe
Bezeichnung	Probe Nr.	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
TMP 1 (Container 1)	1	128	77	102	87	95	57	76
TMP 2	2	149	91	120	149	134	178	156
TMP 3	3	138	160	149	133	141	186	163
TMP 4	4	110	101	106	117	112	116	114
WMP aus TMPs	5	176	123	150	129	139	87	113
WMP aus Ez	6	125	124	124	176	150	103	126
Gesamtmittelwert		126	mg/kg TM					
% SD PV+Analyse		30	%					
% SD Analyse		30	%					
% SD Probenteilung < 8 mm		-	%					
% SD Probenteilung < 30 mm		20	%					

Tabelle 11: Auswertung der Mischproben und Varianzanalyse – Chrom – Aufschluss ox./HF < 0,5 mm.

Chrom		Analysen- probe A11 < 0,5 mm	Analysen- probe A12 < 0,5 mm	Mittelwert Teilprobe A1	Analysen- probe A21 < 0,5 mm	Mittelwert Teilprobe A	Analysen- probe B11 < 0,5 mm	Mittelwert Mischprobe
Bezeichnung	Probe Nr.	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
TMP 1 (Container 1)	1	84	89	87	127	107	68	87
TMP 2	2	116	125	121	139	130	167	149
TMP 3	3	113	108	111	136	123	229	176
TMP 4	4	155	132	144	148	146	172	159
WMP aus TMPs	5	122	120	121	120	120	121	121
WMP aus Ez	6	190	152	171	164	168	132	150
Gesamtmittelwert		135	mg/kg TM					
% SD PV+Analyse		30	%					
% SD Analyse		9	%					
% SD Probenteilung < 8 mm		10	%					
% SD Probenteilung < 30 mm		20	%					



Tabelle 12: Auswertung der Mischproben und Varianzanalyse – Kobalt – Aufschluss ox./HF &lt; 1 mm.

Kobalt		Analysen- probe A11 < 1 mm	Analysen- probe A12 < 1 mm	Mittelwert Teilprobe A1	Analysen- probe A21 < 1 mm	Mittelwert Teilprobe A	Analysen- probe B11 < 1 mm	Mittelwert Mischprobe
Bezeichnung	Probe Nr.	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
TMP 1 (Container 1)	1	3,7	3,4	3,5	3,4	3,5	3,7	3,6
TMP 2	2	8,0	2,9	5,5	2,7	4,1	3,3	3,7
TMP 3	3	7,1	5,0	6,0	6,4	6,2	5,3	5,7
TMP 4	4	4,0	5,5	4,7	6,4	5,6	5,5	5,5
WMP aus TMPs	5	5,0	3,4	4,2	3,6	3,9	5,3	4,6
WMP aus Ez	6	3,7	3,8	3,8	3,5	3,6	5,3	4,5
Gesamtmittelwert		4,6	mg/kg TM					
% SD PV+Analyse		40	%					
% SD Analyse		40	%					
% SD Probenteilung < 8 mm		-	%					
% SD Probenteilung < 30 mm		-	%					

Tabelle 13. Auswertung der Mischproben und Varianzanalyse – Kobalt – Aufschluss ox./HF < 0,5 mm.

Kobalt		Analysen- probe A11 < 0,5 mm	Analysen- probe A12 < 0,5 mm	Mittelwert Teilprobe A1	Analysen- probe A21 < 0,5 mm	Mittelwert Teilprobe A	Analysen- probe B11 < 0,5 mm	Mittelwert Mischprobe
Bezeichnung	Probe Nr.	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
TMP 1 (Container 1)	1	3,1	3,4	3,2	3,2	3,2	2,2	2,7
TMP 2	2	3,3	3,0	3,2	2,9	3,0	4,1	3,5
TMP 3	3	4,8	5,5	5,1	7,3	6,2	4,7	5,4
TMP 4	4	4,8	5,0	4,9	4,8	4,8	4,5	4,7
WMP aus TMPs	5	3,6	3,8	3,7	3,8	3,8	5,0	4,4
WMP aus Ez	6	3,7	3,6	3,6	4,1	3,9	5,6	4,7
Gesamtmittelwert		4,2	mg/kg TM					
% SD PV+Analyse		20	%					
% SD Analyse		5	%					
% SD Probenteilung < 8 mm		10	%					
% SD Probenteilung < 30 mm		20	%					

Tabelle 14: Auswertung der Mischproben und Varianzanalyse – Nickel – Aufschluss ox./HF &lt; 1 mm.

Nickel		Analysen- probe A11 < 1 mm	Analysen- probe A12 < 1 mm	Mittelwert Teilprobe A1	Analysen- probe A21 < 1 mm	Mittelwert Teilprobe A	Analysen- probe B11 < 1 mm	Mittelwert Mischprobe
Bezeichnung	Probe Nr.	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
TMP 1 (Container 1)	1	29	16	23	17	20	19	20
TMP 2	2	35	43	39	55	47	29	38
TMP 3	3	21	27	24	131	77	16	47
TMP 4	4	26	15	21	15	18	21	20
WMP aus TMPs	5	27	17	22	25	23	25	24
WMP aus Ez	6	30	31	31	39	35	21	28
Gesamtmittelwert		31	mg/kg TM					
% SD PV+Analyse		70	%					
% SD Analyse		30	%					
% SD Probenteilung < 8 mm		60	%					
% SD Probenteilung < 30 mm		-	%					

Tabelle 15: Auswertung der Mischproben und Varianzanalyse – Nickel – Aufschluss ox./HF < 0,5 mm.

Nickel		Analysen- probe A11 < 0,5 mm	Analysen- probe A12 < 0,5 mm	Mittelwert Teilprobe A1	Analysen- probe A21 < 0,5 mm	Mittelwert Teilprobe A	Analysen- probe B11 < 0,5 mm	Mittelwert Mischprobe
Bezeichnung	Probe Nr.	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
TMP 1 (Container 1)	1	15	15	15	26	21	12	16
TMP 2	2	55	42	49	59	54	56	55
TMP 3	3	22	19	20	61	41	17	29
TMP 4	4	22	21	22	25	24	22	23
WMP aus TMPs	5	24	25	25	24	24	31	28
WMP aus Ez	6	29	33	31	39	35	27	31
Gesamtmittelwert		30	mg/kg TM					
% SD PV+Analyse		50	%					
% SD Analyse		8	%					
% SD Probenteilung < 8 mm		50	%					
% SD Probenteilung < 30 mm		-	%					



Tabelle 16: Auswertung der Mischproben und Varianzanalyse – Antimon – Aufschluss ox./HF &lt; 1 mm.

Antimon		Analysen- probe A11 < 1 mm	Analysen- probe A12 < 1 mm	Mittelwert Teilprobe A1	Analysen- probe A21 < 1 mm	Mittelwert Teilprobe A	Analysen- probe B11 < 1 mm	Mittelwert Mischprobe
Bezeichnung	Probe Nr.	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
TMP 1 (Container 1)	1	87	125	106	204	155	110	132
TMP 2	2	21	577	299	30	165	54	109
TMP 3	3	52	129	91	31	61	27	44
TMP 4	4	156	57	107	20	63	41	52
WMP aus TMPs	5	64	335	200	45	122	349	236
WMP aus Ez	6	158	70	114	188	151	147	149
Gesamtmittelwert		128	mg/kg TM					
% SD PV+Analyse		200	%					
% SD Analyse		200	%					
% SD Probenteilung < 8 mm		-	%					
% SD Probenteilung < 30 mm		-	%					



Tabelle 17: Auswertung der Mischproben und Varianzanalyse – Antimon – Aufschluss ox./HF < 0,5 mm.

<b>Antimon</b>		<b>Analysen- probe A11 &lt; 0,5 mm</b>	<b>Analysen- probe A12 &lt; 0,5 mm</b>	<b>Mittelwert Teilprobe A1</b>	<b>Analysen- probe A21 &lt; 0,5 mm</b>	<b>Mittelwert Teilprobe A</b>	<b>Analysen- probe B11 &lt; 0,5 mm</b>	<b>Mittelwert Mischprobe</b>
<b>Bezeichnung</b>	<b>Probe Nr.</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>
TMP 1 (Container 1)	1	90	95	92	128	110	181	145
TMP 2	2	57	32	45	31	38	77	57
TMP 3	3	61	63	62	75	68	82	75
TMP 4	4	59	86	73	157	115	80	97
WMP aus TMPs	5	177	216	197	85	141	135	138
WMP aus Ez	6	85	94	90	82	86	165	125
Gesamtmittelwert		100	mg/kg TM					
% SD PV+Analyse		40	%					
% SD Analyse		20	%					
% SD Probenteilung < 8 mm		30	%					
% SD Probenteilung < 30 mm		8	%					

Tabelle 18: Auswertung der Mischproben und Varianzanalyse – Kupfer – Aufschluss ox./HF &lt; 1 mm.

Kupfer		Analysen- probe A11 < 1 mm	Analysen- probe A12 < 1 mm	Mittelwert Teilprobe A1	Analysen- probe A21 < 1 mm	Mittelwert Teilprobe A	Analysen- probe B11 < 1 mm	Mittelwert Mischprobe
Bezeichnung	Probe Nr.	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
TMP 1 (Container 1)	1	53	6.904	3.478	68	1.773	728	1.251
TMP 2	2	357	43	200	38	119	868	493
TMP 3	3	58	62	60	49	54	61	58
TMP 4	4	2.961	1.267	2.114	135	1.125	82	604
WMP aus TMPs	5	607	72	339	141	240	75	158
WMP aus Ez	6	943	548	746	814	780	1.294	1.037
Gesamtmittelwert		760	mg/kg TM					
% SD PV+Analyse		200	%					
% SD Analyse		200	%					
% SD Probenteilung < 8 mm		-	%					
% SD Probenteilung < 30 mm		-	%					

Tabelle 19: Auswertung der Mischproben und Varianzanalyse – Kupfer – Aufschluss ox./HF < 0,5 mm.

<b>Kupfer</b>		<b>Analysen- probe A11 &lt; 0,5 mm</b>	<b>Analysen- probe A12 &lt; 0,5 mm</b>	<b>Mittelwert Teilprobe A1</b>	<b>Analysen- probe A21 &lt; 0,5 mm</b>	<b>Mittelwert Teilprobe A</b>	<b>Analysen- probe B11 &lt; 0,5 mm</b>	<b>Mittelwert Mischprobe</b>
<b>Bezeichnung</b>	<b>Probe Nr.</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>
TMP 1 (Container 1)	1	169	150	159	442	301	222	261
TMP 2	2	120	102	111	153	132	534	333
TMP 3	3	176	515	346	208	277	87	182
TMP 4	4	120	172	146	1.057	602	404	503
WMP aus TMPs	5	4.089	1.332	2.711	898	1.804	922	1.363
WMP aus Ez	6	804	1.770	1.287	727	1.007	1.227	1.117
Gesamtmittelwert		683	mg/kg TM					
% SD PV+Analyse		90	%					
% SD Analyse		80	%					
% SD Probenteilung < 8 mm		30	%					
% SD Probenteilung < 30 mm		-	%					



Tabelle 20: Auswertung der Mischproben und Varianzanalyse – Zink – Aufschluss ox./HF &lt; 1 mm.

Zink		Analysen- probe A11 < 1 mm	Analysen- probe A12 < 1 mm	Mittelwert Teilprobe A1	Analysen- probe A21 < 1 mm	Mittelwert Teilprobe A	Analysen- probe B11 < 1 mm	Mittelwert Mischprobe
Bezeichnung	Probe Nr.	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
TMP 1 (Container 1)	1	178	156	167	136	152	191	171
TMP 2	2	1.571	398	984	289	637	242	439
TMP 3	3	292	473	383	287	335	281	308
TMP 4	4	2.577	654	1.616	2.267	1.942	223	1.082
WMP aus TMPs	5	291	230	261	273	267	304	286
WMP aus Ez	6	336	307	322	318	320	1.196	758
Gesamtmittelwert		561	mg/kg TM					
% SD PV+Analyse		100	%					
% SD Analyse		90	%					
% SD Probenteilung < 8 mm		-	%					
% SD Probenteilung < 30 mm		30	%					

Tabelle 21 Auswertung der Mischproben und Varianzanalyse – Zink – Aufschluss ox./HF < 0,5 mm.

Zink		Analysen- probe A11 < 0,5 mm	Analysen- probe A12 < 0,5 mm	Mittelwert Teilprobe A1	Analysen- probe A21 < 0,5 mm	Mittelwert Teilprobe A	Analysen- probe B11 < 0,5 mm	Mittelwert Mischprobe
Bezeichnung	Probe Nr.	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
TMP 1 (Container 1)	1	220	176	198	344	271	180	225
TMP 2	2	343	289	316	320	318	406	362
TMP 3	3	597	1.359	978	3.134	2.056	268	1.162
TMP 4	4	640	649	645	2.782	1.713	479	1.096
WMP aus TMPs	5	365	365	365	338	351	893	622
WMP aus Ez	6	315	331	323	361	342	1.131	737
Gesamtmittelwert		679	mg/kg TM					
% SD PV+Analyse		80	%					
% SD Analyse		20	%					
% SD Probenteilung < 8 mm		80	%					
% SD Probenteilung < 30 mm		-	%					

Tabelle 22: Auswertung der Mischproben und Varianzanalyse – Quecksilber – Aufschluss ox./HF &lt; 1 mm.

Quecksilber		Analysen- probe A11 < 1 mm	Analysen- probe A12 < 1 mm	Mittelwert Teilprobe A1	Analysen- probe A21 < 1 mm	Mittelwert Teilprobe A	Analysen- probe B11 < 1 mm	Mittelwert Mischprobe
Bezeichnung	Probe Nr.	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
TMP 1 (Container 1)	1	0,07	0,07	0,07	0,06	0,07	0,08	0,07
TMP 2	2	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,14
TMP 3	3	0,10	0,13	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11
TMP 4	4	0,76	0,70	0,73	0,96	0,84	0,86	0,85
WMP aus TMPs	5	0,14	0,13	0,14	0,12	0,13	3,1	1,6
WMP aus Ez	6	0,29	0,37	0,33	0,28	0,31	0,26	0,29
Gesamtmittelwert		0,39	mg/kg TM					
% SD PV+Analyse		50	%					
% SD Analyse		10	%					
% SD Probenteilung < 8 mm		-	%					
% SD Probenteilung < 30 mm		50	%					



Tabelle 23: Auswertung der Mischproben und Varianzanalyse – Quecksilber – Aufschluss ox./HF < 0,5 mm.

Quecksilber		Analysen- probe A11 < 0,5 mm	Analysen- probe A12 < 0,5 mm	Mittelwert Teilprobe A1	Analysen- probe A21 < 0,5 mm	Mittelwert Teilprobe A	Analysen- probe B11 < 0,5 mm	Mittelwert Mischprobe
Bezeichnung	Probe Nr.	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
TMP 1 (Container 1)	1	0,09	0,10	0,09	0,08	0,09	0,07	0,08
TMP 2	2	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
TMP 3	3	0,12	0,12	0,12	0,20	0,16	0,10	0,13
TMP 4	4	0,87	0,79	0,83	6,52	3,68	0,67	2,18
WMP aus TMPs	5	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	2,90	1,53
WMP aus Ez	6	0,45	0,37	0,41	0,30	0,36	0,29	0,32
Gesamtmittelwert		0,63	mg/kg TM					
% SD PV+Analyse		80	%					
% SD Analyse		7	%					
% SD Probenteilung < 8 mm		80	%					
% SD Probenteilung < 30 mm		-	%					

### 4.3.2 Aufschluss mit Königswasser und Flusssäure (KW/HF)

In diesem Abschnitt werden die Auswertungen der Varianzanalysedaten (Rohdaten, nicht gerundet) für die Analyten Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kobalt, Nickel, Antimon, Kupfer, Zink und Quecksilber für die Säureaufschlüsse mit Königswasser und Flusssäure (KW/HF) für die Analysenproben der Fraktionen

- < 1 mm und
- < 0,5 mm

dargestellt.

**Gesamtmittelwert** Neben den Mittelwerten pro Ebene und Mischprobe ist zur Information im Anschluss an die Tabelle weiters ein „Gesamtmittelwert“ für die heterogene Ersatzbrennstofffraktion angegeben.

Der „Gesamtmittelwert“ wurde ohne Gewichtung innerhalb der  $n = 4$  Datensätze pro Mischprobe berechnet. Durch die Mittelung über insgesamt 24 Daten fallen einzelne höhere Datensätze nicht so ins Gewicht.

**Ergebnisse der Varianzanalyse** Für jede Datentabelle wird die mittels Varianzanalyse ermittelte Gesamtstandardabweichung

- % SD PV+Analyse

und die Standardabweichungen für die einzelnen Ebenen

- % SD Analyse
- % SD Probenteilung < 8 mm
- % SD Probenteilung < 30 mm

auf 1 signifikante Stelle gerundet angegeben.

**graphische Darstellung** Ein graphischer Überblick findet sich in Kapitel 4.4 ab Seite 67 ff.



Tabelle 24: Auswertung der Mischproben und Varianzanalyse – Arsen – Aufschluss KW/HF < 1 mm.

Arsen AAS		Analysen- probe A11 < 1 mm	Analysen- probe A12 < 1 mm	Mittelwert Teilprobe A1	Analysen- probe A21 < 1 mm	Mittelwert Teilprobe A	Analysen- probe B11 < 1 mm	Mittelwert Mischprobe
Bezeichnung	Probe Nr.	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
TMP 1 (Container 1)	1	1,1	1,3	1,2	1,8	1,5	1,3	1,4
TMP 2	2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,3	1,5	1,4
TMP 3	3	1,6	2,2	1,9	1,2	1,6	1,2	1,4
TMP 4	4	1,1	1,5	1,3	1,4	1,4	1,0	1,2
WMP aus TMPs	5	1,1	1,6	1,3	1,3	1,3	1,9	1,6
WMP aus Ez	6	1,1	1,6	1,4	8,7	5,0	1,5	3,3
Gesamtmittelwert		1,7	mg/kg TM					
% SD PV+Analyse		70	%					
% SD Analyse		20	%					
% SD Probenteilung < 8 mm		70	%					
% SD Probenteilung < 30 mm		-	%					

Tabelle 25: Auswertung der Mischproben und Varianzanalyse – Arsen – Aufschluss KW/HF &lt; 0,5 mm.

Arsen		Analysen- probe A11 < 0,5 mm	Analysen- probe A12 < 0,5 mm	Mittelwert Teilprobe A1	Analysen- probe A21 < 0,5 mm	Mittelwert Teilprobe A	Analysen- probe B11 < 0,5 mm	Mittelwert Mischprobe
Bezeichnung	Probe Nr.	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
TMP 1 (Container 1)	1	1,1	1,2	1,1	1,8	1,4	1,3	1,4
TMP 2	2	1,7	1,5	1,6	1,7	1,7	1,4	1,5
TMP 3	3	1,7	1,5	1,6	1,4	1,5	1,1	1,3
TMP 4	4	1,1	1,1	1,1	1,4	1,2	0,9	1,1
WMP aus TMPs	5	1,8	1,3	1,6	1,3	1,4	4,0	2,7
WMP aus Ez	6	1,4	1,6	1,5	1,3	1,4	1,2	1,3
Gesamtmittelwert		1,5	mg/kg TM					
% SD PV+Analyse		30	%					
% SD Analyse		9	%					
% SD Probenteilung < 8 mm		20	%					
% SD Probenteilung < 30 mm		30	%					

Tabelle 26: Auswertung der Mischproben und Varianzanalyse – Blei – Aufschluss KW/HF < 1 mm.

<b>Blei</b>		<b>Analysen- probe A11 &lt; 1 mm</b>	<b>Analysen- probe A12 &lt; 1 mm</b>	<b>Mittelwert Teilprobe A1</b>	<b>Analysen- probe A21 &lt; 1 mm</b>	<b>Mittelwert Teilprobe A</b>	<b>Analysen- probe B11 &lt; 1 mm</b>	<b>Mittelwert Mischprobe</b>
<b>Bezeichnung</b>	<b>Probe Nr.</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>
TMP 1 (Container 1)	1	62	155	108	94	101	124	112
TMP 2	2	57	111	84	117	100	194	147
TMP 3	3	58	119	89	117	103	64	83
TMP 4	4	134	80	107	26	66	84	75
WMP aus TMPs	5	60	120	90	69	79	105	92
WMP aus Ez	6	72	72	72	74	73	65	69
Gesamtmittelwert		93	mg/kg TM					
% SD PV+Analyse		40	%					
% SD Analyse		40	%					
% SD Probenteilung < 8 mm		-	%					
% SD Probenteilung < 30 mm		-	%					



Tabelle 27: Auswertung der Mischproben und Varianzanalyse – Blei – Aufschluss KW/HF &lt; 0,5 mm.

Blei		Analysen- probe A11 < 0,5 mm	Analysen- probe A12 < 0,5 mm	Mittelwert Teilprobe A1	Analysen- probe A21 < 0,5 mm	Mittelwert Teilprobe A	Analysen- probe B11 < 0,5 mm	Mittelwert Mischprobe
Bezeichnung	Probe Nr.	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
TMP 1 (Container 1)	1	71	74	72	129	101	87	94
TMP 2	2	168	136	152	116	134	153	143
TMP 3	3	111	112	112	94	103	95	99
TMP 4	4	170	177	173	147	160	115	137
WMP aus TMPs	5	139	51	95	83	89	150	119
WMP aus Ez	6	83	112	97	115	106	110	108
Gesamtmittelwert		116	mg/kg TM					
% SD PV+Analyse		20	%					
% SD Analyse		20	%					
% SD Probenteilung < 8 mm		5	%					
% SD Probenteilung < 30 mm		-	%					

Tabelle 28: Auswertung der Mischproben und Varianzanalyse – Cadmium – Aufschluss KW/HF < 1 mm.

Cadmium		Analysen- probe A11 < 1 mm	Analysen- probe A12 < 1 mm	Mittelwert Teilprobe A1	Analysen- probe A21 < 1 mm	Mittelwert Teilprobe A	Analysen- probe B11 < 1 mm	Mittelwert Mischprobe
Bezeichnung	Probe Nr.	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
TMP 1 (Container 1)	1	1,9	2,2	2,0	2,2	2,1	1,4	1,8
TMP 2	2	4,8	5,2	5,0	4,1	4,5	10,2	7,4
TMP 3	3	1,8	1,5	1,7	3,0	2,3	1,4	1,8
TMP 4	4	2,5	3,6	3,1	0,6	1,9	10,2	6,1
WMP aus TMPs	5	4,0	7,0	5,5	4,8	5,2	6,0	5,6
WMP aus Ez	6	7,8	7,7	7,8	2,2	5,0	1,2	3,1
Gesamtmittelwert		4,1	mg/kg TM					
% SD PV+Analyse		70	%					
% SD Analyse		20	%					
% SD Probenteilung < 8 mm		60	%					
% SD Probenteilung < 30 mm		40	%					



Tabelle 29: Auswertung der Mischproben und Varianzanalyse – Cadmium – Aufschluss KW/HF &lt; 0,5 mm.

Cadmium		Analysen- probe A11 < 0,5 mm	Analysen- probe A12 < 0,5 mm	Mittelwert Teilprobe A1	Analysen- probe A21 < 0,5 mm	Mittelwert Teilprobe A	Analysen- probe B11 < 0,5 mm	Mittelwert Mischprobe
Bezeichnung	Probe Nr.	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
TMP 1 (Container 1)	1	1,4	2,0	1,7	1,9	1,8	1,0	1,4
TMP 2	2	6,5	9,0	7,7	6,5	7,1	6,5	6,8
TMP 3	3	2,0	3,7	2,8	1,7	2,3	1,4	1,9
TMP 4	4	2,0	2,0	2,0	2,3	2,1	2,9	2,5
WMP aus TMPs	5	3,9	2,8	3,3	7,3	5,3	3,9	4,6
WMP aus Ez	6	7,3	7,7	7,5	4,5	6,0	2,7	4,4
Gesamtmittelwert		3,9	mg/kg TM					
% SD PV+Analyse		40	%					
% SD Analyse		30	%					
% SD Probenteilung < 8 mm		20	%					
% SD Probenteilung < 30 mm		-	%					

Tabelle 30: Auswertung der Mischproben und Varianzanalyse – Chrom – Aufschluss KW/HF < 1 mm.

Chrom		Analysen- probe A11 < 1 mm	Analysen- probe A12 < 1 mm	Mittelwert Teilprobe A1	Analysen- probe A21 < 1 mm	Mittelwert Teilprobe A	Analysen- probe B11 < 1 mm	Mittelwert Mischprobe
Bezeichnung	Probe Nr.	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
TMP 1 (Container 1)	1	84	126	105	67	86	63	75
TMP 2	2	139	103	121	96	108	110	109
TMP 3	3	83	121	102	108	105	116	111
TMP 4	4	103	97	100	57	78	102	90
WMP aus TMPs	5	75	100	87	65	76	85	81
WMP aus Ez	6	98	100	99	138	118	57	88
Gesamtmittelwert		95	mg/kg TM					
% SD PV+Analyse		30	%					
% SD Analyse		20	%					
% SD Probenteilung < 8 mm		20	%					
% SD Probenteilung < 30 mm		-	%					

Tabelle 31: Auswertung der Mischproben und Varianzanalyse – Chrom – Aufschluss KW/HF &lt; 0,5 mm.

Chrom		Analysen- probe A11 < 0,5 mm	Analysen- probe A12 < 0,5 mm	Mittelwert Teilprobe A1	Analysen- probe A21 < 0,5 mm	Mittelwert Teilprobe A	Analysen- probe B11 < 0,5 mm	Mittelwert Mischprobe
Bezeichnung	Probe Nr.	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
TMP 1 (Container 1)	1	99	87	93	80	87	64	75
TMP 2	2	129	133	131	135	133	176	154
TMP 3	3	110	106	108	123	116	152	134
TMP 4	4	137	127	132	151	142	108	125
WMP aus TMPs	5	97	40	68	154	111	91	101
WMP aus Ez	6	154	142	148	139	143	103	123
Gesamtmittelwert		118	mg/kg TM					
% SD PV+Analyse		30	%					
% SD Analyse		20	%					
% SD Probenteilung < 8 mm		20	%					
% SD Probenteilung < 30 mm		-	%					



Tabelle 32: Auswertung der Mischproben und Varianzanalyse – Kobalt – Aufschluss KW/HF < 1 mm.

<b>Kobalt</b>		<b>Analysen- probe A11 &lt; 1 mm</b>	<b>Analysen- probe A12 &lt; 1 mm</b>	<b>Mittelwert Teilprobe A1</b>	<b>Analysen- probe A21 &lt; 1 mm</b>	<b>Mittelwert Teilprobe A</b>	<b>Analysen- probe B11 &lt; 1 mm</b>	<b>Mittelwert Mischprobe</b>
<b>Bezeichnung</b>	<b>Probe Nr.</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>
TMP 1 (Container 1)	1	4,5	3,9	4,2	3,8	4,0	4,5	4,3
TMP 2	2	3,4	3,7	3,5	2,2	2,9	5,0	3,9
TMP 3	3	5,4	6,2	5,8	9,8	7,8	5,9	6,9
TMP 4	4	4,1	9,6	6,9	2,3	4,6	6,3	5,4
WMP aus TMPs	5	4,5	4,1	4,3	3,3	3,8	4,9	4,4
WMP aus Ez	6	4,0	4,2	4,1	5,2	4,7	1,8	3,2
Gesamtmittelwert		4,7	mg/kg TM					
% SD PV+Analyse		40	%					
% SD Analyse		30	%					
% SD Probenteilung < 8 mm		20	%					
% SD Probenteilung < 30 mm		10	%					

Tabelle 33: Auswertung der Mischproben und Varianzanalyse – Kobalt – Aufschluss KW/HF &lt; 0,5 mm.

<b>Kobalt</b>		<b>Analysen- probe A11 &lt; 0,5 mm</b>	<b>Analysen- probe A12 &lt; 0,5 mm</b>	<b>Mittelwert Teilprobe A1</b>	<b>Analysen- probe A21 &lt; 0,5 mm</b>	<b>Mittelwert Teilprobe A</b>	<b>Analysen- probe B11 &lt; 0,5 mm</b>	<b>Mittelwert Mischprobe</b>
<b>Bezeichnung</b>	<b>Probe Nr.</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>
TMP 1 (Container 1)	1	3,5	3,6	3,5	3,8	3,6	3,3	3,5
TMP 2	2	3,7	3,4	3,5	3,2	3,4	4,5	4,0
TMP 3	3	5,3	4,9	5,1	7,4	6,2	4,6	5,4
TMP 4	4	5,4	5,1	5,3	5,4	5,3	4,7	5,0
WMP aus TMPs	5	4,2	1,8	3,0	3,9	3,5	4,8	4,1
WMP aus Ez	6	3,9	4,1	4,0	3,9	3,9	4,9	4,4
Gesamtmittelwert		4,3	mg/kg TM					
% SD PV+Analyse		20	%					
% SD Analyse		20	%					
% SD Probenteilung < 8 mm		-	%					
% SD Probenteilung < 30 mm		10	%					



Tabelle 34: Auswertung der Mischproben und Varianzanalyse – Nickel – Aufschluss KW/HF < 1 mm.

Nickel		Analysen- probe A11 < 1 mm	Analysen- probe A12 < 1 mm	Mittelwert Teilprobe A1	Analysen- probe A21 < 1 mm	Mittelwert Teilprobe A	Analysen- probe B11 < 1 mm	Mittelwert Mischprobe
Bezeichnung	Probe Nr.	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
TMP 1 (Container 1)	1	18	16	17	538	277	17	147
TMP 2	2	45	45	45	38	42	156	99
TMP 3	3	16	21	19	33	26	17	21
TMP 4	4	14	14	14	8	11	19	15
WMP aus TMPs	5	14	28	21	19	20	18	19
WMP aus Ez	6	25	25	25	26	26	8	17
Gesamtmittelwert		49	mg/kg TM					
% SD PV+Analyse		100	%					
% SD Analyse		20	%					
% SD Probenteilung < 8 mm		100	%					
% SD Probenteilung < 30 mm		-	%					

Tabelle 35: Auswertung der Mischproben und Varianzanalyse – Nickel – Aufschluss KW/HF &lt; 0,5 mm.

Nickel		Analysen- probe A11 < 0,5 mm	Analysen- probe A12 < 0,5 mm	Mittelwert Teilprobe A1	Analysen- probe A21 < 0,5 mm	Mittelwert Teilprobe A	Analysen- probe B11 < 0,5 mm	Mittelwert Mischprobe
Bezeichnung	Probe Nr.	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
TMP 1 (Container 1)	1	16	16	16	25	21	17	19
TMP 2	2	51	59	55	74	64	99	82
TMP 3	3	21	17	19	33	26	16	21
TMP 4	4	21	22	21	23	22	23	23
WMP aus TMPs	5	25	9	17	32	24	30	27
WMP aus Ez	6	32	37	34	35	35	33	34
Gesamtmittelwert		32	mg/kg TM					
% SD PV+Analyse		30	%					
% SD Analyse		20	%					
% SD Probenteilung < 8 mm		20	%					
% SD Probenteilung < 30 mm		-	%					



Tabelle 36: Auswertung der Mischproben und Varianzanalyse – Antimon – Aufschluss KW/HF < 1 mm.

<b>Antimon</b>		<b>Analysen- probe A11 &lt; 1 mm</b>	<b>Analysen- probe A12 &lt; 1 mm</b>	<b>Mittelwert Teilprobe A1</b>	<b>Analysen- probe A21 &lt; 1 mm</b>	<b>Mittelwert Teilprobe A</b>	<b>Analysen- probe B11 &lt; 1 mm</b>	<b>Mittelwert Mischprobe</b>
<b>Bezeichnung</b>	<b>Probe Nr.</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>
TMP 1 (Container 1)	1	142	149	146	78	112	78	95
TMP 2	2	58	34	46	16	31	52	42
TMP 3	3	100	71	85	295	190	245	218
TMP 4	4	92	278	185	40	113	129	121
WMP aus TMPs	5	96	191	144	64	104	53	79
WMP aus Ez	6	34	143	89	512	300	129	215
Gesamtmittelwert		128	mg/kg TM					
% SD PV+Analyse		90	%					
% SD Analyse		60	%					
% SD Probenteilung < 8 mm		60	%					
% SD Probenteilung < 30 mm		-	%					

Tabelle 37: Auswertung der Mischproben und Varianzanalyse – Antimon – Aufschluss KW/HF &lt; 0,5 mm.

Antimon		Analysen- probe A11 < 0,5 mm	Analysen- probe A12 < 0,5 mm	Mittelwert Teilprobe A1	Analysen- probe A21 < 0,5 mm	Mittelwert Teilprobe A	Analysen- probe B11 < 0,5 mm	Mittelwert Mischprobe
Bezeichnung	Probe Nr.	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
TMP 1 (Container 1)	1	137	151	144	144	144	88	116
TMP 2	2	52	45	48	43	45	59	52
TMP 3	3	77	59	68	76	72	75	73
TMP 4	4	113	140	127	141	134	60	97
WMP aus TMPs	5	156	51	104	64	84	124	104
WMP aus Ez	6	64	80	72	117	94	136	115
Gesamtmittelwert		94	mg/kg TM					
% SD PV+Analyse		40	%					
% SD Analyse		30	%					
% SD Probenteilung < 8 mm		-	%					
% SD Probenteilung < 30 mm		20	%					

Tabelle 38: Auswertung der Mischproben und Varianzanalyse – Kupfer – Aufschluss KW/HF < 1 mm.

<b>Kupfer</b>		<b>Analysen- probe A11 &lt; 1 mm</b>	<b>Analysen- probe A12 &lt; 1 mm</b>	<b>Mittelwert Teilprobe A1</b>	<b>Analysen- probe A21 &lt; 1 mm</b>	<b>Mittelwert Teilprobe A</b>	<b>Analysen- probe B11 &lt; 1 mm</b>	<b>Mittelwert Mischprobe</b>
<b>Bezeichnung</b>	<b>Probe Nr.</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>
TMP 1 (Container 1)	1	50	116	83	80.538	40.310	61	20.186
TMP 2	2	42	74	58	35	47	67	57
TMP 3	3	338	51	195	1.397	796	57	426
TMP 4	4	127	73	100	231	166	122	144
WMP aus TMPs	5	259	3.414	1.837	1.204	1.521	142	831
WMP aus Ez	6	2.249	174	1.212	7.061	4.136	148	2.142
Gesamtmittelwert		4.085	mg/kg TM					
% SD PV+Analyse		200	%					
% SD Analyse		100	%					
% SD Probenteilung < 8 mm		100	%					
% SD Probenteilung < 30 mm		-	%					

Tabelle 39: Auswertung der Mischproben und Varianzanalyse – Kupfer – Aufschluss KW/HF &lt; 0,5 mm.

<b>Kupfer</b>		<b>Analysen- probe A11 &lt; 0,5 mm</b>	<b>Analysen- probe A12 &lt; 0,5 mm</b>	<b>Mittelwert Teilprobe A1</b>	<b>Analysen- probe A21 &lt; 0,5 mm</b>	<b>Mittelwert Teilprobe A</b>	<b>Analysen- probe B11 &lt; 0,5 mm</b>	<b>Mittelwert Mischprobe</b>
<b>Bezeichnung</b>	<b>Probe Nr.</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>	<b>mg/kg TM</b>
TMP 1 (Container 1)	1	134	130	132	421	277	266	271
TMP 2	2	106	108	107	69	88	468	278
TMP 3	3	240	198	219	221	220	106	163
TMP 4	4	526	177	352	960	656	365	510
WMP aus TMPs	5	2.783	486	1.635	1.063	1.349	2.546	1.947
WMP aus Ez	6	1.063	2.946	2.005	2.822	2.414	3.319	2.866
Gesamtmittelwert		897	mg/kg TM					
% SD PV+Analyse		60	%					
% SD Analyse		40	%					
% SD Probenteilung < 8 mm		30	%					
% SD Probenteilung < 30 mm		30	%					



Tabelle 40: Auswertung der Mischproben und Varianzanalyse – Zink – Aufschluss KW/HF < 1 mm.

Zink		Analysen- probe A11 < 1 mm	Analysen- probe A12 < 1 mm	Mittelwert Teilprobe A1	Analysen- probe A21 < 1 mm	Mittelwert Teilprobe A	Analysen- probe B11 < 1 mm	Mittelwert Mischprobe
Bezeichnung	Probe Nr.	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
TMP 1 (Container 1)	1	149	167	158	42.731	21.444	149	10.797
TMP 2	2	305	242	274	249	262	275	268
TMP 3	3	431	3.084	1.758	29.569	15.663	230	7.947
TMP 4	4	274	332	303	257	280	467	373
WMP aus TMPs	5	219	264	241	213	227	311	269
WMP aus Ez	6	349	268	309	1.516	912	191	552
Gesamtmittelwert		3.427	mg/kg TM					
% SD PV+Analyse		200	%					
% SD Analyse		10	%					
% SD Probenteilung < 8 mm		200	%					
% SD Probenteilung < 30 mm		-	%					

Tabelle 41: Auswertung der Mischproben und Varianzanalyse – Zink – Aufschluss KW/HF &lt; 0,5 mm.

Zink		Analysen- probe A11 < 0,5 mm	Analysen- probe A12 < 0,5 mm	Mittelwert Teilprobe A1	Analysen- probe A21 < 0,5 mm	Mittelwert Teilprobe A	Analysen- probe B11 < 0,5 mm	Mittelwert Mischprobe
Bezeichnung	Probe Nr.	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
TMP 1 (Container 1)	1	166	150	158	291	225	161	193
TMP 2	2	414	292	353	307	330	374	352
TMP 3	3	1.021	1.073	1.047	1.861	1.454	253	854
TMP 4	4	1.424	1.200	1.312	4.005	2.659	330	1.495
WMP aus TMPs	5	1.282	159	721	266	493	746	620
WMP aus Ez	6	266	288	277	350	314	959	636
Gesamtmittelwert		735	mg/kg TM					
% SD PV+Analyse		80	%					
% SD Analyse		50	%					
% SD Probenteilung < 8 mm		50	%					
% SD Probenteilung < 30 mm		30	%					

Tabelle 42: Auswertung der Mischproben und Varianzanalyse – Quecksilber – Aufschluss KW/HF < 1 mm.

Quecksilber		Analysen- probe A11 < 1 mm	Analysen- probe A12 < 1 mm	Mittelwert Teilprobe A1	Analysen- probe A21 < 1 mm	Mittelwert Teilprobe A	Analysen- probe B11 < 1 mm	Mittelwert Mischprobe
Bezeichnung	Probe Nr.	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
TMP 1 (Container 1)	1	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
TMP 2	2	0,12	0,12	0,12	0,11	0,12	0,15	0,13
TMP 3	3	0,10	0,11	0,10	0,12	0,11	0,12	0,11
TMP 4	4	0,84	0,76	0,80	0,97	0,89	0,58	0,73
WMP aus TMPs	5	0,10	0,13	0,11	0,12	0,12	2,63	1,37
WMP aus Ez	6	0,38	0,33	0,36	0,22	0,29	0,15	0,22
Gesamtmittelwert		0,35	mg/kg TM					
% SD PV+Analyse		60	%					
% SD Analyse		9	%					
% SD Probenteilung < 8 mm		20	%					
% SD Probenteilung < 30 mm		50	%					

Tabelle 43: Auswertung der Mischproben und Varianzanalyse – Quecksilber – Aufschluss KW/HF &lt; 0,5 mm.

Quecksilber		Analysen- probe A11 < 0,5 mm	Analysen- probe A12 < 0,5 mm	Mittelwert Teilprobe A1	Analysen- probe A21 < 0,5 mm	Mittelwert Teilprobe A	Analysen- probe B11 < 0,5 mm	Mittelwert Mischprobe
Bezeichnung	Probe Nr.	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
TMP 1 (Container 1)	1	0,11	0,09	0,10	0,07	0,08	0,07	0,08
TMP 2	2	0,14	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14
TMP 3	3	0,14	0,13	0,14	0,21	0,17	0,10	0,14
TMP 4	4	0,81	1,00	0,91	5,02	2,96	0,61	1,79
WMP aus TMPs	5	0,10	0,14	0,12	0,03	0,08	2,25	1,16
WMP aus Ez	6	0,40	0,41	0,40	0,25	0,33	0,25	0,29
Gesamtmittelwert		0,53	mg/kg TM					
% SD PV+Analyse		80	%					
% SD Analyse		10	%					
% SD Probenteilung < 8 mm		70	%					
% SD Probenteilung < 30 mm		30	%					



#### 4.4 Graphische Darstellung der Auswertungen für Fraktionen < 1 mm und < 0,5 mm und Säurematrizes ox./HF sowie KW/HF

Die Boxplot-Graphiken auf den Seiten 68 bis 72 dienen zur einfachen und schnellen graphischen Veranschaulichung des Korngrößeneffektes und des Einflusses der Säuremischung für den Mikrowellen-unterstützten Druckaufschluss der getesteten Mischproben (Graphiken mit statistischem Softwarepaket SPSS erstellt).

Es ist zu beachten, dass für die graphische Darstellung bewusst keine Gewichtung innerhalb der Mischproben zwischen den Teilproben A11, A12, A21 und B11 vorgenommen wurde.<sup>6</sup>

Sämtliche  $n = 4$  Datensätze pro Mischprobe/Element/Korngröße/Säurematrix wurden für die graphische Gegenüberstellung in Form von Boxplots ausgewählt. Mittels Boxplot-Graphik werden Mediane als Linie innerhalb der Box, die Quartile als obere und untere Begrenzung der Boxes und Minima und Maxima als Whiskers (+/- Begrenzungen) abgebildet. Die Ordinaten wurden in den Abbildungen so gewählt, dass möglichst viel Information abzulesen ist (ggf. wurde von einer Darstellung des oberen Whiskers abgesehen).

Für die graphisch dargestellten Datensätze der Mischproben bedeutet dies:

- Kleinste und größte Ergebnisse für eine Mischprobe sind als Whiskers angegeben;
- die Mittelwerte zwischen dem kleinsten und nächsthöheren Wert (Rangordnung 1. und 2. Wert) sowie zwischen dem letzten und vorletzten Wert (Rangordnung 4 und 3) werden als Box dargestellt;
- der Mittelwert zwischen den mittleren beiden Werten (Rangordnung 2 und 3) werden als Median dargestellt.

Tabelle 44: Zuordnung der Bezeichnung in den Graphiken zur Probenbeschreibung.

Mischprobe Nr.	Probenbeschreibung
Nr. 1	TMP 1 (Container 1)
Nr. 2	TMP 2
Nr. 3	TMP 3
Nr. 4	TMP 4
Nr. 5	WMP aus TMPs
Nr. 6	WMP aus Ez

#### Erläuterung Boxplott-Graphiken

#### Probenbezeichnung Boxplots

Die nachfolgenden Abbildungsbeschriftungen wurden zur Erläuterung mit Kommentaren betreffend die graphisch festgestellte Breite der Verteilung ergänzt, falls eine Abhängigkeit von der Korngröße < 1 mm vermutet wurde.<sup>7</sup>

<sup>6</sup> Zur Erklärung der Abkürzungen siehe Abbildung 2 und Abbildung 3 auf Seite 14. Erläuterungen zur Varianzanalyse siehe Abschnitt 4.3 ab Seite 21.

<sup>7</sup> Die statistischen Prüfungen auf signifikante Unterschiede der Differenzen zwischen den Ergebnissen wurden auf Basis von Mittelwerten aus den hierarchisch korrekten unabhängigen Aufarbeitungen A11 und B11 durchgeführt (siehe Abschnitt Ergebnisse und Diskussion).

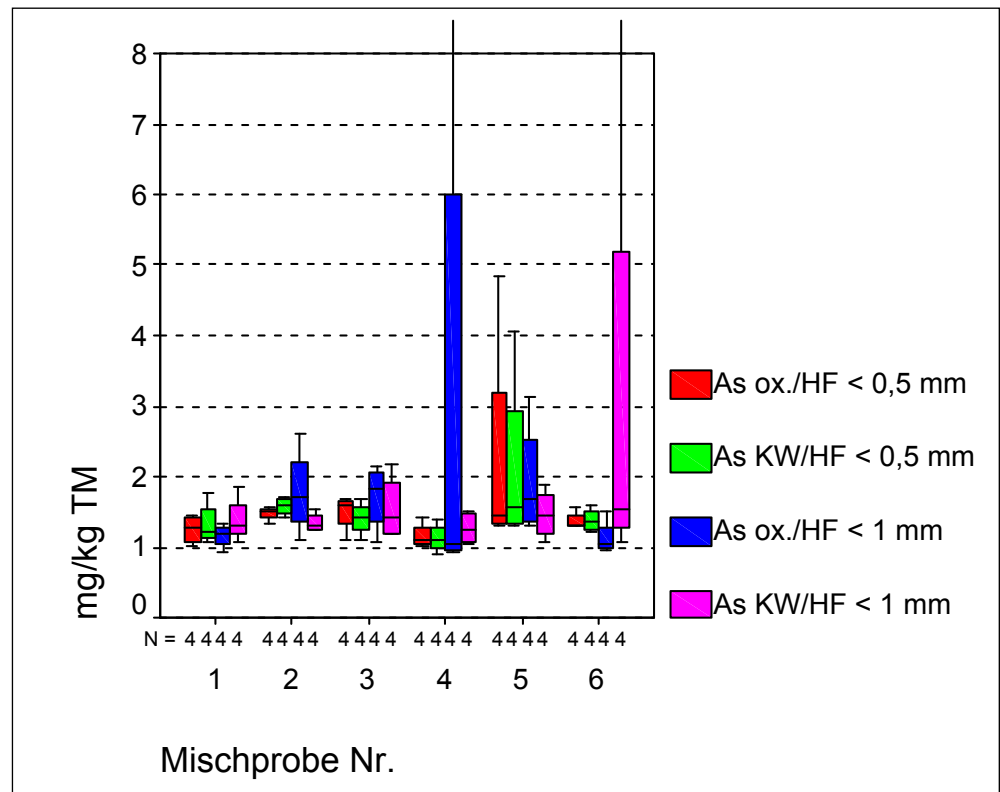


Abbildung 24: Boxplot-Darstellung zur Veranschaulichung des Korngrößeneffektes – Arsen (Breite Intervalle siehe vor allem < 1 mm Fraktion).

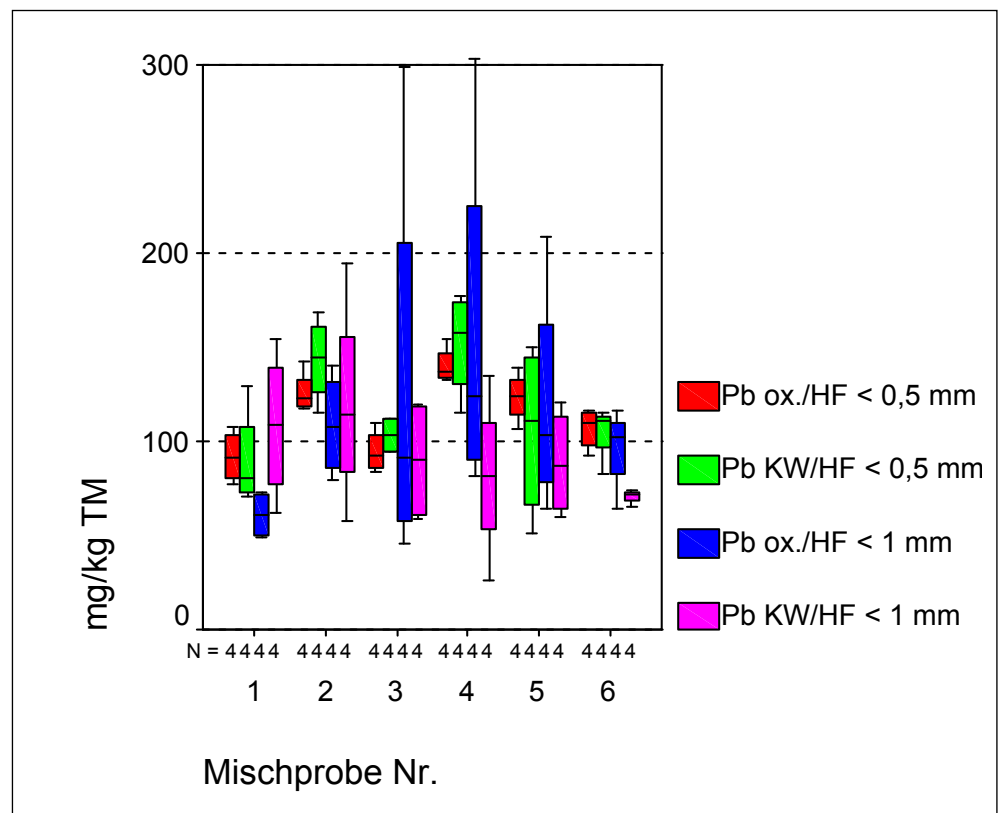


Abbildung 25: Boxplot-Darstellung zur Veranschaulichung des Korngrößeneffektes – Blei (Breite Intervalle siehe vor allem < 1 mm Fraktion).

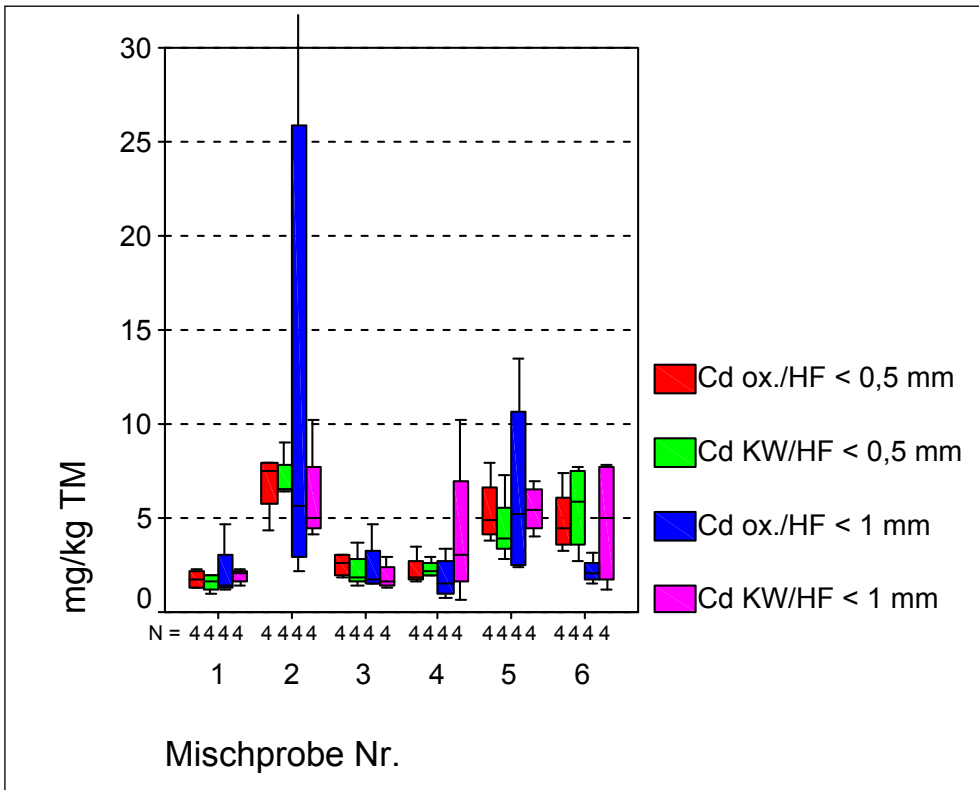


Abbildung 26: Boxplot-Darstellung zur Veranschaulichung des Korngrößeneffektes – Cadmium (Breite Intervalle siehe vor allem < 1 mm Fraktion).

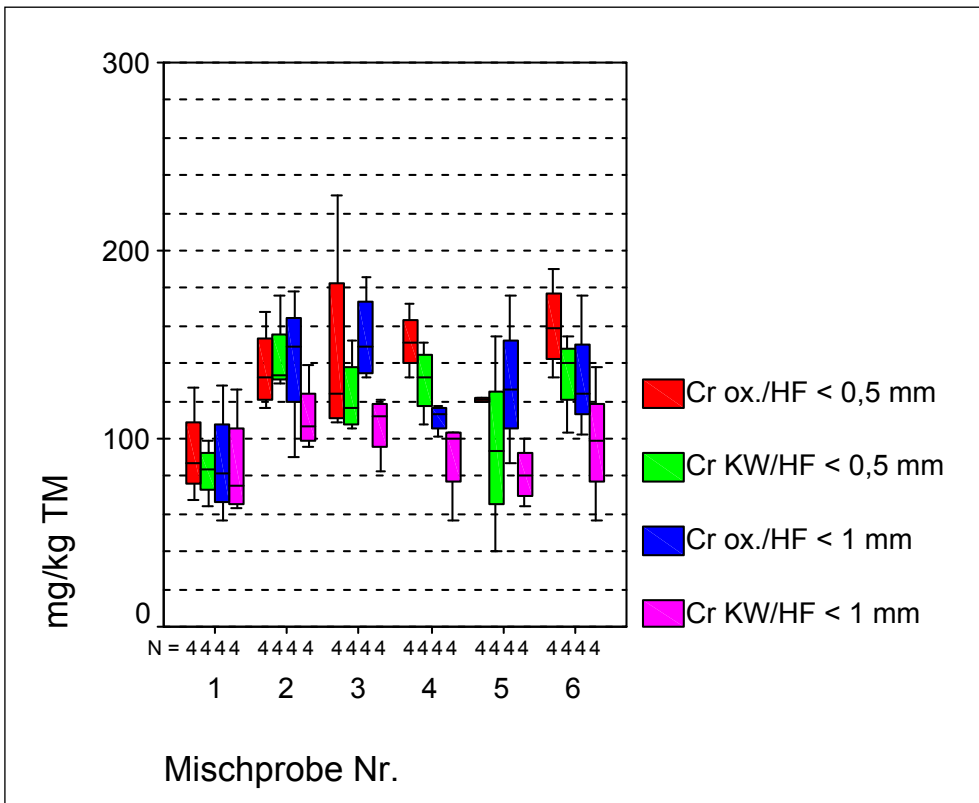


Abbildung 27: Boxplot-Darstellung zur Veranschaulichung des Korngrößeneffektes – Chrom.

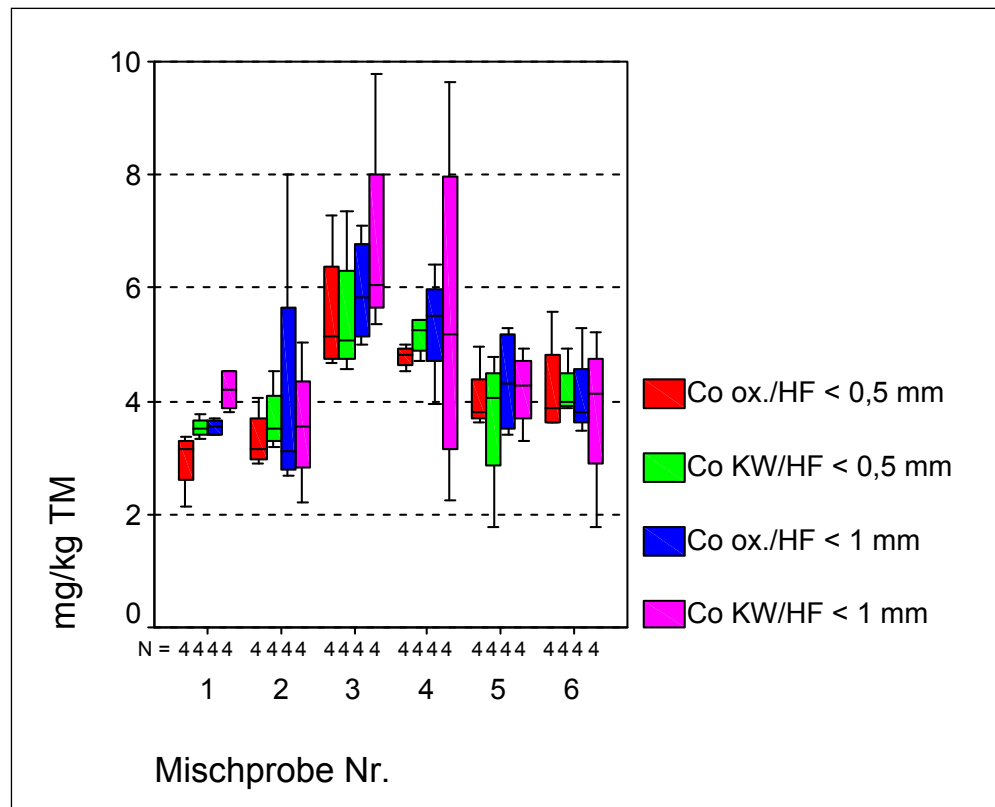


Abbildung 28: Boxplot-Darstellung zur Veranschaulichung des Korngrößeneffektes – Kobalt (Breite Intervalle siehe vor allem < 1 mm Fraktion).

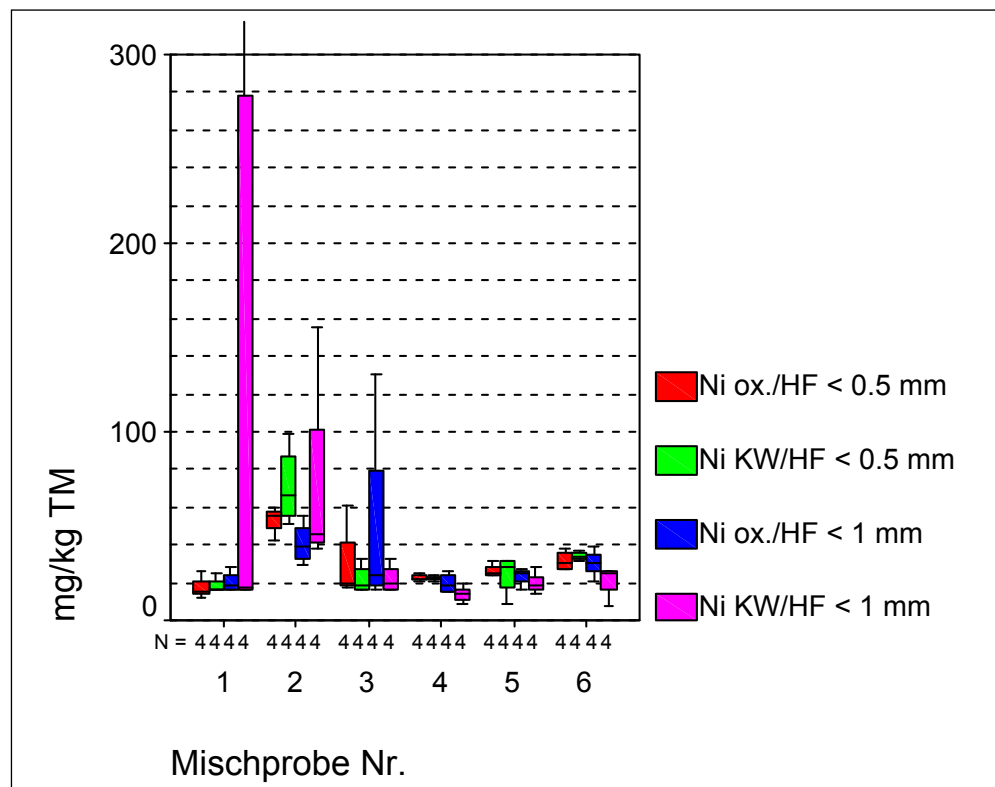


Abbildung 29: Boxplot-Darstellung zur Veranschaulichung des Korngrößeneffektes – Nickel (Breite Intervalle siehe vor allem < 1 mm Fraktion).



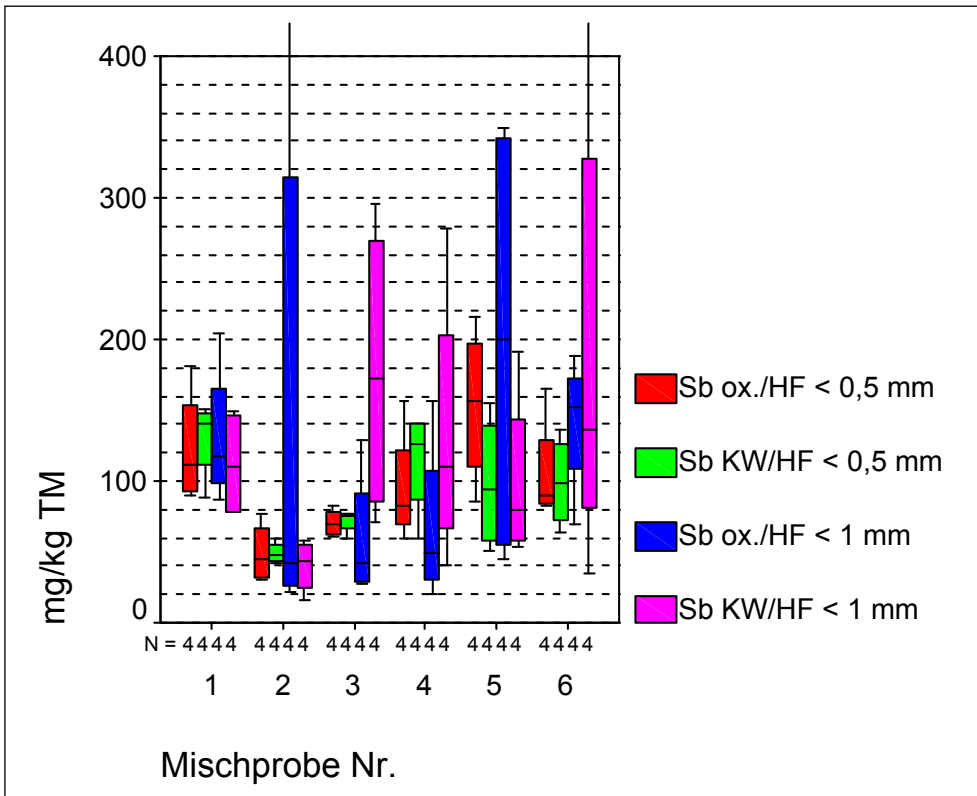


Abbildung 30: Boxplot-Darstellung zur Veranschaulichung des Korngrößeneffektes – Antimon (Breite Intervalle siehe vor allem <math>< 1\text{ mm}</math> Fraktion).

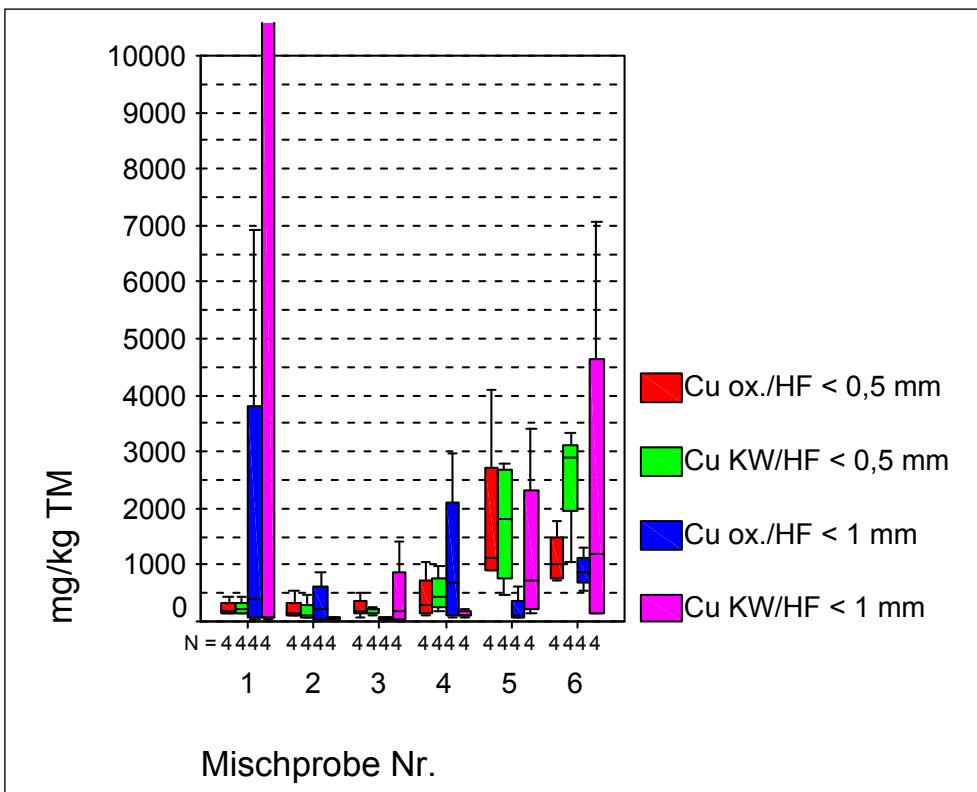


Abbildung 31: Boxplot-Darstellung zur Veranschaulichung des Korngrößeneffektes – Kupfer (Breite Intervalle siehe vor allem <math>< 1\text{ mm}</math> Fraktion).

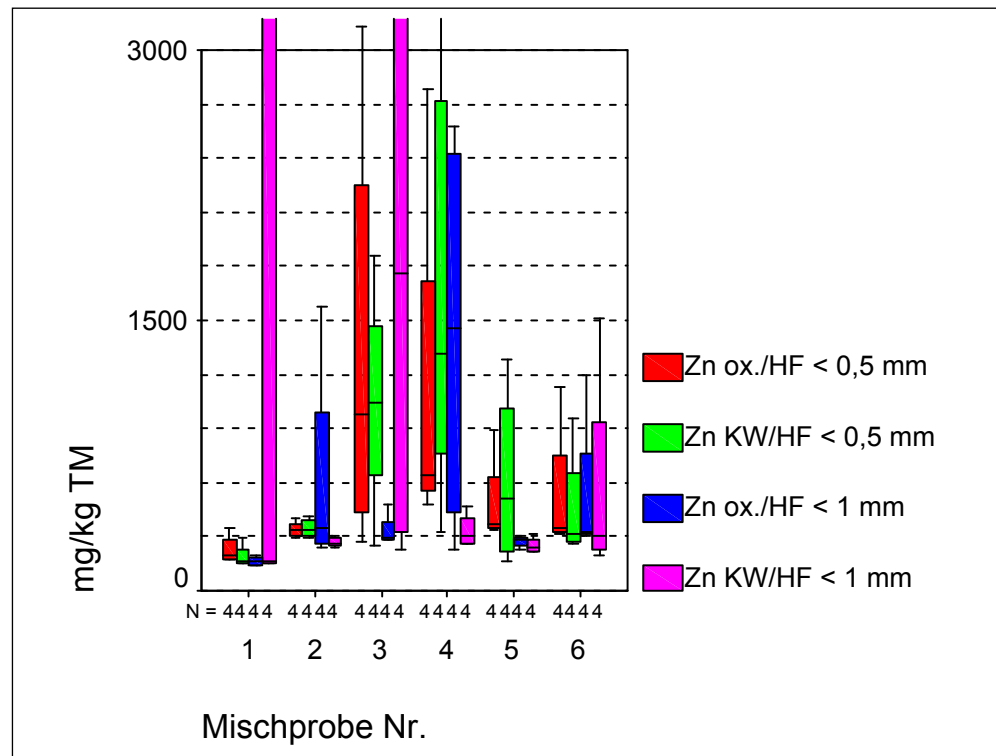


Abbildung 32: Boxplot-Darstellung zur Veranschaulichung des Korngrößeneffektes – Zink (Breite Intervalle vor allem < 1 mm Fraktion, jedoch auch bei < 0,5 mm beobachtbar).

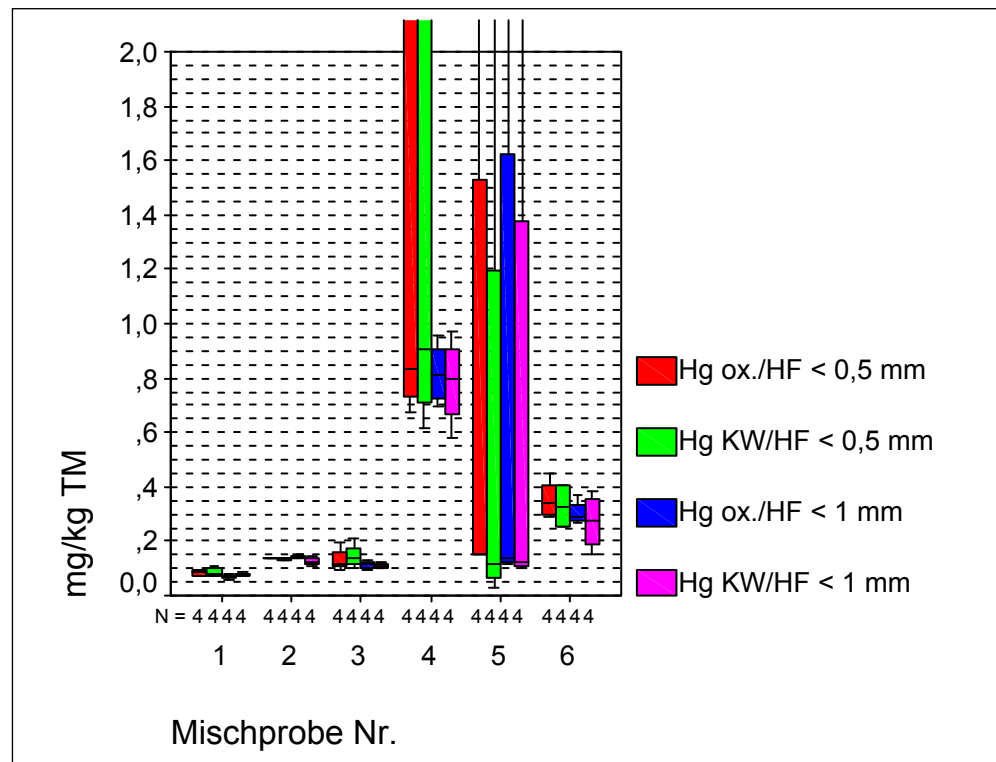


Abbildung 33: Boxplot-Darstellung zur Veranschaulichung des Korngrößeneffektes – Quecksilber (heterogene Verteilung in beiden Fraktionen ausgeprägt, vor allem bei Mischprobe Nr. 4 – TMP 4 und Mischprobe Nr. 5 – WMP aus TMPs).



## 5 ERGEBNISSE UND DISKUSSION

### 5.1 Vergleich der Varianzanalysedaten zur Ermittlung des Einflusses der Korngröße

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Varianzanalyse für die auf < 1 mm und die auf < 0,5 mm aufbereiteten Fraktionen, getrennt nach Aufschluss ox./HF und KW/HF gegenübergestellt.

Die Vergleiche beziehen sich auf nachfolgende statistische Kenngrößen:

- MW aus TMPs 1–4: berechneter Mittelwert aus den insgesamt n = 8 Einzelergebnissen für die unabhängig ermittelten Teilergebnisse der Fraktionen A11 und B11 für Mischprobe 1 bis 4, unterteilt in beide Säurematrizes für den Aufschluss ox./HF und KW/HF und weiters unterteilt in die Fraktionen < 0,5 mm und < 1 mm (Daten ungerundet).
- % SD PV+Analyse: Gesamtstandardabweichung aus der Varianzanalyse, getrennt gelistet nach Korngröße und Säurematrix (gerundet auf 1 sign. Stelle).
- % SD Analyse: Standardabweichung für die Ebene 3 – Analyse, getrennt gelistet nach Korngröße und Säurematrix (gerundet auf 1 sign. Stelle).
- % SD Probenentteilung < 8 mm: Standardabweichung für die Ebene 2 – Probenentteilung der Mischproben < 8 mm – 10 l – getrennt gelistet nach Korngröße und Säurematrix (gerundet auf 1 sign. Stelle).
- % SD Probenentteilung < 30 mm: Standardabweichung für die Ebene 1 – Probenentteilung der Mischproben < 30 mm – 50 l – getrennt gelistet nach Korngröße und Säurematrix (gerundet auf 1 sign. Stelle).

**Varianzanalyse  
Vergleich  
Korngrößen,  
Säureeinfluss**

Auf Basis der Verhältniszahlen für die Vergleiche der Mittelwerte aus den Tagesmischproben 1 bis 4 („MW aus TMPs 1–4“) für die Daten nach Säureaufschluss ox./HF und KW/HF, jeweils Ergebnisse der Fraktion < 1 mm bezogen auf die der Fraktion < 0,5 mm, kann rasch geschlossen werden, ob die Gehalte abhängig von der Korngröße signifikant unterschiedlich sind oder nicht.

**Verhältniszahlen**

Beispielsweise ergibt für Arsen das Verhältnis 1,1 für ox./HF und das Verhältnis 1,0 für KW/HF (Verhältnis jeweils < 1 mm zu < 0,5 mm). Die Verhältniszahlen der Gesamtstandardabweichung liegen im Bereich 2,0–2,3. Es ergeben sich für Arsen bei vergleichbaren Gehalten zwischen ox./HF und KW/HF signifikant höhere Standardabweichungen innerhalb der Tagesmischproben, die auf < 1 mm aufbereitet wurden. Daraus kann auf eine deutliche Reduktion der Standardabweichung für Arsen nach erfolgter Zerkleinerung auf < 0,5 mm geschlossen werden.



**Verhältniszahlen  
Bewertung  
Korngrößeneffekt**

**Liegt eine eindeutige Reduktion der Standardabweichung vor?**

Zur Bewertung, ob eine eindeutige Reduktion der beobachteten Standardabweichungen bei der Aufbereitung auf < 0,5 mm vorliegt, wurden die Verhältniszahlen zwischen den jeweiligen Standardabweichungen der Aufbereitung auf < 1 mm und der Standardabweichung bei der Aufbereitung auf < 0,5 mm – für die jeweilige Säurematrix getrennt – ermittelt.

**Falls eine Halbierung der Gesamtstandardabweichung durch die tiefere Aufbereitung auf < 0,5 mm erzielt werden konnte, wurde die Bewertung „ja, deutliche Reduktion“ abgegeben. Die weiteren Verhältniszahlen sind zur Information angegeben.**

In den angeführten Fällen (7 von 10 Analyten) konnte eine eindeutige Verbesserung der beobachteten Standardabweichung durch Korngrößenreduktion erzielt werden: Arsen, Blei, Cadmium, Kobalt, Nickel, Antimon, Kupfer.

Bei Zink (1 von 10 Analyten) fiel das Ergebnis nicht so eindeutig aus – es lag eine Verringerung der Standardabweichung um den Faktor 1,3 bis 2,5 vor.

Keine eindeutige Verbesserung der beobachteten Standardabweichungen konnte bei den Elementen Chrom und Quecksilber erzielt werden (2 von 10 Analyten).

**Vergleich TMPs  
Aufschluss  
KW/HF und ox./HF**

**Wiederfindungsrate, Aufschluss KW/HF bezogen auf Ergebnisse nach Aufschluss ox./HF**

Über die dargestellten berechneten Mittelwerte aus den Tagesmischproben TMP 1 bis 4 (n = 8 Datenpaare) wurden weiters die Wiederfindungsraten der nach Aufschluss KW/HF erhaltenen Mittelwerte, bezogen auf die nach Aufschluss ox./HF erhaltenen Mittelwerte für die Fraktion < 0,5 mm und die Fraktion < 1 mm, berechnet.

Die Minima und Maxima der Wiederfindungsrate (% WFR<sub>ox./HF</sub>) für die Aufbereitung auf < 0,5 mm liegen für die Analyten Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kobalt, Nickel, Antimon, Kupfer, Zink und Quecksilber im Bereich von 88 % bis 132 % (die Minima und Maxima der WFR für die < 1 mm Fraktion liegen bei 17 bis 163 %). Zur informativen Darstellung des mittleren Fehlers als +/- % WFR wurde der Standardfehler des Mittelwertes für die Tagesmischproben des betreffenden Analyten KW/HF auf den Mittelwert ox./HF bezogen.



Tabelle 45: Wiederfindungsraten Mittelwerte aus TMPs 1–4 ( $n = 8$ ) Analyten nach Aufschluss KW/HF, bez. auf Aufschluss ox./HF in Abhängigkeit von der Aufbereitung (ohne Ausreißerelimination, Daten zur Darstellung auf max. 2 sign. Stellen gerundet).

Analyt/Säurematrix	% WFR, Fraktion < 0,5 mm	% WFR, Fraktion < 1 mm
As KW/HF, bez. auf ox./HF	100 +/- 8	88 +/- 5
Pb KW/HF, bez. auf ox./HF	110 +/- 12	68 +/- 12
Cd KW/HF, bez. auf ox./HF	92 +/- 25	160 +/- 52
Cr KW/HF, bez. auf ox./HF	88 +/- 9	75 +/- 6
Co KW/HF, bez. auf ox./HF	110 +/- 7	97 +/- 7
Ni KW/HF, bez. auf ox./HF	120 +/- 37	150 +/- 70
Sb KW/HF, bez. auf ox./HF	96 +/- 12	160 +/- 32
Cu KW/HF, bez. auf ox./HF	120 +/- 25	17 +/- 5
Zn KW/HF, bez. auf ox./HF	130 +/- 41	41 +/- 6
Hg KW/HF, bez. auf ox./HF	96 +/- 36	91 +/- 36

Anmerkung: Die Mittelwerte ox./HF für Kupfer und Zink < 1 mm zeigen hohe Gehalte mit einer deutlich ausgeprägten Standardabweichung über die  $n = 8$  Bestimmungen an (RSD für Cu und Zn über 130 %). Der Vergleich auf Basis der % WFR Fraktion < 1 mm fällt daher sehr gering aus (17 % (Cu) versus 41 % (Zn))!

Der Vergleich der Wiederfindungsraten auf Basis der < 0,5 mm aufbereiteten Fraktion fällt deutlich besser aus!

Tabelle 46: Varianzanalyse – Ergebnisse und Bewertung – Arsen, Blei.

	Einheit	ox./HF < 0,5 mm	ox./HF < 1 mm	KW/HF < 0,5 mm	KW/HF < 1 mm	Verhältnis ox./HF < 1 mm zu < 0,5 mm	Verhältnis KW/HF < 1 mm zu < 0,5 mm	Deutliche Reduktion der SD nach Zerkleinerung auf < 0,5 mm
<b>Arsen</b>								
MW aus TMPs 1–4	mg/kg TM	1,3	1,4	1,3	1,3	1,1	1,0	
% SD PV+Analyse	%	40	80	30	70	2,0	2,3	<b>ja</b>
% SD Analyse	%	10	20	9	20	2,0	2,2	
% SD Probenanteilung < 8 mm	%	3	80	20	70	27	3,5	
% SD Probenanteilung < 30 mm	%	30	-	30	-	-	-	
<b>Blei</b>								
MW aus TMPs 1–4	mg/kg TM	114	144	121	97	1,3	0,8	
% SD PV+Analyse	%	10	80	20	40	8,0	2,0	<b>ja</b>
% SD Analyse	%	7	80	20	40	11	2,0	
% SD Probenanteilung < 8 mm	%	9	-	5	-	-	-	
% SD Probenanteilung < 30 mm	%	-	-	-	-	-	-	

Tabelle 47: Varianzanalyse – Ergebnisse und Bewertung – Cadmium, Chrom.

	Einheit	ox./HF < 0,5 mm	ox./HF < 1 mm	KW/HF < 0,5 mm	KW/HF < 1 mm	Verhältnis ox./HF < 1 mm zu < 0,5 mm	Verhältnis KW/HF < 1 mm zu < 0,5 mm	Deutliche Reduktion der SD nach Zerkleinerung auf < 0,5 mm
Cadmium								
MW aus TMPs 1–4	mg/kg TM	3,2	2,6	3,0	4,3	0,8	1,4	
% SD PV+Analyse	%	30	100	40	70	3,3	1,8	<b>ja</b>
% SD Analyse	%	20	90	30	20	4,5	0,7	
% SD Probenziehung < 8 mm	%	20	50	20	60	2,5	3,0	
% SD Probenziehung < 30 mm	%	9	-	-	40	-	-	
Chrom								
MW aus TMPs 1–4	mg/kg TM	138	133	122	100	1,0	0,8	
% SD PV+Analyse	%	30	30	30	30	1,0	1,0	<b>nein, vergleichbare SD</b>
% SD Analyse	%	9	30	20	20	3,3	1,0	
% SD Probenziehung < 8 mm	%	10	-	20	20	-	1,0	
% SD Probenziehung < 30 mm	%	20	20	-	-	1,0	-	

Tabelle 48: Varianzanalyse – Ergebnisse und Bewertung – Kobalt, Nickel.

	Einheit	ox./HF < 0,5 mm	ox./HF < 1 mm	KW/HF < 0,5 mm	KW/HF < 1 mm	Verhältnis ox./HF < 1 mm zu < 0,5 mm	Verhältnis KW/HF < 1 mm zu < 0,5 mm	Deutliche Reduktion der SD nach Zerkleinerung auf < 0,5 mm
<b>Kobalt</b>								
MW aus TMPs 1–4	mg/kg TM	3,9	5,1	4,4	4,9	1,3	1,1	
% SD PV+Analyse	%	20	40	20	40	2,0	2,0	<b>ja</b>
% SD Analyse	%	5	40	20	30	8,0	1,5	
% SD Probenanteile < 8 mm	%	10	-	-	20	-	-	
% SD Probenanteile < 30 mm	%	20	-	10	10	-	1,0	
<b>Nickel</b>								
MW aus TMPs 1–4	mg/kg TM	28	25	33	38	0,9	1,1	
% SD PV+Analyse	%	50	70	30	100	1,4	3,3	<b>ja</b>
% SD Analyse	%	8	30	20	20	3,8	1,0	
% SD Probenanteile < 8 mm	%	50	60	20	100	1,2	5,0	
% SD Probenanteile < 30 mm	%	-	-	-	-	-	-	



Tabelle 49: Varianzanalyse – Ergebnisse und Bewertung – Antimon, Kupfer.

	Einheit	ox./HF < 0,5 mm	ox./HF < 1 mm	KW/HF < 0,5 mm	KW/HF < 1 mm	Verhältnis ox./HF < 1 mm zu < 0,5 mm	Verhältnis KW/HF < 1 mm zu < 0,5 mm	Deutliche Reduktion der SD nach Zerkleinerung auf < 0,5 mm
<b>Antimon</b>								
MW aus TMPs 1–4	mg/kg TM	86	68	83	112	0,8	1,4	
% SD PV+Analyse	%	40	200	40	90	5,0	2,3	<b>ja</b>
% SD Analyse	%	20	200	30	60	10	2,0	
% SD Probenanteile < 8 mm	%	30	-	-	60	-	-	
% SD Probenanteile < 30 mm	%	8	-	20	-	-	-	
<b>Kupfer</b>								
MW aus TMPs 1–4	mg/kg TM	229	646	276	108	2,8	0,4	
% SD PV+Analyse	%	90	200	60	200	2,2	3,3	<b>ja</b>
% SD Analyse	%	80	200	40	100	2,5	2,5	
% SD Probenanteile < 8 mm	%	30	-	30	100	-	3,3	
% SD Probenanteile < 30 mm	%	-	-	30	-	-	-	

Tabelle 50: Varianzanalyse – Ergebnisse und Bewertung – Zink, Quecksilber.

	Einheit	ox./HF < 0,5 mm	ox./HF < 1 mm	KW/HF < 0,5 mm	KW/HF < 1 mm	Verhältnis ox./HF < 1 mm zu < 0,5 mm	Verhältnis KW/HF < 1 mm zu < 0,5 mm	Deutliche Reduktion der SD nach Zerkleinerung auf < 0,5 mm
Zink								
MW aus TMPs 1–4	mg/kg TM	392	694	518	285	1,8	0,6	
% SD PV+Analyse	%	80	100	80	200	1,3	2,5	<b>ja (eher)</b>
% SD Analyse	%	20	90	50	10	4,5	0,2	
% SD Probenteilung <8mm	%	80	-	50	200	-	4,0	
% SD Probenteilung <30mm	%	-	30	30	-	-	-	
Quecksilber								
MW aus TMPs 1–4	mg/kg TM	0,28	0,28	0,27	0,26	1,0	1,0	
% SD PV+Analyse	%	80	50	80	60	0,6	0,8	<b>nein, vergleichbare SD</b>
% SD Analyse	%	7	10	10	9	1,4	0,9	
% SD Probenteilung < 8 mm	%	80	-	70	20	-	0,3	
% SD Probenteilung < 30 mm	%	-	50	30	50	-	1,7	

## 5.2 Ergebnisse für die Mischproben in Abhängigkeit von Korngröße und Aufschlussmatrix

### 5.2.1 Tabellarische Gegenüberstellung der Ergebnisse nach Aufschlussmethoden ox./HF sowie KW/HF für die Fraktionen < 0,5 mm und < 1 mm

Für den Vergleich der Ergebnisse in Abhängigkeit von Korngröße und Aufschlussmatrix wurden für die Analyten As, Pb, Cd, Cr, Co, Ni, Sb, Cu, Zn und Hg die Mischproben herangezogen.

**statistische  
Auswertung**

Die Mischproben umfassen vier Tagesmischproben (TMP 1–4) sowie die zweistufigen Wochenmischproben aus den zugehörigen Tagesmischproben (WMP aus TMPs) und die einstufigen Wochenmischproben aus den Einzelproben (WMP aus Ez).

Von den Mischproben wurden jeweils zwei unabhängige Analysenergebnisse zur Auswertung herangezogen (jeweils A11 und B11).

Die statistischen Auswertungen umfassen:

- Mittelwert aus n unabhängigen Analysenergebnissen in mg/kg TM, Abkürzung „MW“.
- Standardabweichung zwischen n (Anzahl) Ergebnissen in mg/kg TM, Abkürzung „SD“
- Relative Standardabweichung der Einzelwerte in %, Abkürzung „RSD“.
- Standardfehler des Mittelwertes aus n Einzelergebnissen in mg/kg TM, Abkürzung SD (MW).
- Obere und untere Grenze des 95 % Konfidenzintervalls für den Mittelwert aus n (Anzahl) Einzelergebnissen in mg/kg TM. (Um deutlich zu zeigen, dass einzelne Analysenergebnisse bei heterogenen Ersatzbrennstoffen mit breiten Konfidenzintervallen verbunden sind, werden zur Information auch die unteren und oberen Grenzen des 95 % Konfidenzintervalles für lediglich n = 2 unabhängige Messergebnisse zur Information in den Tabellen mit aufgenommen – falls größere Unterschiede zwischen den beiden unabhängigen Messergebnissen aufgetreten sind, macht sich das in einer deutlich höheren SD und einem sehr breiten Konfidenzintervall bemerkbar).
- Minimum und Maximum der n Einzelergebnisse in mg/kg TM. Bei n = 2 entspricht das dem niedrigeren und höheren Datensatz für den jeweiligen Analyten – dies wird als Zusatzinformation angegeben.
- Berechneter Mittelwert aus den 4 Tagesmischproben (n = 8), Abkürzung „MW TMPs“.
- Berechneter Gesamtmittelwert aus dem Mittelwert der 4 Tagesmischproben und den ein- und zweistufigen Wochenmischprobenergebnissen in mg/kg TM, Abkürzung „Gesamt-MW“.

Eine graphische Übersicht zu den o. a. statistischen Auswertungen und die abschließende Bewertung betreffend Korngrößeneffekt bei gleicher Aufschlussmatrix und Aufschlusseffekt bei gleicher Korngröße findet sich in Kapitel 5.2.2 auf Seite 102 ff.

**graphische  
Darstellung &  
Bewertung**

Tabelle 51: Gegenüberstellung der Mischprobenergebnisse ox./HF und KW/HF für Fraktion &lt; 0,5 mm – Arsen.

Element Aufschluss Fraktion	Proben- bezeichnung	n	MW	SD	RSD	SD (MW)	95 % Konfidenz-intervall		Minimum	Maximum
							untere Grenze	obere Grenze		
			mg/kg TM	mg/kg TM	%	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
As ox./HF < 0,5 mm	TMP 1	2	1,1	0,09	8	0,06	0,3	1,9	1,0	1,1
	TMP 2	2	1,5	0,02	1	0,02	1,4	1,7	1,5	1,6
	TMP 3	2	1,4	0,36	27	0,26	-1,9	4,6	1,1	1,6
	TMP 4	2	1,1	0,07	6	0,05	0,5	1,7	1,1	1,1
	MW TMPs	8	1,3	0,25	20	0,09	1,1	1,5	1,0	1,6
	WMP aus TMPs	2	3,1	2,5	82	1,80	-19	26	1,3	4,8
	WMP aus Ez	2	1,3	0,02	2	0,01	1,1	1,5	1,3	1,3
	Gesamt-MW	6	1,9	1,5	77	0,59	0,4	5,6	1,0	4,8
As KW/HF < 0,5 mm	TMP 1	2	1,2	0,15	12	0,10	-0,1	2,5	1,1	1,3
	TMP 2	2	1,6	0,19	12	0,13	-0,1	3,2	1,4	1,7
	TMP 3	2	1,4	0,41	29	0,29	-2,3	5,1	1,1	1,7
	TMP 4	2	1,0	0,16	16	0,11	-0,4	2,5	0,9	1,1
	MW TMPs	8	1,3	0,29	22	0,10	1,1	1,5	0,9	1,7
	WMP aus TMPs	2	2,9	1,6	55	1,10	-11	17	1,8	4,0
	WMP aus Ez	2	1,3	0,16	12	0,11	-0,1	2,8	1,2	1,4
	Gesamt-MW	6	1,8	1,1	59	0,45	0,7	4,7	0,9	4,0



Tabelle 52: Gegenüberstellung der Mischprobenergebnisse ox./HF und KW/HF für Fraktion < 1 mm – Arsen.

Element Aufschluss Fraktion	Proben- bezeichnung	n	MW	SD	RSD	SD (MW)	95 % Konfidenz-intervall		Minimum	Maximum
							untere Grenze	obere Grenze		
			mg/kg TM	mg/kg TM	%	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
As ox./HF < 1 mm	TMP 1	2	1,3	0,11	9	0,08	0,3	2,2	1,2	1,3
	TMP 2	2	1,9	1,10	58	0,76	-7,8	12	1,1	2,6
	TMP 3	2	1,6	0,77	48	0,55	-5,3	8,5	1,1	2,1
	TMP 4	2	1,0	0,10	10	0,07	0,1	1,9	0,9	1,1
	MW TMPs	8	1,4	0,61	43	0,22	0,9	1,9	0,9	2,6
	WMP aus TMPs	2	2,3	1,20	52	0,84	-8,3	13	1,5	3,1
	WMP aus Ez	2	1,0	0,08	8	0,05	0,3	1,7	1,0	1,1
	<b>Gesamt-MW</b>	<b>6</b>	<b>1,6</b>	<b>0,83</b>	<b>52</b>	<b>0,34</b>	<b>0,7</b>	<b>3,7</b>	<b>0,9</b>	<b>3,1</b>
As KW/HF < 1 mm	TMP 1	2	1,2	0,15	13	0,11	-0,2	2,6	1,1	1,3
	TMP 2	2	1,4	0,20	14	0,14	-0,4	3,2	1,2	1,5
	TMP 3	2	1,4	0,32	22	0,23	-1,4	4,3	1,2	1,6
	TMP 4	2	1,1	0,02	2	0,02	0,9	1,3	1,0	1,1
	MW TMPs	8	1,3	0,22	18	0,08	1,1	1,4	1,0	1,6
	WMP aus TMPs	2	1,5	0,58	39	0,41	-3,8	6,7	1,1	1,9
	WMP aus Ez	2	1,3	0,27	21	0,19	-1,2	3,7	1,1	1,5
	<b>Gesamt-MW</b>	<b>6</b>	<b>1,3</b>	<b>0,31</b>	<b>23</b>	<b>0,13</b>	<b>1,0</b>	<b>2,1</b>	<b>1,0</b>	<b>1,9</b>

Tabelle 53: Gegenüberstellung der Mischprobenergebnisse ox./HF und KW/HF für Fraktion &lt; 0,5 mm – Blei.

Element Aufschluss Fraktion	Proben- bezeichnung	n	MW	SD	RSD	SD (MW)	95 % Konfidenz-intervall		Minimum	Maximum
							untere Grenze	obere Grenze		
			mg/kg TM	mg/kg TM	%	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
Pb ox./HF < 0,5 mm	TMP 1	2	91	12	13	8,4	-15	200	83	100
	TMP 2	2	130	15	11	11,0	-4	270	120	140
	TMP 3	2	90	10	11	6,7	5	180	83	97
	TMP 4	2	140	15	11	11,0	7	280	130	150
	MW TMPs	8	110	27	24	9,7	91	140	83	150
	WMP aus TMPs	2	130	9	7	6,4	51	210	130	140
	WMP aus Ez	2	110	8	7	5,8	36	180	100	120
	<b>Gesamt-MW</b>	<b>6</b>	120	13	11	5,3	110	150	83	150
Pb KW/HF < 0,5 mm	TMP 1	2	79	11	14	7,8	-21	180	71	87
	TMP 2	2	160	11	7	7,7	63	260	150	170
	TMP 3	2	100	11	11	8,0	2	200	95	110
	TMP 4	2	140	39	27	27,0	-210	490	110	170
	MW TMPs	8	120	38	31	13,0	89	150	71	170
	WMP aus TMPs	2	140	8	5	5,40	75	210	140	150
	WMP aus Ez	2	96	19	20	14,00	-78	270	83	110
	<b>Gesamt-MW</b>	<b>6</b>	120	24	20	9,80	95	180	71	170



Tabelle 54: Gegenüberstellung der Mischprobenergebnisse ox./HF und KW/HF für Fraktion < 1 mm – Blei.

Element Aufschluss Fraktion	Proben- bezeichnung	n	MW	SD	RSD	SD (MW)	95 % Konfidenz-intervall		Minimum	Maximum
							untere Grenze	obere Grenze		
			mg/kg TM	mg/kg TM	%	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
Pb ox./HF < 1 mm	TMP 1	2	72	1	1	0,4	67	77	72	73
	TMP 2	2	120	34	29	24	-190	420	93	140
	TMP 3	2	180	160	88	110	-1.300	1.600	70	300
	TMP 4	2	200	140	71	100	-1.100	1.500	100	300
	MW TMPs	8	140	100	69	35	60	230	70	300
	WMP aus TMPs	2	90	36	40	25	-230	410	64	120
	WMP aus Ez	2	110	10	9	7	20	200	100	120
	<b>Gesamt-MW</b>	<b>6</b>	110	42	37	17	70	220	64	300
Pb KW/HF < 1 mm	TMP 1	2	93	44	47	31	-300	490	62	120
	TMP 2	2	130	97	77	69	-740	1.000	57	190
	TMP 3	2	61	4	6	3	26	97	58	64
	TMP 4	2	110	35	32	25	-210	430	84	130
	MW TMPs	8	97	50	51	18	56	140	57	190
	WMP aus TMPs	2	83	32	38	22	-200	370	60	100
	WMP aus Ez	2	68	4	6	3	29	110	65	72
	<b>Gesamt-MW</b>	<b>6</b>	83	23	28	9	59	140	57	190

Tabelle 55: Gegenüberstellung der Mischprobenergebnisse ox./HF und KW/HF für Fraktion &lt; 0,5 mm – Cadmium.

Element Aufschluss Fraktion	Proben- bezeichnung	n	MW	SD	RSD	SD (MW)	95 % Konfidenz-intervall		Minimum	Maximum
							untere Grenze	obere Grenze		
			mg/kg TM	mg/kg TM	%	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
Cd ox./HF < 0,5 mm	TMP 1	2	1,7	0,6	34	0,4	-3,5	6,8	1,3	2,1
	TMP 2	2	6,2	2,5	41	1,8	-16	29	4,4	7,9
	TMP 3	2	2,6	0,7	26	0,5	-3,4	8,5	2,1	3,0
	TMP 4	2	2,6	1,2	47	0,9	-8,3	13,0	1,7	3,4
	MW TMPs	8	3,2	2,1	66	0,8	1,4	5,0	1,3	7,9
	WMP aus TMPs	2	4,6	1,1	23	0,7	-4,9	14	3,8	5,3
	WMP aus Ez	2	5,3	2,9	54	2,0	-21	31	3,3	7,4
	<b>Gesamt-MW</b>	<b>6</b>	<b>4,4</b>	<b>1,7</b>	<b>39</b>	<b>0,7</b>	<b>2,6</b>	<b>8,8</b>	<b>1,3</b>	<b>7,9</b>
Cd KW/HF < 0,5 mm	TMP 1	2	1,2	0,3	23	0,2	-1,3	3,7	1,0	1,4
	TMP 2	2	6,5	0,1	1	0,04	6,0	7,0	6,5	6,5
	TMP 3	2	1,7	0,4	23	0,3	-1,9	5,3	1,4	2,0
	TMP 4	2	2,5	0,7	28	0,5	-3,6	8,6	2,0	2,9
	MW TMPs	8	3,0	2,3	76	0,8	1,1	4,9	1,0	6,5
	WMP aus TMPs	2	3,9	0,005	0,12	0,003	3,8	3,9	3,9	3,9
	WMP aus Ez	2	5,0	3,2	65	2,3	-24	34	2,7	7,3
	<b>Gesamt-MW</b>	<b>6</b>	<b>3,9</b>	<b>1,7</b>	<b>43</b>	<b>0,7</b>	<b>2,2</b>	<b>8,3</b>	<b>1,0</b>	<b>7,3</b>





Tabelle 56: Gegenüberstellung der Mischprobenergebnisse ox./HF und KW/HF für Fraktion < 1 mm – Cadmium.

Element Aufschluss Fraktion	Proben- bezeichnung	n	MW	SD	RSD	SD (MW)	95 % Konfidenz-intervall		Minimum	Maximum
							untere Grenze	obere Grenze		
			mg/kg TM	mg/kg TM	%	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
Cd ox./HF <1 mm	TMP 1	2	1,3	0,1	11	0,1	0,04	2,5	1,2	1,4
	TMP 2	2	4,9	3,9	79	2,7	-30	39	2,1	7,6
	TMP 3	2	1,7	0,3	18	0,2	-1,0	4,4	1,5	1,9
	TMP 4	2	2,7	1,0	38	0,7	-6,5	12,0	2,0	3,4
	MW TMPs	8	2,6	2,1	81	0,8	0,9	4,4	1,2	7,6
	WMP aus TMPs	2	2,5	0,1	4	0,1	1,5	3,5	2,4	2,6
	WMP aus Ez	2	1,8	0,5	25	0,3	-2,2	5,8	1,5	2,1
	<b>Gesamt-MW</b>	<b>6</b>	<b>2,3</b>	<b>0,7</b>	<b>30</b>	<b>0,3</b>	<b>1,6</b>	<b>4,1</b>	<b>1,2</b>	<b>7,6</b>
Cd KW/HF < 1 mm	TMP 1	2	1,7	0,3	18	0,2	-1,1	4,4	1,4	1,9
	TMP 2	2	7,5	3,9	52	2,7	-27	42	4,8	10,0
	TMP 3	2	1,6	0,3	20	0,2	-1,3	4,5	1,4	1,8
	TMP 4	2	6,4	5,5	85	3,9	-43	55	2,5	10,0
	MW TMPs	8	4,3	3,8	89	1,4	1,1	7,5	1,4	10,0
	WMP aus TMPs	2	5,0	1,4	29	1,0	-8	18	4,0	6,0
	WMP aus Ez	2	4,5	4,7	100	3,3	-38	47	1,2	7,8
	<b>Gesamt-MW</b>	<b>6</b>	<b>4,6</b>	<b>2,4</b>	<b>53</b>	<b>1,0</b>	<b>2,1</b>	<b>11,0</b>	<b>1,2</b>	<b>10,0</b>

Tabelle 57: Gegenüberstellung der Mischprobenergebnisse ox./HF und KW/HF für Fraktion &lt; 0,5 mm – Chrom.

Element Aufschluss Fraktion	Proben- bezeichnung	n	MW	SD	RSD	SD (MW)	95 % Konfidenz-intervall		Minimum	Maximum
							untere Grenze	obere Grenze		
			mg/kg TM	mg/kg TM	%	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
Cr ox./HF < 0,5 mm	TMP 1	2	76	12	15	8	-28	180	68	84
	TMP 2	2	140	36	25	25	-180	470	120	170
	TMP 3	2	170	82	48	58	-570	910	110	230
	TMP 4	2	160	12	8	9	52	270	150	170
	MW TMPs	8	140	53	38	19	94	180	68	230
	WMP aus TMPs	2	120	1	1	1	110	130	120	120
	WMP aus Ez	2	160	41	25	29	-210	530	130	190
	<b>Gesamt-MW</b>	<b>6</b>	140	29	21	12	110	210	68	230
Cr KW/HF < 0,5 mm	TMP 1	2	82	24	30	17	-140	300	64	99
	TMP 2	2	150	33	21	23	-140	450	130	180
	TMP 3	2	130	30	23	21	-140	400	110	150
	TMP 4	2	120	21	17	15	-62	310	110	140
	MW TMPs	8	120	34	28	12	93	150	64	180
	WMP aus TMPs	2	94	4	4	3	60	130	91	97
	WMP aus Ez	2	130	36	28	25	-190	450	100	150
	<b>Gesamt-MW</b>	<b>6</b>	110	23	20	9	91	170	64	180



Tabelle 58: Gegenüberstellung der Mischprobenergebnisse ox./HF und KW/HF für Fraktion < 1 mm – Chrom.

Element Aufschluss Fraktion	Proben- bezeichnung	n	MW	SD	RSD	SD (MW)	95 % Konfidenz-intervall		Minimum	Maximum
			mg/kg TM	mg/kg TM	%	mg/kg TM	untere Grenze mg/kg TM	obere Grenze mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
Cr ox./HF < 1 mm	TMP 1	2	92	50	54	35	-360	540	57	130
	TMP 2	2	160	21	13	15	-26	350	150	180
	TMP 3	2	160	34	21	24	-150	470	140	190
	TMP 4	2	110	4	4	3	76	150	110	120
	MW TMPs	8	130	41	31	15	98	170	57	190
	WMP aus TMPs	2	130	63	48	45	-430	700	87	180
	WMP aus Ez	2	110	16	14	11	-27	250	100	120
	<b>Gesamt-MW</b>	<b>6</b>	130	31	24	12	94	200	57	190
Cr KW/HF < 1 mm	TMP 1	2	74	15	20	10	-58	210	63	84
	TMP 2	2	120	21	17	15	-61	310	110	140
	TMP 3	2	99	24	24	17	-120	310	83	120
	TMP 4	2	100	1	1	1	95	110	100	100
	MW TMPs	8	100	23	23	8	81	120	63	140
	WMP aus TMPs	2	80	7	9	5	17	140	75	85
	WMP aus Ez	2	77	29	37	20	-180	340	57	98
	<b>Gesamt-MW</b>	<b>6</b>	86	17	20	7	68	130	57	140

Tabelle 59: Gegenüberstellung der Mischprobenergebnisse ox./HF und KW/HF für Fraktion &lt; 0,5 mm – Kobalt.

Element Aufschluss Fraktion	Probenbezeichnung	n	MW	SD	RSD	SD (MW)	95 % Konfidenz-intervall		Minimum	Maximum
							untere Grenze	obere Grenze		
			mg/kg TM	mg/kg TM	%	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
Co ox./HF < 0,5 mm	TMP 1	2	2,6	0,7	25	0,5	-3,3	8,5	2,2	3,1
	TMP 2	2	3,7	0,6	15	0,4	-1,3	8,6	3,3	4,1
	TMP 3	2	4,7	0,1	2	0,1	4,0	5,5	4,7	4,8
	TMP 4	2	4,7	0,2	5	0,2	2,8	6,6	4,5	4,8
	MW TMPs	8	3,9	1,0	25	0,4	3,1	4,8	2,2	4,8
	WMP aus TMPs	2	4,3	0,9	22	0,7	-4,2	13,0	3,6	5,0
	WMP aus Ez	2	4,6	1,3	29	1,0	-7,4	17,0	3,7	5,6
	<b>Gesamt-MW</b>	<b>6</b>	<b>4,3</b>	<b>0,8</b>	<b>19</b>	<b>0,3</b>	<b>3,4</b>	<b>6,3</b>	<b>2,2</b>	<b>5,6</b>
Co KW/HF < 0,5 mm	TMP 1	2	3,4	0,1	3	0,1	2,5	4,3	3,3	3,5
	TMP 2	2	4,1	0,6	15	0,4	-1,4	9,6	3,7	4,5
	TMP 3	2	4,9	0,5	10	0,4	0,5	9,4	4,6	5,3
	TMP 4	2	5,1	0,5	10	0,4	0,5	9,7	4,7	5,4
	MW TMPs	8	4,4	0,8	18	0,3	3,7	5,1	3,3	5,4
	WMP aus TMPs	2	4,5	0,4	10	0,3	0,7	8,3	4,2	4,8
	WMP aus Ez	2	4,4	0,7	16	0,5	-1,9	11,0	3,9	4,9
	<b>Gesamt-MW</b>	<b>6</b>	<b>4,4</b>	<b>0,4</b>	<b>9</b>	<b>0,2</b>	<b>4,0</b>	<b>5,4</b>	<b>3,3</b>	<b>5,4</b>

Tabelle 60: Gegenüberstellung der Mischprobenergebnisse ox./HF und KW/HF für Fraktion < 1 mm – Kobalt.

Element Aufschluss Fraktion	Probenbezeichnung	n	MW	SD	RSD	SD (MW)	95 % Konfidenz-intervall		Minimum	Maximum
							untere Grenze	obere Grenze		
			mg/kg TM	mg/kg TM	%	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
Co ox./HF < 1 mm	TMP 1	2	3,7	0,02	1	0,02	3,5	3,9	3,7	3,7
	TMP 2	2	5,6	3,4	60	2,4	-25	36	3,3	8,0
	TMP 3	2	6,2	1,3	21	0,9	-5,4	18,0	5,3	7,1
	TMP 4	2	4,7	1,1	23	0,8	-5,1	15,0	4,0	5,5
	MW TMPs	8	5,1	1,7	35	0,6	3,6	6,5	3,3	8,0
	WMP aus TMPs	2	5,2	0,2	4	0,1	3,5	6,8	5,0	5,3
	WMP aus Ez	2	4,5	1,1	24	0,8	-5,4	14,0	3,7	5,3
	<b>Gesamt-MW</b>	<b>6</b>	<b>4,9</b>	<b>0,7</b>	<b>14</b>	<b>0,3</b>	<b>4,2</b>	<b>6,7</b>	<b>3,3</b>	<b>8,0</b>
Co KW/HF < 1 mm	TMP 1	2	4,5	0,04	1	0,03	4,2	4,8	4,5	4,5
	TMP 2	2	4,2	1,1	27	0,8	-5,8	14,0	3,4	5,0
	TMP 3	2	5,7	0,4	7	0,3	2,1	9,2	5,4	5,9
	TMP 4	2	5,2	1,6	31	1,1	-9,0	19,0	4,1	6,3
	MW TMPs	8	4,9	1,0	20	0,3	4,1	5,7	3,4	6,3
	WMP aus TMPs	2	4,7	0,3	6	0,2	2,0	7,4	4,5	4,9
	WMP aus Ez	2	2,9	1,6	55	1,1	-11	17	1,8	4,0
	<b>Gesamt-MW</b>	<b>6</b>	<b>4,2</b>	<b>1,3</b>	<b>31</b>	<b>0,5</b>	<b>2,8</b>	<b>7,4</b>	<b>1,8</b>	<b>6,3</b>

Tabelle 61: Gegenüberstellung der Mischprobenergebnisse ox./HF und KW/HF für Fraktion &lt; 0,5 mm – Nickel.

Element Aufschluss Fraktion	Probenbezeichnung	n	MW	SD	RSD	SD (MW)	95 % Konfidenz-intervall		Minimum	Maximum
							untere Grenze	obere Grenze		
			mg/kg TM	mg/kg TM	%	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
Ni ox./HF < 0,5 mm	TMP 1	2	14	2	14	1	-4	31	12	15
	TMP 2	2	55	1	2	1	46	65	55	56
	TMP 3	2	19	3	15	2	-7	46	17	22
	TMP 4	2	22	0	1	0	21	24	22	22
	MW TMPs	8	28	17	63	6	13	42	12	56
	WMP aus TMPs	2	28	5	17	3	-14	70	24	31
	WMP aus Ez	2	28	1	5	1	16	40	27	29
	<b>Gesamt-MW</b>	<b>6</b>	<b>28</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>1</b>	<b>25</b>	<b>33</b>	<b>12</b>	<b>56</b>
Ni KW/HF < 0,5 mm	TMP 1	2	17	1	4	0	11	22	16	17
	TMP 2	2	75	34	46	24	-230	380	51	99
	TMP 3	2	18	3	18	2	-11	48	16	21
	TMP 4	2	22	2	8	1	6	37	21	23
	MW TMPs	8	33	29	88	10	9	57	16	99
	WMP aus TMPs	2	28	4	13	3	-5	61	25	30
	WMP aus Ez	2	32	1	3	1	25	39	32	33
	<b>Gesamt-MW</b>	<b>6</b>	<b>31</b>	<b>5</b>	<b>15</b>	<b>2</b>	<b>26</b>	<b>43</b>	<b>16</b>	<b>99</b>



Tabelle 62: Gegenüberstellung der Mischprobenergebnisse ox./HF und KW/HF für Fraktion < 1 mm – Nickel.

Element Aufschluss Fraktion	Probenbezeichnung	n	MW	SD	RSD	SD (MW)	95 % Konfidenz-intervall		Minimum	Maximum
							untere Grenze	obere Grenze		
			mg/kg TM	mg/kg TM	%	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
Ni ox./HF < 1 mm	TMP 1	2	24	7	28	5	-36	84	19	29
	TMP 2	2	32	4	13	3	-6	70	29	35
	TMP 3	2	19	4	19	3	-13	50	16	21
	TMP 4	2	24	4	15	3	-9	56	21	26
	MW TMPs	8	25	6	25	2	20	30	16	35
	WMP aus TMPs	2	26	2	6	1	11	40	25	27
	WMP aus Ez	2	26	7	26	5	-35	87	21	30
	<b>Gesamt-MW</b>	<b>6</b>	<b>25</b>	<b>4</b>	<b>15</b>	<b>2</b>	<b>21</b>	<b>35</b>	<b>16</b>	<b>35</b>
Ni KW/HF < 1 mm	TMP 1	2	18	1	5	1	10	25	17	18
	TMP 2	2	100	78	78	55	-600	800	45	160
	TMP 3	2	16	1	5	1	9	24	16	17
	TMP 4	2	17	4	21	3	-15	49	14	19
	MW TMPs	8	38	49	130	17	-3	79	14	160
	WMP aus TMPs	2	16	3	16	2	-7	39	14	18
	WMP aus Ez	2	16	12	71	8	-88	120	8	25
	<b>Gesamt-MW</b>	<b>6</b>	<b>23</b>	<b>15</b>	<b>66</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>63</b>	<b>8</b>	<b>160</b>

Tabelle 63: Gegenüberstellung der Mischprobenergebnisse ox./HF und KW/HF für Fraktion &lt; 0,5 mm – Antimon.

Element Aufschluss Fraktion	Probenbezeichnung	n	MW	SD	RSD	SD (MW)	95 % Konfidenz-intervall		Minimum	Maximum
							untere Grenze	obere Grenze		
			mg/kg TM	mg/kg TM	%	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
Sb ox./HF < 0,5 mm	TMP 1	2	140	64	47	45	-440	710	90	180
	TMP 2	2	67	14	21	10	-61	200	57	77
	TMP 3	2	72	15	21	11	-62	210	61	82
	TMP 4	2	70	15	21	10	-62	200	59	80
	MW TMPs	8	86	40	47	14	52	120	57	180
	WMP aus TMPs	2	160	30	19	21	-110	420	140	180
	WMP aus Ez	2	120	57	45	40	-380	630	85	160
	<b>Gesamt-MW</b>	<b>6</b>	120	44	36	18	76	240	57	180
Sb KW/HF < 0,5 mm	TMP 1	2	110	35	31	24	-200	420	88	140
	TMP 2	2	56	5	9	4	10	100	52	59
	TMP 3	2	76	1	2	1	64	87	75	77
	TMP 4	2	86	37	43	26	-250	420	60	110
	MW TMPs	8	83	29	35	10	58	110	52	140
	WMP aus TMPs	2	140	23	16	16	-65	340	120	160
	WMP aus Ez	2	100	51	51	36	-360	560	64	140
	<b>Gesamt-MW</b>	<b>6</b>	110	37	34	15	68	200	52	160





Tabelle 64: Gegenüberstellung der Mischprobenergebnisse ox./HF und KW/HF für Fraktion < 1 mm – Antimon.

Element Aufschluss Fraktion	Probenbezeichnung	n	MW	SD	RSD	SD (MW)	95 % Konfidenz-intervall		Minimum	Maximum
							untere Grenze	obere Grenze		
			mg/kg TM	mg/kg TM	%	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
Sb ox./HF < 1 mm	TMP 1	2	98	16	17	12	-48	240	87	110
	TMP 2	2	37	23	61	16	-170	240	21	54
	TMP 3	2	40	18	45	13	-120	200	27	52
	TMP 4	2	99	81	83	58	-630	830	41	160
	MW TMPs	8	68	46	68	16	30	110	21	160
	WMP aus TMPs	2	210	200	97	140	-1.600	2.000	64	350
	WMP aus Ez	2	150	8	5	6	81	220	150	160
	<b>Gesamt-MW</b>	<b>6</b>	140	110	77	45	27	420	21	350
Sb KW/HF < 1 mm	TMP 1	2	110	46	42	32	-300	520	78	140
	TMP 2	2	55	4	8	3	17	93	52	58
	TMP 3	2	170	100	59	72	-750	1.100	100	240
	TMP 4	2	110	26	23	18	-120	340	92	130
	MW TMPs	8	110	62	55	22	60	160	52	240
	WMP aus TMPs	2	75	30	40	21	-200	350	53	96
	WMP aus Ez	2	82	67	82	48	-520	690	34	130
	<b>Gesamt-MW</b>	<b>6</b>	89	38	43	16	49	190	34	240

Tabelle 65: Gegenüberstellung der Mischprobenergebnisse ox./HF und KW/HF für Fraktion &lt; 0,5 mm – Kupfer.

Element Aufschluss Fraktion	Probenbezeichnung	n	MW	SD	RSD	SD (MW)	95 % Konfidenz-intervall		Minimum	Maximum
							untere Grenze	obere Grenze		
			mg/kg TM	mg/kg TM	%	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
Cu ox./HF < 0,5 mm	TMP 1	2	200	37	19	26	-140	530	170	220
	TMP 2	2	330	290	89	210	-2.300	3.000	120	530
	TMP 3	2	130	63	48	44	-430	690	87	180
	TMP 4	2	260	200	77	140	-1.500	2.100	120	400
	MW TMPs	8	230	160	69	56	97	360	87	530
	WMP aus TMPs	2	2.500	2.200	89	1.600	-18.000	23.000	920	4.100
	WMP aus Ez	2	1.000	300	30	210	-1.700	3.700	800	1.200
	<b>Gesamt-MW</b>	<b>6</b>	1.200	1.400	120	590	-270	5.000	87	4.100
Cu KW/HF < 0,5 mm	TMP 1	2	200	93	47	66	-640	1.000	130	270
	TMP 2	2	290	260	89	180	-2.000	2.600	110	470
	TMP 3	2	170	95	55	67	-680	1.000	110	240
	TMP 4	2	450	110	26	81	-580	1.500	360	530
	MW TMPs	8	280	160	59	58	140	410	110	530
	WMP aus TMPs	2	2.700	170	6	120	1.200	4.200	2.500	2.800
	WMP aus Ez	2	2.200	1.600	73	1.100	-12.000	17.000	1.100	3.300
	<b>Gesamt-MW</b>	<b>6</b>	1.700	1.300	78	550	310	5.200	110	3.300



Tabelle 66: Gegenüberstellung der Mischprobenergebnisse ox./HF und KW/HF für Fraktion < 1 mm – Kupfer.

Element Aufschluss Fraktion	Probenbezeichnung	n	MW	SD	RSD	SD (MW)	95 % Konfidenz-intervall		Minimum	Maximum
							untere Grenze	obere Grenze		
			mg/kg TM	mg/kg TM	%	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
Cu ox./HF < 1 mm	TMP 1	2	390	480	120	340	-3.900	4.700	53	730
	TMP 2	2	610	360	59	260	-2.600	3.900	360	870
	TMP 3	2	59	3	4	2	37	82	58	61
	TMP 4	2	1.500	2.000	130	1.400	-17.000	20.000	82	3.000
	MW TMPs	8	650	990	150	350	-180	1.500	53	3.000
	WMP aus TMPs	2	340	380	110	270	-3.000	3.700	75	610
	WMP aus Ez	2	1.100	250	22	180	-1.100	3.300	940	1.300
	<b>Gesamt-MW</b>	<b>6</b>	<b>700</b>	<b>430</b>	<b>61</b>	<b>170</b>	<b>250</b>	<b>1.800</b>	<b>53</b>	<b>3.000</b>
Cu KW/HF < 1 mm	TMP 1	2	56	8	14	5	-13	120	50	61
	TMP 2	2	55	18	32	12	-100	210	42	67
	TMP 3	2	200	200	100	140	-1.600	2.000	57	340
	TMP 4	2	120	4	3	3	92	160	120	130
	MW TMPs	8	110	98	91	35	26	190	42	340
	WMP aus TMPs	2	200	83	41	59	-550	950	140	260
	WMP aus Ez	2	1.200	1.500	120	1.100	-12.000	15.000	150	2.200
	<b>Gesamt-MW</b>	<b>6</b>	<b>500</b>	<b>860</b>	<b>170</b>	<b>350</b>	<b>-400</b>	<b>2.700</b>	<b>42</b>	<b>2.200</b>

Tabelle 67: Gegenüberstellung der Mischprobenergebnisse ox./HF und KW/HF für Fraktion &lt; 0,5 mm – Zink.

Element Aufschluss Fraktion	Probenbezeichnung	n	MW	SD	RSD	SD (MW)	95 % Konfidenz-intervall		Minimum	Maximum
							untere Grenze	obere Grenze		
			mg/kg TM	mg/kg TM	%	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
Zn ox./HF < 0,5 mm	TMP 1	2	200	29	14	20	-57	460	180	220
	TMP 2	2	370	45	12	32	-26	780	340	410
	TMP 3	2	430	230	54	160	-1.700	2.500	270	600
	TMP 4	2	560	110	20	81	-470	1.600	480	640
	MW TMPs	8	390	170	44	60	250	530	180	640
	WMP aus TMPs	2	630	370	59	260	-2.700	4.000	360	890
	WMP aus Ez	2	720	580	80	410	-4.500	5.900	310	1.100
	<b>Gesamt-MW</b>	<b>6</b>	<b>580</b>	<b>350</b>	<b>59</b>	<b>140</b>	<b>220</b>	<b>1.500</b>	<b>180</b>	<b>1.100</b>
Zn KW/HF < 0,5 mm	TMP 1	2	160	3	2	2	140	190	160	170
	TMP 2	2	390	28	7	20	140	650	370	410
	TMP 3	2	640	540	85	380	-4.200	5.500	250	1.000
	TMP 4	2	880	770	88	550	-6.100	7.800	330	1.400
	MW TMPs	8	520	460	88	160	140	900	160	1.400
	WMP aus TMPs	2	1.000	380	37	270	-2.400	4.400	750	1.300
	WMP aus Ez	2	610	490	80	350	-3.800	5.000	270	960
	<b>Gesamt-MW</b>	<b>6</b>	<b>710</b>	<b>390</b>	<b>55</b>	<b>160</b>	<b>300</b>	<b>1.700</b>	<b>160</b>	<b>1.400</b>



Tabelle 68: Gegenüberstellung der Mischprobenergebnisse ox./HF und KW/HF für Fraktion < 1 mm – Zink.

Element Aufschluss Fraktion	Probenbezeichnung	n	MW	SD	RSD	SD (MW)	95 % Konfidenz-intervall		Minimum	Maximum
							untere Grenze	obere Grenze		
			mg/kg TM	mg/kg TM	%	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
Zn ox./HF < 1 mm	TMP 1	2	180	9	5	7	100	270	180	190
	TMP 2	2	910	940	100	660	-7.500	9.400	240	1.600
	TMP 3	2	290	8	3	6	220	360	280	290
	TMP 4	2	1.400	1.700	120	1.200	-14.000	16.000	220	2.600
	MW TMPs	8	690	890	130	320	-53	1.400	180	2.600
	WMP aus TMPs	2	300	10	3	7	210	380	290	300
	WMP aus Ez	2	770	610	79	430	-4.700	6.200	340	1.200
	<b>Gesamt-MW</b>	<b>6</b>	<b>590</b>	<b>460</b>	<b>78</b>	<b>190</b>	<b>110</b>	<b>1.800</b>	<b>180</b>	<b>2.600</b>
Zn KW/HF < 1 mm	TMP 1	2	150	0,07	0,04	0,05	150	150	150	150
	TMP 2	2	290	22	7	15	96	480	270	310
	TMP 3	2	330	140	43	100	-950	1.600	230	430
	TMP 4	2	370	140	37	97	-860	1.600	270	470
	MW TMPs	8	280	120	41	41	190	380	150	470
	WMP aus TMPs	2	270	65	25	46	-320	850	220	310
	WMP aus Ez	2	270	110	41	79	-730	1.300	190	350
	<b>Gesamt-MW</b>	<b>6</b>	<b>270</b>	<b>59</b>	<b>21</b>	<b>24</b>	<b>210</b>	<b>420</b>	<b>150</b>	<b>470</b>

Tabelle 69: Gegenüberstellung der Mischprobenergebnisse ox./HF und KW/HF für Fraktion &lt; 0,5 mm – Quecksilber.

Element Aufschluss Fraktion	Probenbezeichnung	n	MW	SD	RSD	SD (MW)	95 % Konfidenz-intervall		Minimum	Maximum
							untere Grenze	obere Grenze		
			mg/kg TM	mg/kg TM	%	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
Hg ox./HF < 0,5 mm	TMP 1	2	0,08	0,02	20	0,01	-0,07	0,23	0,07	0,09
	TMP 2	2	0,14	0,0004	0,29	0,0003	0,13	0,14	0,14	0,14
	TMP 3	2	0,11	0,02	15	0,01	-0,04	0,26	0,10	0,12
	TMP 4	2	0,77	0,14	18	0,10	-0,48	2,00	0,67	0,87
	MW TMPs	8	0,28	0,31	110	0,11	0,01	0,54	0,07	0,87
	WMP aus TMPs	2	1,50	1,90	130	1,40	-16	19	0,15	2,90
	WMP aus Ez	2	0,37	0,11	31	0,08	-0,65	1,40	0,29	0,45
	<b>Gesamt-MW</b>	<b>6</b>	<b>0,72</b>	<b>1,10</b>	<b>150</b>	<b>0,44</b>	<b>-0,40</b>	<b>3,50</b>	<b>0,07</b>	<b>2,90</b>
Hg KW/HF < 0,5 mm	TMP 1	2	0,09	0,03	32	0,02	-0,17	0,36	0,07	0,11
	TMP 2	2	0,14	0,0004	0,27	0,0003	0,13	0,14	0,14	0,14
	TMP 3	2	0,12	0,03	21	0,02	-0,11	0,35	0,10	0,14
	TMP 4	2	0,71	0,14	20	0,10	-0,56	2,00	0,61	0,81
	MW TMPs	8	0,27	0,28	110	0,10	0,03	0,50	0,07	0,81
	WMP aus TMPs	2	1,20	1,50	130	1,10	-12	15	0,10	2,20
	WMP aus Ez	2	0,33	0,11	32	0,07	-0,61	1,30	0,25	0,40
	<b>Gesamt-MW</b>	<b>6</b>	<b>0,59</b>	<b>0,82</b>	<b>140</b>	<b>0,33</b>	<b>-0,27</b>	<b>2,70</b>	<b>0,07</b>	<b>2,20</b>



Tabelle 70: Gegenüberstellung der Mischprobenergebnisse ox./HF und KW/HF für Fraktion < 1 mm – Quecksilber.

Element Aufschluss Fraktion	Probenbezeichnung	n	MW	SD	RSD	SD (MW)	95 % Konfidenz-intervall		Minimum	Maximum
							untere Grenze	obere Grenze		
			mg/kg TM	mg/kg TM	%	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM	mg/kg TM
Hg ox./HF < 1 mm	TMP 1	2	0,08	0,01	9	0,005	0,02	0,13	0,07	0,08
	TMP 2	2	0,15	0,00	2	0,002	0,12	0,18	0,14	0,15
	TMP 3	2	0,10	0,01	9	0,01	0,02	0,19	0,10	0,11
	TMP 4	2	0,81	0,07	9	0,05	0,15	1,50	0,76	0,86
	MW TMPs	8	0,28	0,33	120	0,12	0,01	0,56	0,07	0,86
	WMP aus TMPs	2	1,60	2,10	130	1,50	-17	20	0,14	3,10
	WMP aus Ez	2	0,28	0,02	7	0,01	0,11	0,45	0,26	0,29
	<b>Gesamt-MW</b>	<b>6</b>	<b>0,73</b>	<b>1,20</b>	<b>160</b>	<b>0,48</b>	<b>-0,49</b>	<b>3,70</b>	<b>0,07</b>	<b>3,10</b>
Hg KW/HF < 1 mm	TMP 1	2	0,08	0,003	4	0,002	0,05	0,10	0,07	0,08
	TMP 2	2	0,13	0,02	11	0,01	0,002	0,27	0,12	0,15
	TMP 3	2	0,11	0,01	9	0,01	0,02	0,20	0,10	0,12
	TMP 4	2	0,71	0,19	26	0,13	-0,96	2,40	0,58	0,84
	MW TMPs	8	0,26	0,29	110	0,10	0,02	0,50	0,07	0,84
	WMP aus TMPs	2	1,40	1,80	130	1,30	-15	17	0,10	2,60
	WMP aus Ez	2	0,27	0,16	60	0,11	-1,20	1,70	0,15	0,38
	<b>Gesamt-MW</b>	<b>6</b>	<b>0,63</b>	<b>0,98</b>	<b>160</b>	<b>0,40</b>	<b>-0,40</b>	<b>3,20</b>	<b>0,07</b>	<b>2,60</b>

## 5.2.2 Graphische Gegenüberstellung und Bewertung der Ergebnisse nach beiden Aufschlussmethoden ox./HF sowie KW/HF für die Fraktion < 0,5 mm und < 1 mm

### 5.2.2.1 Arsen

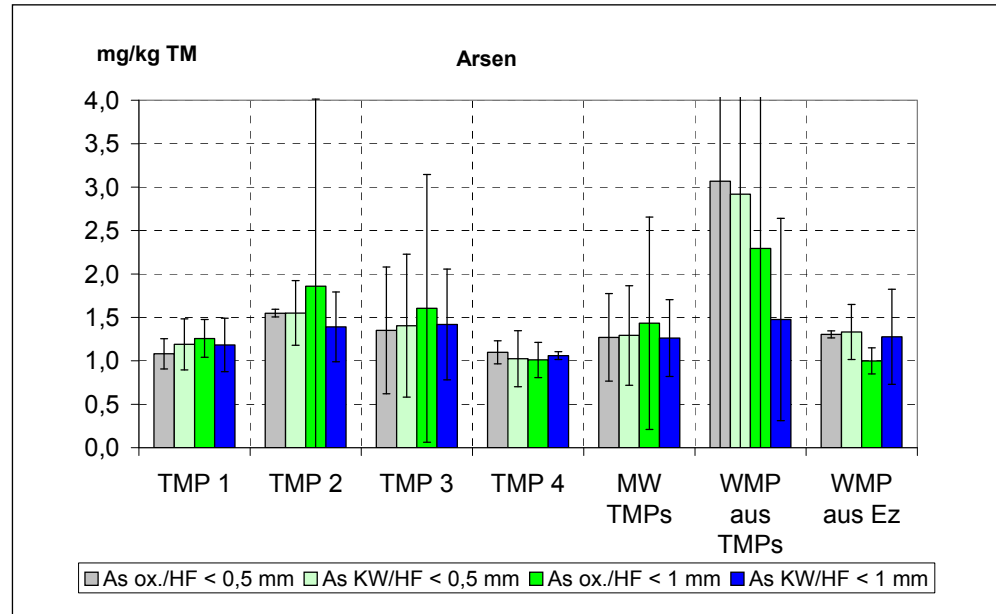


Abbildung 34: Darstellung der Ergebnisse für die Mischproben (MW +/- 2-fache SD) – Arsen.

#### Resümee Korngrößeneffekt (bei konstanter Säurematrix)

T-Test für gepaarte Stichproben: Die Differenzen zwischen den berechneten Mittelwerten der Tagesmischproben für die Fraktionen < 1 mm und < 0,5 mm (n = 8 Datensätze für TMPs) **unterscheiden sich nur zufällig** (gilt für beide Säurematrizes, hier: As ox./HF < 0,5 mm – As ox./HF < 1 mm; As KW/HF < 0,5 mm – As KW/HF < 1 mm).

#### Aufschlusseffekt (bei konstanter Korngröße)

T-Test für gepaarte Stichproben: Die Differenzen zwischen den berechneten Mittelwerten der Tagesmischproben für die Säurematrix ox./HF und KW/HF (n = 8 Datensätze für TMPs) **unterscheiden sich nur zufällig** (gilt für beide Fraktionen < 0,5 mm und < 1 mm, hier: As ox./HF < 0,5 mm – As KW/HF < 0,5 mm; As ox./HF < 1 mm – As KW/HF < 1 mm).



### 5.2.2.2 Blei

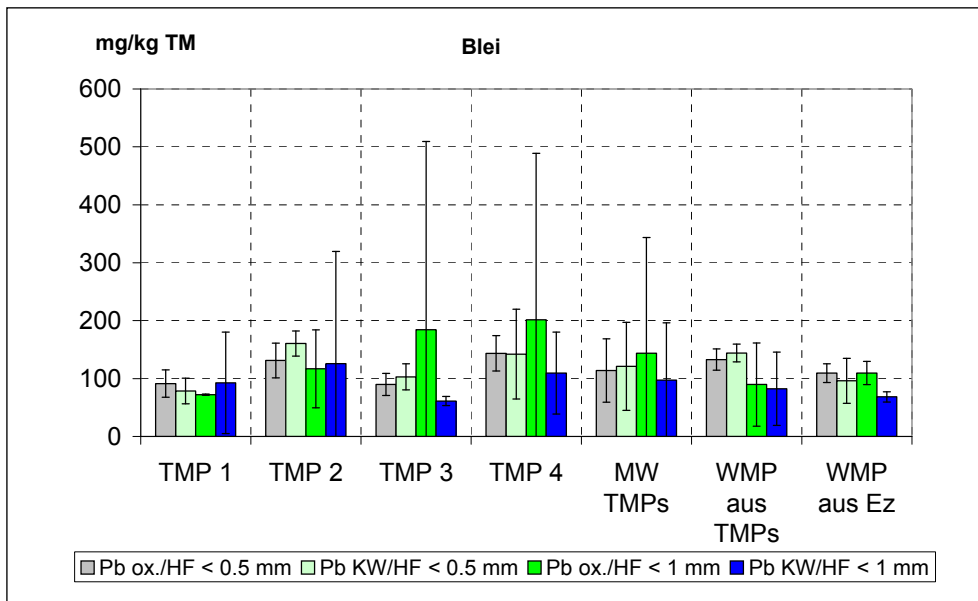


Abbildung 35: Darstellung der Ergebnisse für die Mischproben (MW +/- 2-fache SD) – Blei.

#### Korngrößeneffekt (bei konstanter Säurematrix)

T-Test für gepaarte Stichproben: Die Differenzen zwischen den berechneten Mittelwerten der Tagesmischproben für die Fraktionen < 1 mm und < 0,5 mm (n = 8 Datensätze für TMPs) **unterscheiden sich nur zufällig** (gilt für beide Säurematrizes).

#### Resümee

#### Aufschlusseffekt (bei konstanter Korngröße)

T-Test für gepaarte Stichproben: Die Differenzen zwischen den berechneten Mittelwerten der Tagesmischproben für die Säurematrix ox./HF und KW/HF (n = 8 Datensätze für TMPs) **unterscheiden sich nur zufällig** (gilt für beide Fraktionen < 0,5 mm und < 1 mm).

### 5.2.2.3 Cadmium

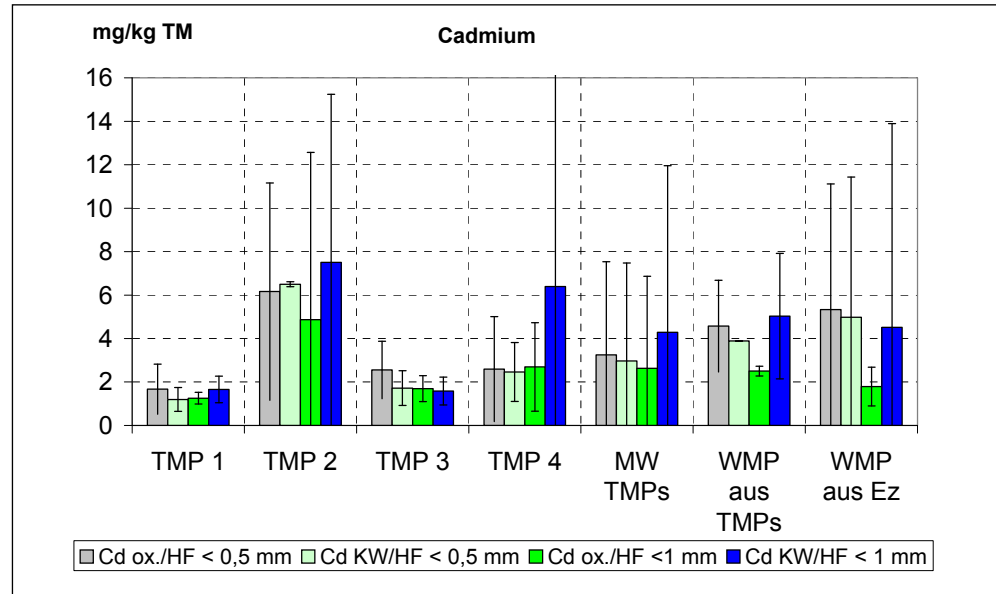


Abbildung 36: Darstellung der Ergebnisse für die Mischproben (MW +/- 2-fache SD) – Cadmium.

#### Resümee Korngrößeneffekt (bei konstanter Säurematrix)

T-Test für gepaarte Stichproben: Die Differenzen zwischen den berechneten Mittelwerten der Tagesmischproben für die Fraktionen < 1 mm und < 0,5 mm (n = 8 Datensätze für TMPs) **unterscheiden sich nur zufällig** (gilt für beide Säurematrizes).

#### Aufschlusseffekt (bei konstanter Korngröße)

T-Test für gepaarte Stichproben: Die Differenzen zwischen den berechneten Mittelwerten der Tagesmischproben für die Säurematrix ox./HF und KW/HF (n = 8 Datensätze für TMPs) **unterscheiden sich nur zufällig** (gilt für beide Fraktionen < 0,5 mm und < 1 mm).

### 5.2.2.4 Chrom

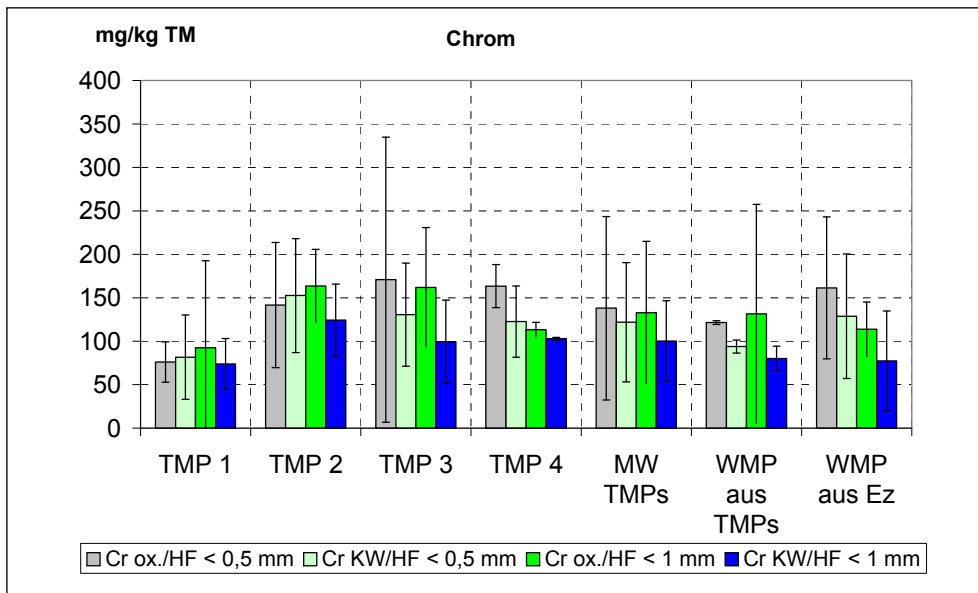


Abbildung 37: Darstellung der Ergebnisse für die Mischproben (MW +/- 2-fache SD) – Chrom.

#### Korngrößeneffekt (bei konstanter Säurematrix)

#### Resümee

T-Test für gepaarte Stichproben: Die Differenzen zwischen den berechneten Mittelwerten der Tagesmischproben < 0,5 mm und < 1 mm für die Säurematrix **ox./HF** (n = 8 Datensätze für TMPs) **unterscheiden sich nur zufällig**.

**KW/HF:** Bei den Differenzen zwischen den Mittelwerten der Tagesmischproben für Cr KW/HF < 0,5 mm und Cr KW/HF < 1 mm wurde ein **signifikanter Unterschied** festgestellt (Signifikanzniveau 0,04). Da keine Ausreißerelimination bei den Daten vorgenommen wurde und aufgrund der geringen Datenanzahl sind die Ergebnisse des statistischen Tests mit Vorsicht zu interpretieren.

Ein Vergleich der Mittelwerte der Tagesmischproben mit zugehörigen **95 % Konfidenzintervallen zeigt eine Überlappung der beiden Bereiche an:**

Cr KW/HF < 0,5 mm (93–151 mg/kg TM);

Cr KW/HF < 1 mm (81–120 mg/kg TM);

vgl. auch o. a. Graphik mit MW +/- 2 SD.

**Aufschlusseffekt (bei konstanter Korngröße)**

T-Test für gepaarte Stichproben: Die Differenzen zwischen den berechneten Mittelwerten der Tagesmischproben für die Säurematrix ox./HF und KW/HF (n = 8 Datensätze für TMPs) **unterscheiden sich nur zufällig** (gilt für **Fraktion < 0,5 mm**).

**Fraktion < 1 mm:** Mittels T-Test für gepaarte Stichproben wurde ein **signifikanter Unterschied** zwischen den Differenzen der Mittelwerte der Tagesmischproben für Cr KW/HF < 1 mm und Cr ox/HF < 1 mm festgestellt.

Da keine Ausreißerelimination bei den Daten vorgenommen wurde und aufgrund der geringen Datenanzahl sind die Ergebnisse des statistischen Tests mit Vorsicht zu interpretieren.

Ein Vergleich der Mittelwerte der Tagesmischproben mit **zugehörigen 95 % Konfidenzintervallen zeigt eine Überlappung** der beiden Bereiche an:

Cr KW/HF < 1 mm (81–120 mg/kg TM);

Cr ox/HF < 1 mm (99–170 mg/kg TM);

vgl. auch o. a. Graphik mit MW +/- 2 SD.

### 5.2.2.5 Kobalt

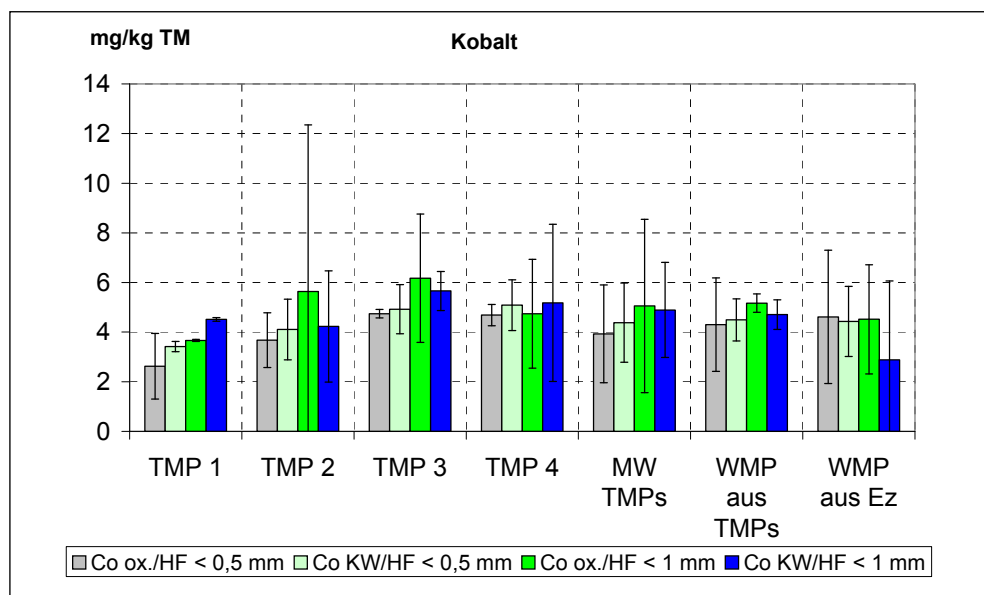


Abbildung 38: Darstellung der Ergebnisse für die Mischproben (MW +/- 2-fache SD) – Kobalt.

#### Korngrößeneffekt (bei konstanter Säurematrix)

#### Resümee

T-Test für gepaarte Stichproben: Die Differenzen zwischen den berechneten Mittelwerten der Tagesmischproben für die Fraktionen < 1 mm und < 0,5 mm (n = 8 Datensätze für TMPs) **unterscheiden sich nur zufällig** (gilt für beide Säurematrizes).

#### Aufschlusseffekt (bei konstanter Korngröße)

T-Test für gepaarte Stichproben: Die Differenzen zwischen den berechneten Mittelwerten der Tagesmischproben für die Säurematrix ox./HF und KW/HF (n = 8 Datensätze für TMPs) **unterscheiden sich nur zufällig (gilt für Fraktion < 1 mm)**.

**Fraktion < 0,5 mm:** Mittels T-Test für gepaarte Stichproben wurde ein **signifikanter Unterschied** zwischen den Differenzen der Mittelwerte der Tagesmischproben für Co KW/HF < 0,5 mm und Co ox./HF < 0,5 mm festgestellt. Da keine Ausreißerelimination bei den Daten vorgenommen wurde und aufgrund der geringen Datenanzahl sind die Ergebnisse des statistischen Tests mit Vorsicht zu interpretieren.

Ein Vergleich sämtlicher Mittelwerte mit **zugehörigen 95 % Konfidenzintervallen zeigt eine Überlappung** der beiden Bereiche an:

Co KW/HF < 0,5 mm (3,7–5,1 mg/kg TM) und Co ox./HF < 0,5 mm (3,1–4,8 mg/kg TM); vgl. auch o. a. Graphik mit MW +/- 2 SD.

### 5.2.2.6 Nickel

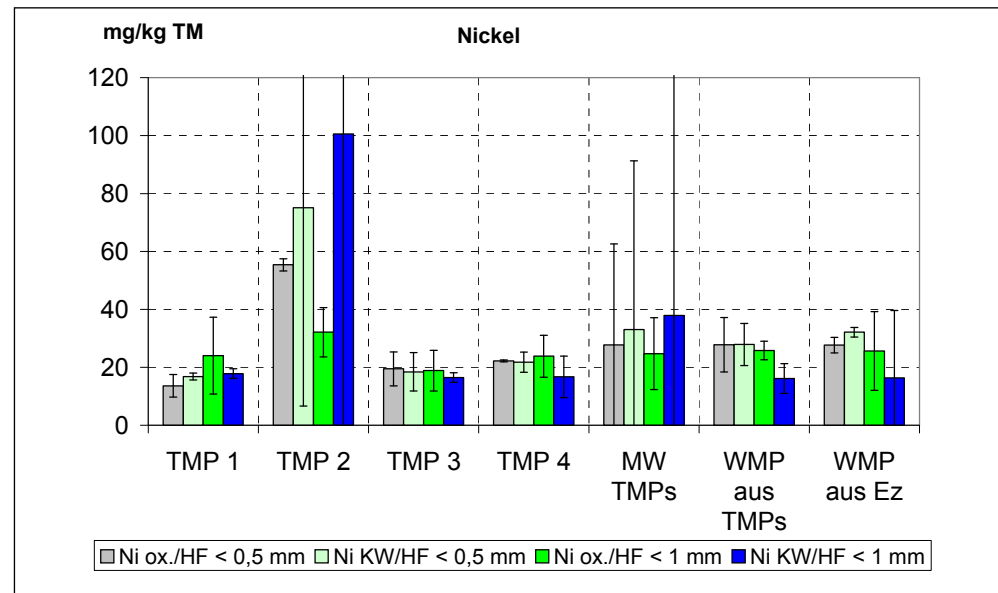


Abbildung 39: Darstellung der Ergebnisse für die Mischproben (MW +/- 2-fache SD) – Nickel.

#### **Resümee Korngrößeneffekt (bei konstanter Säurematrix)**

T-Test für gepaarte Stichproben: Die Differenzen zwischen den berechneten Mittelwerten der Tagesmischproben für die Fraktionen < 1 mm und < 0,5 mm (n = 8 Datensätze für TMPs) **unterscheiden sich nur zufällig** (gilt für beide Säurematrizes).

#### **Aufschlusseffekt (bei konstanter Korngröße)**

T-Test für gepaarte Stichproben: Die Differenzen zwischen den berechneten Mittelwerten der Tagesmischproben für die Säurematrix ox./HF und KW/HF (n = 8 Datensätze für TMPs) **unterscheiden sich nur zufällig** (gilt für beide Fraktionen < 0,5 mm und < 1 mm).

### 5.2.2.7 Antimon

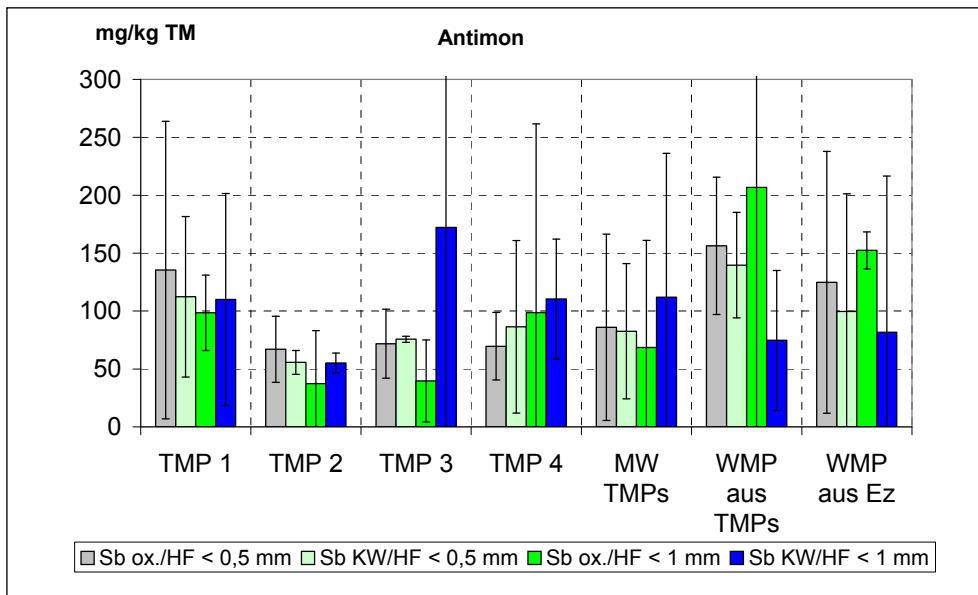


Abbildung 40: Darstellung der Ergebnisse für die Mischproben (MW +/- 2-fache SD) – Antimon.

#### Korngrößeneffekt (bei konstanter Säurematrix)

#### Resümee

T-Test für gepaarte Stichproben: Die Differenzen zwischen den berechneten Mittelwerten der Tagesmischproben für die Fraktionen < 1 mm und < 0,5 mm (n = 8 Datensätze für TMPs) **unterscheiden sich nur zufällig** (gilt für beide Säurematrizes).

#### Aufschlusseffekt (bei konstanter Korngröße)

T-Test für gepaarte Stichproben: Die Differenzen zwischen den berechneten Mittelwerten der Tagesmischproben für die Säurematrix ox./HF und KW/HF (n = 8 Datensätze für TMPs) **unterscheiden sich nur zufällig** (gilt für beide Fraktionen < 0,5 mm und < 1 mm).

### 5.2.2.8 Kupfer

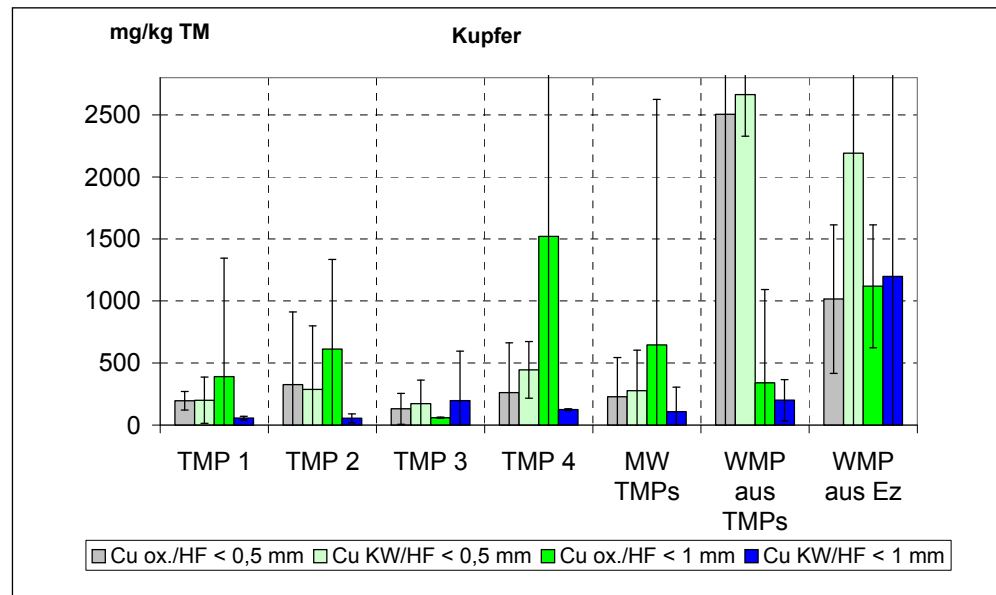


Abbildung 41: Darstellung der Ergebnisse für die Mischproben (MW +/- 2-fache SD) – Kupfer.

#### Resümee Korngrößeneffekt (bei konstanter Säurematrix)

T-Test für gepaarte Stichproben: Die Differenzen zwischen den berechneten Mittelwerten der Tagesmischproben < 0,5 mm und < 1 mm für die Säurematrix **ox./HF unterscheiden sich nur zufällig**.

Bei Säurematrix **KW/HF** unterscheiden sich die Differenzen zwischen den Mittelwerten der Tagesmischproben bei Cu KW/HF < 0,5 mm und Cu KW/HF < 1 mm **signifikant** (n = 8 Datensätze für TMPs)

Da keine Ausreißerelimination bei den Daten vorgenommen wurde und aufgrund der geringen Datenanzahl (n = 8 Datensätze für die 4 TMPs) sind die Ergebnisse des statistischen Tests mit Vorsicht zu interpretieren.

Ein Vergleich sämtlicher Mittelwerte mit zugehörigen **95 % Konfidenzintervallen zeigt eine Überlappung** der beiden Bereiche an:

Cu KW/HF < 0,5 mm (140–410 mg/kg TM); Cu KW/HF < 1 mm (26–190 mg/kg TM); vgl. auch o. a. Graphik mit MW +/- 2 SD.

#### Aufschlusseffekt (bei konstanter Korngröße)

T-Test für gepaarte Stichproben: Die Differenzen zwischen den berechneten Mittelwerten der Tagesmischproben für die Säurematrix ox./HF und KW/HF (n = 8 Datensätze für TMPs) **unterscheiden sich nur zufällig** (gilt für beide Fraktionen < 0,5 mm und < 1 mm).



### 5.2.2.9 Zink

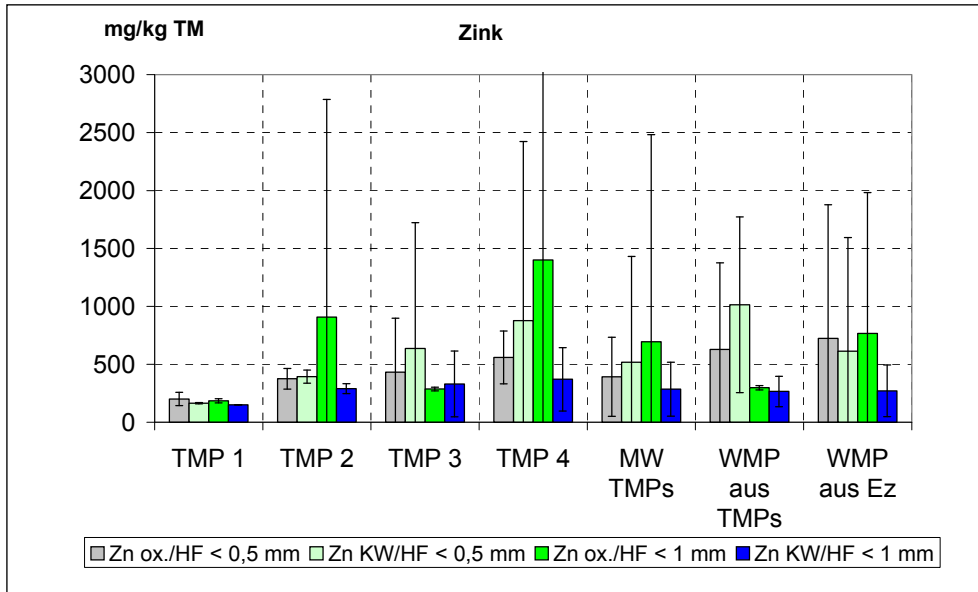


Abbildung 42: Darstellung der Ergebnisse für die Mischproben (MW +/- 2-fache SD) – Zink.

#### Korngrößeneffekt (bei konstanter Säurematrix)

#### Resümee

T-Test für gepaarte Stichproben: Die Differenzen zwischen den berechneten Mittelwerten der Tagesmischproben für die Fraktionen < 1 mm und < 0,5 mm (n = 8 Datensätze für TMPs) **unterscheiden sich nur zufällig** (gilt für beide Säurematrizes).

#### Aufschlusseffekt (bei konstanter Korngröße)

T-Test für gepaarte Stichproben: Die Differenzen zwischen den berechneten Mittelwerten der Tagesmischproben für die Säurematrix ox./HF und KW/HF (n = 8 Datensätze für TMPs) **unterscheiden sich nur zufällig** (gilt für beide Fraktionen < 0,5 mm und < 1 mm).

### 5.2.2.10 Quecksilber

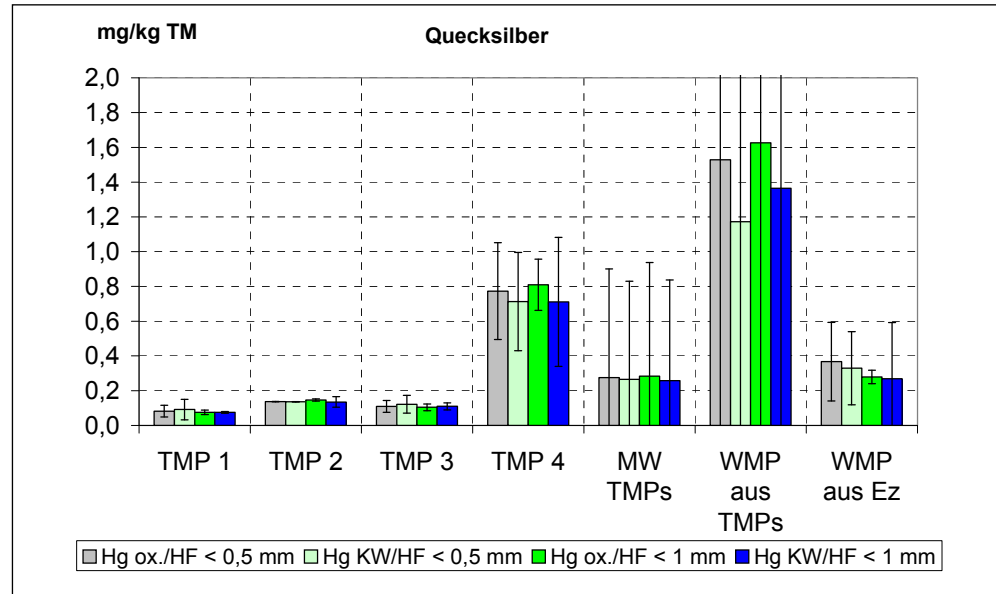


Abbildung 43: Darstellung der Ergebnisse für die Mischproben (MW +/- 2-fache SD) – Quecksilber.

#### **Resümee Korngrößeneffekt (bei konstanter Säurematrix)**

T-Test für gepaarte Stichproben: Die Differenzen zwischen den berechneten Mittelwerten der Tagesmischproben für die Fraktionen < 1 mm und < 0,5 mm (n = 8 Datensätze für TMPs) **unterscheiden sich nur zufällig** (gilt für beide Säurematrizes).

#### **Aufschlusseffekt (bei konstanter Korngröße)**

T-Test für gepaarte Stichproben: Die Differenzen zwischen den berechneten Mittelwerten der Tagesmischproben für die Säurematrix ox./HF und KW/HF (n = 8 Datensätze für TMPs) **unterscheiden sich nur zufällig** (gilt für beide Fraktionen < 0,5 mm und < 1 mm).

## 5.3 Diskussion und Schlussfolgerungen

### **Einfluss der Aufbereitungstiefe (Korngröße) auf die Ergebnisse von Ersatzbrennstoffen**

In der Literatur mit Bezug zu Probenaufbereitung und Ersatzbrennstoffen aus Haushaltsabfällen wird bisweilen angeraten, auf den Feinzerkleinerungsschritt ( $< 1$  mm) zu verzichten, da einerseits der Zeitaufwand beträchtlich ist, andererseits für manche Analyten die Erfahrung gemacht wurde, dass die Streuung der Messwerte im feinen Material größer wird (vgl. Dissertation Kost, 2001 zit. in ROTTER 2008). In den Vorschriften der Bundesgütegemeinschaft zu Sekundärbrennstoffen wird eine Zerkleinerung des Materials auf eine Endkorngröße von 1 mm vorgeschlagen.

Bereits im Rahmen der Arbeiten zur Studie ERSA (UMWELTBUNDESAMT 2006) wurde für einige ausgewählte Analyten eine Prüfung auf den möglichen Einfluss der Korngröße durchgeführt. Im Gegensatz zur oben zitierten Aussage wurden vergleichbare Mittelwerte zwischen den Aufarbeitungen auf  $< 1$  mm (Schneidmühle) und  $< 0,5$  mm (Rotorschnellmühle) für As, Cd, Cu, Se, Sb und Pb, verbunden mit eindeutig geringeren Schwankungen bei den Daten aus den feiner aufbereiteten Proben nachgewiesen. Für Co, Mn, V und Sn wurden vergleichbare Schwankungen nach Feinzerkleinerung der Proben erhalten. Nur bei Zink wurde keine Verbesserung der Standardabweichung festgestellt (metallische Partikel dominieren auch noch in Fraktion  $< 0,5$  mm). Daraus wurde die Forderung abgeleitet, dass bei Proben, die nur auf  $< 1$  mm aufbereitet werden, deutlich mehr unabhängige Bestimmungen durchgeführt werden sollten (nicht unter vier getrennte Bestimmungen pro Probe).

Zur Ermittlung des Einflusses der Aufbereitungstiefe auf die Streuung der Analysergebnisse für die in der Praxis üblichen Prüfprobenmengen (ca. 0,3 g) wurde in der vorliegenden Arbeit mittels statistischen T-Tests gepaarter Stichproben auf das Vorhandensein signifikanter Unterschiede zwischen den erhaltenen Mittelwerten nach Aufarbeitung auf  $< 1$  mm und  $< 0,5$  mm geprüft.

Da vor der Durchführung statistischer Tests üblicherweise auf das Vorhandensein von sog. „Ausreißern“ geprüft werden sollte, bei heterogenen Ersatzbrennstofffraktionen jedoch diese ungewöhnlich höheren Gehalte „systemimmanent“ sind und in der Folge als zum Datensatz jedenfalls zugehörig betrachtet werden sollten, wurden bewusst keinerlei Ausreißer eliminiert. Daher wurde bei statistisch nachweisbaren Unterschieden zwischen den Differenzen der Mittelwerte der Vergleichspaare  $< 1$  mm und  $< 0,5$  mm in der Folge geprüft, ob die 95 % Konfidenzintervalle beider Mittelwerte überlappen. Falls eine eindeutige Überlappung vorlag, wurde die Vergleichbarkeit der beiden Mittelwerte schlussgefolgert.

Nachfolgende Analyten zeigten gemäß statistischem T-Test gepaarter Stichproben nur zufällige Unterschiede zwischen den auf Basis der  $< 1$  mm und  $< 0,5$  mm gewonnenen Daten:

- Für Säurematrix ox./HF und KW/HF: Arsen, Blei, Cadmium, Kobalt, Nickel, Antimon, Zink, Quecksilber.
- Chrom, Kupfer (jeweils nur für Säurematrix ox./HF).

### ***Einfluss der Korngröße***

Nachfolgende Analyten zeigten signifikante Unterschiede zwischen den auf Basis der  $< 1$  mm und  $< 0,5$  mm gewonnenen Daten, die zugehörigen 95 % Konfidenzintervalle zeigten jedoch eine Überlappung der beiden Bereiche an:

- Chrom, Kupfer (jeweils nur für Säurematrix KW/HF).

**Fazit: Die Mittelwerte für sämtliche untersuchten Analyten sind vergleichbar (unabhängig von der Korngröße). Die Tests wurden auf Basis von 8 Datenpaaren  $< 0,5$  mm/ $< 1$  mm durchgeführt (4 Tagesmischproben, jeweils  $n = 2$  unabhängige Einwaagen pro Probe für Fraktion  $< 0,5$  mm und  $< 1$  mm).**

### Diskussion der Feinaufbereitung auf $< 0,5$ mm

#### ***Einfluss der Aufbereitung auf die Streuung der Ergebnisse***

Zur Ermittlung, ob die Forderung einer Mindestaufbereitung auf  $< 0,5$  mm gerechtfertigt erscheint, wurden die Daten aus der Varianzanalyse herangezogen. Insgesamt  $n = 24$  unabhängige Ergebnisse pro Analyt für beide untersuchten Säurematrices ox./HF und KW/HF standen für die Aufarbeitungen  $< 1$  mm und  $< 0,5$  mm zur Verfügung. Generell wurden keine Ausreißer eliminiert (zur Ausreißerproblematik siehe letzten Diskussionspunkt).

Eine eindeutige Verbesserung der beobachteten Standardabweichung durch Korngrößenreduktion konnte bei den Analyten Arsen, Blei, Cadmium, Kobalt, Nickel, Antimon und Kupfer erzielt werden. Bei Zink fiel das Ergebnis nicht so eindeutig aus – es lag eine Erniedrigung der Standardabweichung um den Faktor 1,3 bis 2,5 vor – bei Chrom und Quecksilber waren keine signifikanten Unterschiede im Hinblick auf die betrachteten Standardabweichungen bei den Aufarbeitungen  $< 1$  mm und  $< 0,5$  mm feststellbar.

**Insgesamt konnten für die Mehrzahl der Analyten (7 von 10) signifikante Verbesserungen bei der beobachteten Streuung der Gehalte erzielt werden (bei vergleichbaren Ergebnissen).**

Die Forderung nach Feinaufbereitung auf zumindest  $< 0,5$  mm erscheint gerechtfertigt. Besonders günstig erweist sich im Zuge der Feinaufarbeitung das Zusammenspiel von Schneidmühle (Hartmetall-Wendeschnidplatten) für die leistungsfähige schneidende Vorzerkleinerung mit Siebeinsatz 1 mm und die anschließende Feinzerkleinerung mittels Ultra-Zentrifugalmühle (Titanausrüstung) unter Ausnutzung eines anderen dominierenden Zerkleinerungsprinzips, nämlich der Prall- und Scherwirkung zwischen Rotor und Ringsieb. Während sich bei der Schneidmühle die Verwendung von flüssigem Stickstoff für die Versprödung des Materials als besonders vorteilhaft erweist, sollte der Durchsatz bei der Feinzerkleinerung gedrosselt werden, damit die Probe an sich unter Hitzeeinwirkung nicht verändert wird. Da selbst in einer feinaufbereiteten Probe  $< 0,5$  mm die unterschiedlichen Bestandteile der Probe wie z. B. Textil-/Holz-Fasern, Staub, Kunststoffpartikel, metallische Partikel u. a. deutlich zu erkennen sind und Entmischungen der Proben nach Abfüllung auftreten, ist ein hohes Augenmerk auf die Art der Probenentnahme im Zuge der Einwaagen für Aufschlüsse etc. zu legen.

In der vorliegenden Arbeit wurden zwei genormte Aufschlussverfahren mittels heterogener Ersatzbrennstofffraktionen und Referenzmaterialien (Polyethylen) im Vergleich zueinander getestet:

- Aufschluss ox./HF gemäß ÖNORM CEN/TS 15297 mit einer Mischung aus Salpetersäure, Wasserstoffperoxid und Flusssäure/Borsäurekomplexierung.
- Aufschluss KW/HF gemäß Vornorm ÖNORM CEN/TS 15411 unter Anwendung der Grundsätze der ÖNORM EN 13656 mit einer Mischung aus Königswasser (Salzsäure und Salpetersäure im Verhältnis 3 zu 1) und Flusssäure/Borsäurekomplexierung.

### ***Aufschlussverfahren und Säurematrix zur Erzielung eines Vollaufschlusses***

### **Vergleich der Ergebnisse in Abhängigkeit von der Säuremischung**

Für die Prüfung, ob ein Unterschied zwischen den Ergebnissen nach Säureaufschluss ox./HF bzw. nach Säureaufschluss KW/HF vorliegt, wurde der statistische T-Test für gepaarte Stichproben – für beide Fraktionen < 1 mm und < 0,5 mm getrennt – herangezogen. Es wurden wie bereits beim Mittelwertvergleich in Abhängigkeit von den Korngrößen sämtliche Ergebnisse ohne vorherige Ausreißerelimination berücksichtigt.

### ***Aufschluss-Vergleich ox./HF und KW/HF***

Nachfolgende Analyten zeigten nur zufällige Unterschiede zwischen den Säureaufschlüssen ox./HF und KW/HF auf:

- Für beide Fraktionen < 0,5 mm und < 1 mm: Arsen, Blei, Cadmium, Nickel, Antimon, Kupfer, Zink, Quecksilber.
- Für eine der beiden Fraktionen: Chrom (nur für Fraktion < 0,5 mm), Kobalt (nur für Fraktion < 1 mm).

Nachfolgende Analyten zeigten signifikante Unterschiede zwischen den Differenzen der Mittelwerte der Tagesmischproben nach den Säureaufschlüssen ox./HF und KW/HF, die zugehörigen 95 % Konfidenzintervalle zeigten jedoch eine Überlappung der beiden Bereiche an:

- Chrom (Fraktion < 1 mm), Kobalt (Fraktion < 0,5 mm).

**Fazit: Die Mittelwerte für sämtliche untersuchten Analyten sind vergleichbar (unabhängig vom Aufschluss). Die Tests wurden auf Basis von 8 Datenpaaren < 0,5 mm/< 1 mm durchgeführt (4 Tagesmischproben, jeweils n = 2 unabhängige Einwaagen pro Probe für Fraktion < 0,5 mm und < 1 mm). Besonders vorteilhaft erweist sich die oxidative Säuremischung für die Bestimmung mit ICP-MS, da durch die Vermeidung von Salzsäure deutlich geringere Interferenzen auftreten (vor allem bei Arsen!).**

### **Aufschlussverfahren – Diskussion alternativer Säuremischungen für den Mikrowellen-unterstützten Druckaufschluss**

Es ist anzumerken, dass für das Referenzmaterial (Polyethylen) der Aufschluss ox./HF geeigneter erscheint. Bei den untersuchten Realproben waren nach dem Aufschluss mit beiden angeführten Säuremischungen schwarze Ränder im Aufschlussgefäß erkennbar, welche im Zuge der Reinigungsprozesse mit Reinigungslösungen (Säuremischung) im Ultraschallbad und durch sanftes Bürsten entfernt werden mussten. Um Beeinflussungen von höher belasteten Proben auf niedriger konzentrierte Proben zu vermeiden, wurden sämtliche Aufschlussgefäße nach dem Reinigungsprozess mit Salpetersäure ausgedämpft und auf Rückstandsfreiheit kontrolliert.

### ***alternative Aufschlussverfahren***

Da gemäß der Richtlinie für Ersatzbrennstoffe auch alternative Aufschlussverfahren angewendet werden dürfen, sofern ein Vollaufschluss erzielt wird, wurde noch nach weiteren Aufschlussmethoden mit Verwendung eines höheren Volumens an Salpetersäure recherchiert, die für die Proben geeignet erscheinen:

In einer frühen Arbeit von ZISCHKA, KETTISCH & KAINRATH (1998) wurde das Aufschlussverhalten gemischter Kunststofffraktionen mit Mikrowellen-unterstütztem Druckaufschluss getestet und nach Prüfung unterschiedlicher Säuremischungen wurde als optimales Aufschlussreagenz für Kunststoffmischungen aus dem Abfallbereich eine Mischung aus 6 ml Salpetersäure, 0,5 ml Salzsäure und 1 ml Flusssäure vorgeschlagen.

Während die organische Matrix mit ausreichender Menge an Salpetersäure zerstört wird, komplexiert die im Vergleich zur Königswassermischung im Verhältnis nur geringe Menge an Salzsäure (nichtoxidierend) Elemente wie z. B. Fe, Cr, Al und Sb. Die Flusssäure wird für den vollständigen Aufschluss anorganischer Bestandteile zugegeben und zusätzlich wirkt der Zusatz komplexierend für einige Metalle.

ZISCHKA, KETTISCH & KAINRATH (1998) haben im Zuge der Tests des Aufschlussverhaltens gemischter Kunststofffraktionen mit Mikrowellen-unterstütztem Druckaufschluss festgestellt, dass einige Zusätze sehr reaktive Zwischenprodukte bilden können, die zu Druckspitzen beim Aufschlussprozess führen (z. B. können verklumpte Kunststoffproben mit einem niedrigen Schmelzpunkt unter weiterer Mikrowellenanregung zerbersten).

Dieses Verhalten kann auch durch eigene Untersuchungen von Ersatzbrennstoffen mit hohen Anteilen an Polyethylen und bei Einwaagen um 0,3 g bei Mikrowellenaufschlüssen bestätigt werden (vor allem bei oxidativen Säuremischungen!) – insbesondere bei Mikrowellengeräten mit kleinvolumigeren PTFE-Gefäßen ohne Rührmöglichkeit schwimmen leichtere Kunststoffanteile auf, schmelzen und bilden einen zusammenhängenden Kunststofffilm aus, der bei weiterer Mikrowellenanregung unter rasantem Druckanstieg zerplatzt und vielfach als verkohlter Klumpen am Rande des Gefäßes zurückbleibt. Das kann bis zur Verformung des Teflungefäßes und zum Gefäß- und Probenverlust führen. Günstigere Aufschlussbedingungen schaffen neuere Mikrowellendruckaufschlussgeräte mit Aufschlussgefäßen größerer Nutzvolumina (Rückfluss an der Gefäßwand, mehr Volumen für Reaktionsgase, dadurch nicht so schnell Drucklimit erreicht, also höhere Temperatur erzielbar) und zusätzlichen Einstellmöglichkeiten zum Abfangen von zu schnellen Temperatur- bzw. Druckanstiegsraten.

### Anmerkungen zu Ausreißern

#### **systemimmanente Ausreißer**

Die untersuchten sog. „simulierten Ersatzbrennstofffraktionen“ aus dem Restmüllsplitting stellen extrem heterogene Materialien dar. Einerseits ist die Bandbreite an unterschiedlichen Materialien sehr groß, z. B. Weich- und Hartkunststoffe, Elastomere, Schaumstoffe, Verbundstoffe, Kartonagen, aluminiumhaltige Kunststoffteile, Holz, anorganische Anhaftungen, Metalle (NFE, FE)<sup>8</sup> usw. Andererseits sind die relevanten Frachtträger an Schadstoffen in zumeist nur geringen Anteilen des Abfalls zu finden, z. B. PVC-Teile als Schadstoffträger für Cl, Cd, Pb im aufbereiteten Ersatzbrennstoff. PVC wird für Rohre, Draht- und Kabelisolierungen, Kunstleder, Schläuche, Folien, Bodenbeläge, in der Medizintechnik und für Verpackungen aller Art eingesetzt.

<sup>8</sup> NFE ... Nichteisenmetalle FE ... Eisenmetalle



Nur geringe PVC-Anteile in einem Ersatzbrennstoff können somit einen sehr hohen Beitrag zur Chlor- und Cadmiumfracht liefern. Geringste Anteile an Batterien werden für die Frachten an Hg verantwortlich gemacht. Gleichmaßen gilt dies für metallische Frachtträger, die sich im Laufe des Zerkleinerungsprozesses grundlegend anders verhalten als die restlichen Fraktionen. Mittels Verteilungsfunktionen der Frachtträger ist der Einfluss einzelner Abfallfraktionen (hier z. B. Textilfraktion, Kartonagen, langlebige Kunststoffe, Verpackungskunststoffe, Metalle, ...) auf die Konzentration im Gemisch besonders deutlich zu erkennen. Dabei wird der spezifische Frachtbeitrag der einzelnen Fraktionen, geordnet nach jeweils steigendem spezifischem Frachtbeitrag über den jeweiligen Massenanteil aufsummiert. Bei der Analytik werden daher Ausreißer vor allem bei Elementen beobachtet, deren Verteilungsfunktion betr. Massenanteil zu Frachtbeitrag stark exponentiell verläuft. Dies ist vor allem für Schwermetalle wie z. B. Pb, Cd etc. in Fraktionen abfallstämmiger Ersatzbrennstoffe typisch (vgl. ROTTER 2008).

Die Ursachen für systemimmanente Ausreißer liegen wie bereits erwähnt in den Schwierigkeiten der Probenaufbereitung (unterschiedliche Zerkleinerungseigenschaften, metallische Frachtträgerpartikel, geringe Anteile kontaminierter Partikel, ...) verbunden mit der geringen Probenmenge, die letztendlich für Aufschlüsse zur Bestimmung von Spurenelementen in der täglichen Praxis eingesetzt werden. Bei den bisherigen Untersuchungen war auffallend, dass die sog. Ausreißer regelmäßig und eher häufig auftraten. Wurden daher zusätzliche Bestimmungen der Schadstoffgehalte aus der aufbereiteten Analysenprobe durchgeführt, wurden in der Folge sowohl höhere (Ausreißer) als auch niedrigere Daten bestätigt. Auch SKUTAN (2009) kommt zum Schluss, dass die Anwendung von Ausreißertests bei systematisch erzeugten Ausreißern falsch ist und empfiehlt betreffend Bewertung von Datensätzen mit Ausreißern zunächst die Erhebung der Frequenz des Auftretens von Ausreißern und die Bestimmung der durchschnittlichen Überhöhung (= Differenz aus Ausreißer und Mittelwert ohne Ausreißer). Durch gemeinsame Bewertung der Ausreißerhäufigkeit in Zusammenhang mit der durchschnittlichen Überhöhung kann dann abgeschätzt werden, ob die Einhaltung eines Grenzwertes gegeben ist. Einen kritischen Parameter stellt hier bekanntermaßen vor allem Cadmium dar. Für Kupfer wurden aus den o. a. Gründen bereits in der Richtlinie auf entsprechende Grenzwerte verzichtet. Die Überprüfung der Einhaltung wäre unter vertretbarem Aufwand nicht möglich gewesen.

Bei heterogenen Materialien sollten daher keinesfalls Entscheidungen auf Basis von Einzeldaten getroffen werden! Vielmehr ist für die abfallstämmigen heterogenen Materialien eine umfangreiche Datenbasis systematisch aufzubauen, die sämtliche verbrennungs- und umweltrelevanten Parameter vollständig umfasst, d. h. ohne vorhergehende Bereinigung von sog. Ausreißern. Die Ausreißer gehören zum Datensatz! Eine diesbezügliche Regelung betreffend die Bewertung von Grenzwerteinhaltung im Zusammenhang mit Ausreißern findet sich in der Richtlinie für Ersatzbrennstoffe: Für Abfallströme gilt folgende Regelung: **Zur Bestimmung des Medians und des 80er Perzentils werden die letzten 10 Untersuchungsergebnisse herangezogen.** Der Grenzwert gilt als eingehalten, wenn der Beurteilungswert den Grenzwert für den Median und das 80er Perzentil nicht überschreitet. Eine anderweitige Ausreißerelimination ist nicht gestattet! Da die derzeitigen Regelungen der Richtlinie für Ersatzbrennstoffe in einer Novelle zur Abfallverbrennungsverordnung festgeschrieben werden sollen, ist zu fordern, dass bei Ersatzbrennstoffen die Regelungen der Angabe sämtlicher Daten ohne vorhergehende Elimination von Ausreißern und die Regelungen zur Grenzwerteinhaltung („8 von jeweils



letzten 10“) dezidiert beibehalten werden. Es gilt, systematisch Datensätze bei den ProduzentInnen und Anwenderinnen/Anwendern von Ersatzbrennstoffen aufzubauen, um fundierte Entscheidungen betreffend der Lenkung des geordneten Einsatzes ableiten zu können.





## 6 LITERATURVERZEICHNIS

- EC – European Commission (2007): EUR Report 22784 EN. The certification of the mass fractions of As, Br, Cd, Cl, Cr, Hg, Pb, S and Sb and the assignment of indicative values for Sn and Zn in two polyethylene reference materials.
- GRUBER, H. & KNAUS, S: Chemische Technologie Organischer Stoffe. Vorlesungsskriptum. TU Wien.
- JANSSEN, J. & LAATZ, W. (2007): Statistische Datenanalyse mit SPSS für Windows. 6. Neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Hamburg, Juni 2007.
- ROTTER, S. (2008): Die Bedeutung einheitlicher Gütekriterien und Analysenverfahren für Ersatzbrennstoffe. In: Tagungsband zum Workshop am 29. Jänner 2008 in Dresden. EBS-Analytik. Anforderungen–Probleme–Lösungen. BILITEWSKI, B., WERNER, B., ROTTER, S., HOFFMANN, G. (Hg.). Beiträge zur Abfallwirtschaft/Altlasten. Band 54. Pirna.
- ROTTER, S. & BILITEWSKI, B. (2003): Vortrag im Rahmen der 8. Münsteraner Abfallwirtschaftstage: Schwermetalle in Haushaltsabfällen – Einfluss auf den Ersatzbrennstoff. Münster, Jänner 2003.
- ROTTER, S., KOST, T., BILITEWSKI, B, KOCK, O., SEEGER, H. & URBAN, A. (2003): Abfallanalysen – Anwendung, Probleme und neue Wege für die Praxis. In: Müll und Abfall. Fachzeitschrift für Abfall- und Ressourcenwirtschaft. Heft Nr. 9, September 2003.
- SKUTAN, S. (2009): Ausreißer als Indikator einer fehlerhaften EBS-Analytik. In: Tagungsband zum Workshop am 03./04. März 2009 in Dresden. EBS-Analytik 2. Qualitätssicherung und Inputkontrolle. BILITEWSKI, B., WERNER, B., ROTTER, S., HOFFMANN, G. (Hg.). Beiträge zur Abfallwirtschaft/Altlasten. Band 60. Pirna.
- UMWELTBUNDESAMT (2006): Denner, M. & Kügler, I.: Endbericht zu „Erarbeitung eines Beprobungskonzeptes für Ersatzbrennstoffe (Studie ERSA). Reports, Bd. REP-0059. Umweltbundesamt, Wien. Dezember 2006.
- ZISCHKA, M.; KETTISCH, P. & KAINRATH, P. (1998): Microwave-assisted Digestion of Plastic Scrap: Basic Considerations and Chemical Approach. In: Atomic Spectroscopy, Vol. 19(6), Pp. 223–227. November/December 1998.
- IRMM-Zertifikate zu ERM EC 680 und ERM EC 681.

## Rechtsnormen und Leitlinien

- Abfallverbrennung-Sammelverordnung (AVV; BGBl. II Nr. 389/2002 i.d.g.F): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und des Bundesministers für Wirtschaft und Arbeit umfassend eine Verordnung über die Verbrennung von Abfällen (Abfallverbrennungsverordnung – AVV), eine Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, mit der die Verordnung über die Verbrennung von gefährlichen Abfällen geändert wird, eine Verordnung des Bundesministers für Wirtschaft und Arbeit, mit der die Verordnung über die Verbrennung gefährlicher Abfälle in gewerblichen Betriebsanlagen geändert wird, eine Verordnung des Bundesministers für Wirtschaft und Arbeit, mit der die Luftreinhalteverordnung für Kesselanlagen 1989 geändert wird und eine Verordnung des Bundesministers für Wirtschaft und Arbeit über Altöle (Altölverordnung 2002).
- BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2007): Richtlinie für Ersatzbrennstoffe. Wien, September 2007 (Entwurf).
- BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2008): Richtlinie für Ersatzbrennstoffe. Wien, März 2008.
- DIN EN ISO 15586, Februar 2004. Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von Spurenelementen mittels Atomabsorptionsspektrometrie mit dem Graphitrohr-Verfahren (ISO 15586:2003); Deutsche Fassung EN ISO 15586:2003.
- ÖNORM EN ISO 17294-2, 2005 02 01. Wasserbeschaffenheit - Anwendung der induktiv gekoppelten Plasma-Massenspektrometrie (ICP-MS) – Teil 2: Bestimmung von 62 Elementen. (ISO 17294-2:2003).
- ÖNORM CEN/TS 15297, 2006 05 01. Feste Biobrennstoffe – Bestimmung von Spurenelementen. Vornorm.
- ÖNORM CEN/TS 15411, 2006 12 01. Feste Sekundärbrennstoffe – Verfahren zur Bestimmung des Gehaltes an Spurenelementen (As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Ti, V und Zn). Vornorm.
- ÖNORM CEN/TS 15414-3, 2006 12 01. Feste Sekundärbrennstoffe – Bestimmung des Wassergehaltes unter Verwendung des Verfahrens der Ofentrocknung – Teil 3: Wassergehalt in gewöhnlichen Analysenproben. Vornorm.
- ÖNORM EN 13656, 2002 12 01. Charakterisierung von Abfällen – Aufschluss mittels Mikrowellengerät mit einem Gemisch aus Fluorwasserstoffsäure (HF), Salpetersäure (HNO<sub>3</sub>) und Salzsäure (HCl) für die anschließende Bestimmung der Elemente im Abfall.
- ÖNORM EN 1483, 2007 06 01. Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von Quecksilber – Verfahren mittels Atomabsorptionsspektrometrie.
- ÖNORM EN ISO 17294-2, 2005 02 01. Wasserbeschaffenheit – Anwendung der induktiv gekoppelten Plasma-Massenspektrometrie (ICP-MS) – Teil 2: Bestimmung von 62 Elementen (ISO 17294-2:2003).
- NT ENVIR 004. Nordtest method: Solid waste, particulate materials: Sampling. Published by NORDTEST. ISSN 1238-4445. NT ENVIR 004, Approved 1996-05.



## 7 ANHANG

### 7.1 Referenzmaterial

In den nachfolgenden Tabellen werden die Ergebnisse und statistischen Kenndaten für die Referenzmaterialien (Polyethylen) EC 680, EC 680k sowie EC 681 und EC 681k nach Aufschluss ox./HF und KW/HF dargestellt. Die Sollwerte für die Materialien wurden den IRMM-Zertifikaten sowie EUR Report 22784 EN (Ec 2007) entnommen.

Tabelle 71: Übersicht – Sollwerte für die Referenzmaterialien sowie Ergebnisse für Referenzmaterial EC 680 (Kunststoff) – Aufschluss KW/HF.

Referenzmaterial	Einheit	Arsen	Blei	Cadmium	Chrom	Antimon	Zink	Quecksilber
Sollwert ERM-EC680	mg/kg	30,90	107,60	140,80	114,60	-	-	25,30
Sollwert ERM-EC681	mg/kg	3,93	13,8	21,7	17,7	-	-	4,5
Sollwert ERM-EC680k	mg/kg	4,1	13,6	19,6	2,9 <sup>9</sup>	10,1	137 <sup>1</sup>	4,64
Sollwert ERM-EC681k	mg/kg	29,1	98	137	20 <sup>10</sup>	99,0	1.250 <sup>2</sup>	23,7
Referenzmaterial Bezeichnung	Einheit	Arsen	Blei	Cadmium	Chrom	Antimon	Zink	Quecksilber
KW/HF								
FDU EC 680	mg/kg	30	-	-	-	-	-	27
FDY EC 680	mg/kg	33	-	-	-	-	-	23
FFI EC 680	mg/kg	32	114	152	111	-	-	25
FEQ EC 680	mg/kg	28	-	-	-	-	-	23
Anzahl		4	4	4	4	-	-	4
MW	mg/kg	31	114	152	111	-	-	25
SD	mg/kg	2,2	-	-	-	-	-	1,9
% RSD	%	7	-	-	-	-	-	8
Wiederfindungsrate	%	99	106	108	96	-	-	97

<sup>9</sup> ERM EC 680 k: Chrom und Zink: indikative Sollwerte (nicht zertifiziert) – für Chrom wurde der säurelösliche Anteil angegeben.

<sup>10</sup> ERM EC 681 k: Chrom und Zink: indikative Sollwerte (nicht zertifiziert) – für Chrom wurde der säurelösliche Anteil angegeben.



Tabelle 72: Übersicht – Ergebnisse für Referenzmaterial EC 681 und EC 680k (Kunststoff) – Aufschluss KW/HF.

Referenzmaterial Bezeichnung	Einheit	Arsen	Blei	Cadmium	Chrom	Antimon	Zink	Quecksilber
FED EC 681	mg/kg	3,9	15,3	22,8	19,6	-	-	4,5
FER EC 681	mg/kg	3,3	15,1	22,6	23,6	-	-	4,1
FFI EC 681	mg/kg	4,1	14,7	24,1	22,1	-	-	4,3
Anzahl		3	3	3	3	-	-	3
MW	mg/kg	3,8	15,1	23,2	21,8	-	-	4,3
SD	mg/kg	0,4	0,3	0,8	2,0	-	-	0,2
% RSD	%	12	2	3	9	-	-	5
Wiederfindungsrate	%	96	109	107	123	-	-	95
FEA EC 680k	mg/kg	3,2	15,1	22,0	3,5	11,6	130	5,1
FES EC 680k	mg/kg	3,2	14,8	20,7	3,8	10,9	125	4,5
FFI EC 680k	mg/kg	3,5	13,4	20,0	3,6	10,2	118	4,3
Anzahl		3	3	3	3	3	3	3
MW	mg/kg	3,3	14,4	20,9	3,6	10,9	124	4,6
SD	mg/kg	0,2	0,9	1,0	0,2	0,7	6,0	0,4
% RSD	%	5	6	5	4	6	5	10
Wiederfindungsrate	%	81	106	107	125	108	90	100

Tabelle 73: Übersicht – Ergebnisse für Referenzmaterial EC 681k (Kunststoff) – Aufschluss KW/HF.

Referenzmaterial Bezeichnung	Einheit	Arsen	Blei	Cadmium	Chrom	Antimon	Zink	Quecksilber
FEB EC 681k	mg/kg	23,9	109	149	23,1	113	1.186	22,0
FET EC 681k	mg/kg	28,5	111	156		79	-	20,0
FFI EC 681k	mg/kg	28,7	111	156	28,5	-	1.243	24,0
Anzahl		3	3	3	2	2	2	3
MW	mg/kg	27,0	110	154	25,8	96	1.215	22,0
SD	mg/kg	2,7	0,9	4,1	3,8	24	40,1	2,0
% RSD	%	10	1	3	15	25	3	9
Wiederfindungsrate	%	93	112	112	129	97	97	93



Tabelle 74: Übersicht – Ergebnisse für Referenzmaterial EC 680 und EC 681 (Kunststoff) – Aufschluss ox./HF.

Referenzmaterial Bezeichnung	Einheit	Arsen	Blei	Cadmium	Chrom	Antimon	Zink	Quecksilber
FFM EC 680	mg/kg	32,1	105	140	115	-	-	23,3
FFN EC 680	mg/kg	30,5	104	139	116	-	-	26,1
FFQ EC 680	mg/kg	32,0	105	139	116	-	-	26,4
FFR EC 680	mg/kg	32,4	107	141	123	-	-	25,0
Anzahl		4	4	4	4	-	-	4
MW	mg/kg	31,7	105	140	117	-	-	25,2
SD	mg/kg	0,8	1,1	1,0	3,7	-	-	1,4
% RSD	%	3	1	1	3	-	-	6
Wiederfindungsrate	%	103	98	99	102	-	-	100
FFO EC 681	mg/kg	3,8	12,6	21,6	18,2	-	-	4,6
FFP EC 681	mg/kg	3,8	13,4	21,3	16,9	-	-	4,8
Anzahl		2	2	2	2	-	-	2
MW	mg/kg	3,8	13,0	21,5	17,5	-	-	4,7
SD	mg/kg	0,03	0,6	0,2	0,9	-	-	0,1
% RSD	%	1	4	1	5	-	-	2
Wiederfindungsrate	%	96	94	99	99	-	-	104

Tabelle 75: Übersicht – Ergebnisse für Referenzmaterial EC 681k (Kunststoff) – Aufschluss ox./HF.

Referenzmaterial Bezeichnung	Einheit	Arsen	Blei	Cadmium	Chrom	Antimon	Zink	Quecksilber
FFR EC 681k	mg/kg	27,4	96	135	22,0	112	1.324	23,3
FFN EC 681k	mg/kg	27,4	98	136	22,5	106	1.236	23,4
Anzahl		2	2	2	2	2	2	2
MW	mg/kg	27,4	97	135	22,2	109	1.280	23,3
SD	mg/kg	0,02	1,3	0,9	0,4	4,5	62,4	0,1
% RSD	%	0,1	1	1	2	4	5	1
Wiederfindungsrate	%	94	99	99	111	110	102	98



## 7.2 Histogramme der Mischproben

Nachfolgend werden die Histogramme für die Mischprobenergebnisse dargestellt. Es wurden sämtliche Daten zu einer Mischprobe mit gleicher Gewichtung für die Darstellung der Verteilung herangezogen (jeweils  $n = 24$  Datensätze pro Aufbereitung/Säuremischung).

Die Darstellungen sind unterteilt in die Aufbereitungen  $< 0,5$  mm und  $< 1$  mm und in die Alternativaufschlüsse mit oxidativer Säuremischung (ox./HF) und Königswasser/Flusssäuremischung (KW/HF).

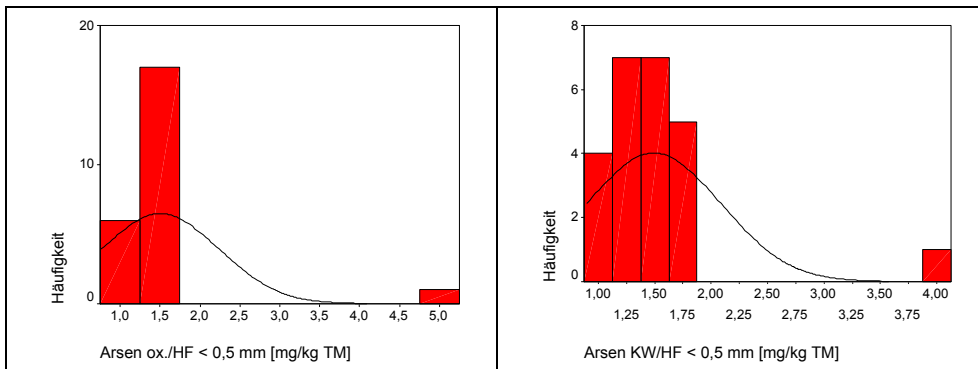


Abbildung 44: Histogramm Mischproben – Arsen (signifikante Abweichung von NV).

Abbildung 45: Histogramm Mischproben – Arsen (NV; Signifikanz: 0,07).

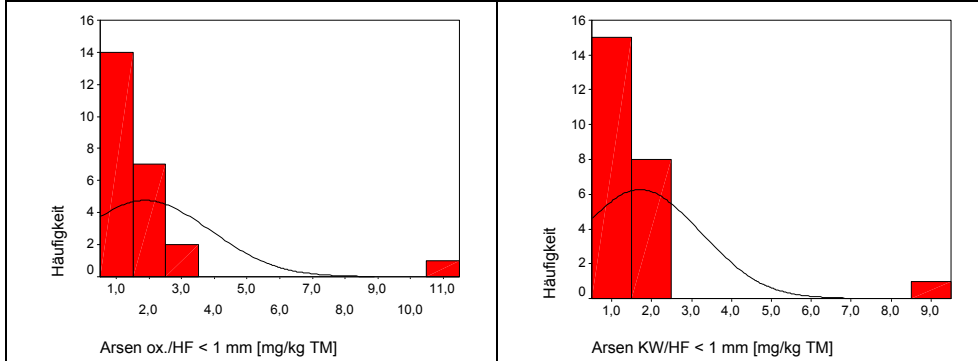


Abbildung 46: Histogramm Mischproben – Arsen (signifikante Abweichung von NV).

Abbildung 47: Histogramm Mischproben – Arsen (signifikante Abweichung von NV).

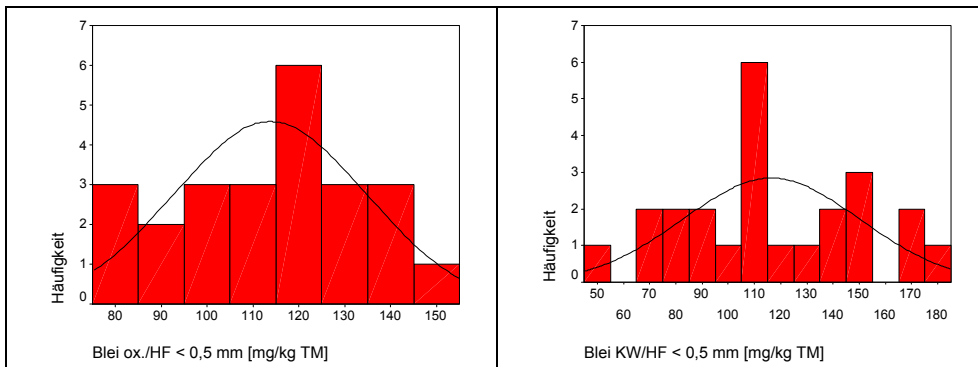


Abbildung 48: Histogramm Mischproben – Blei.

Abbildung 49: Histogramm Mischproben – Blei.

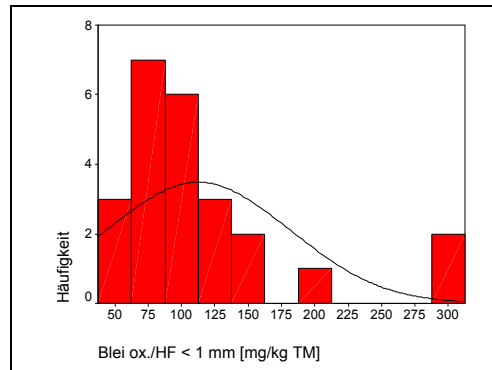


Abbildung 50: Histogramm Mischproben – Blei.

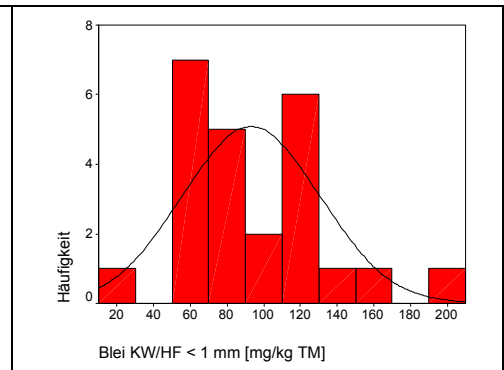


Abbildung 51: Histogramm Mischproben – Blei.

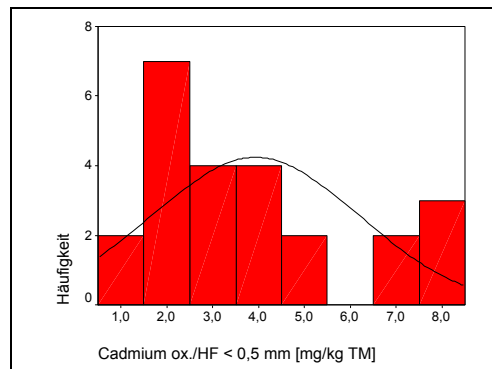


Abbildung 52: Histogramm Mischproben – Cadmium.

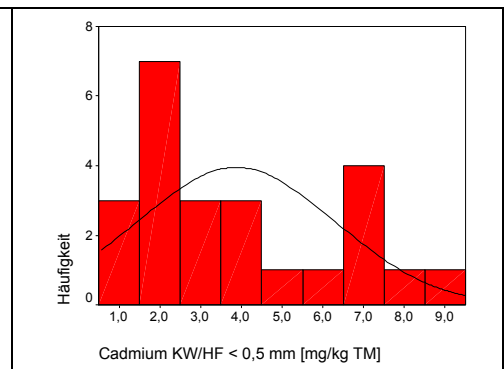


Abbildung 53: Histogramm Mischproben – Cadmium.

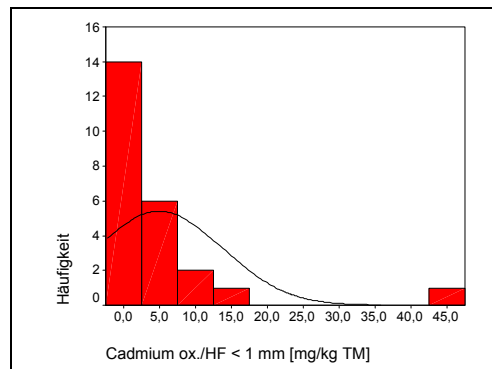


Abbildung 54: Histogramm Mischproben – Cadmium (signifikante Abweichung von NV).

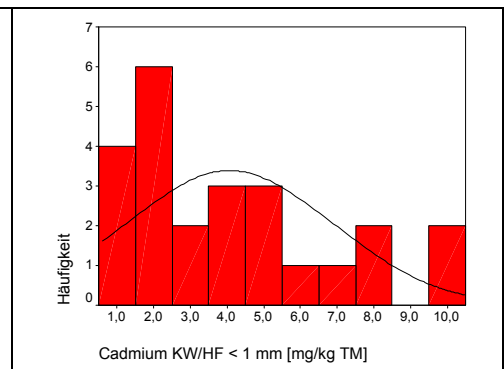


Abbildung 55: Histogramm Mischproben – Cadmium.



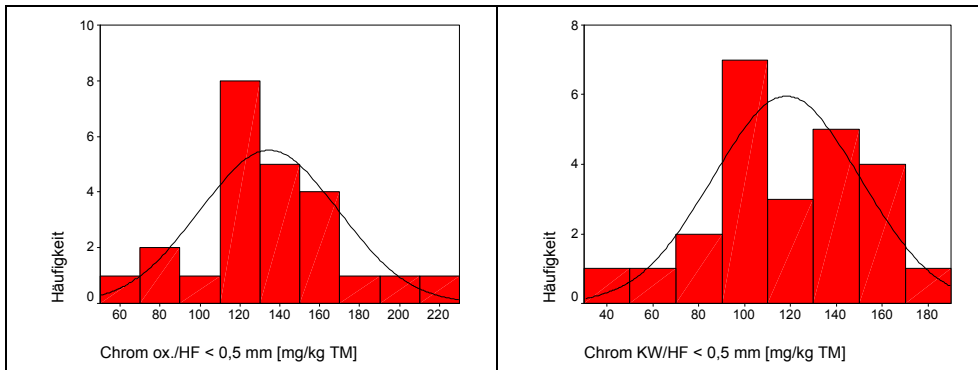


Abbildung 56: Histogramm Mischproben – Chrom.

Abbildung 57: Histogramm Mischproben – Chrom.

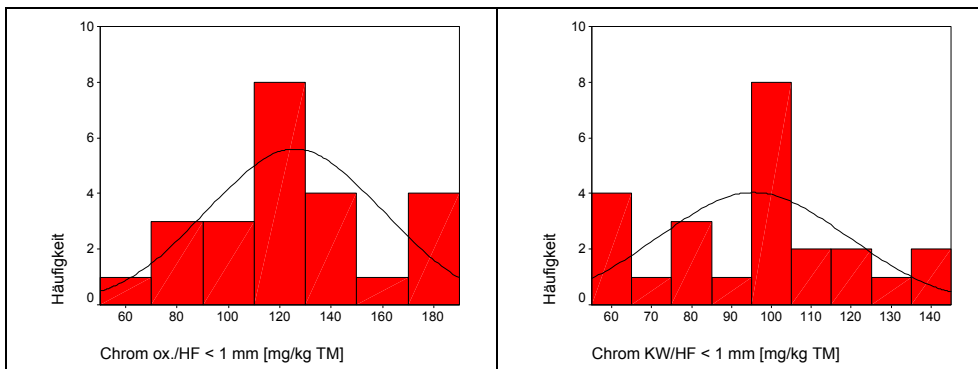


Abbildung 58: Histogramm Mischproben – Chrom.

Abbildung 59: Histogramm Mischproben – Chrom.

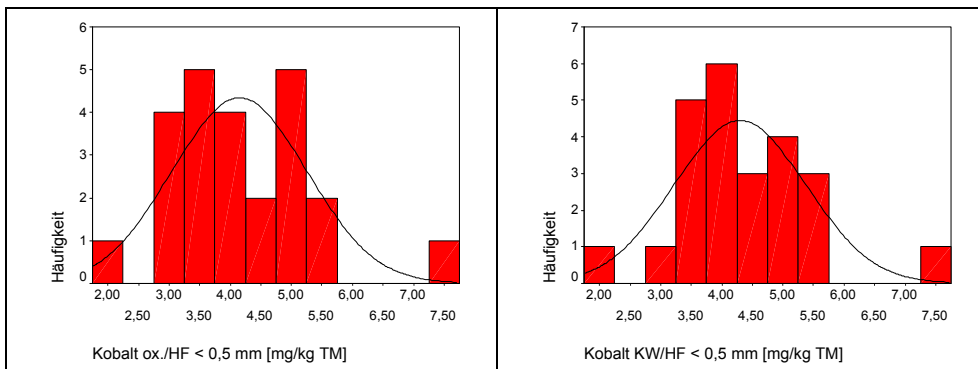


Abbildung 60: Histogramm Mischproben – Kobalt.

Abbildung 61: Histogramm Mischproben – Kobalt.

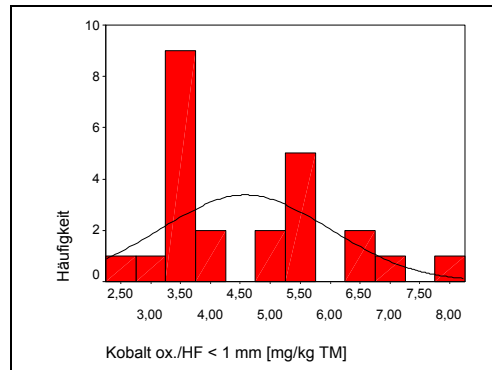


Abbildung 62: Histogramm Mischproben – Kobalt.

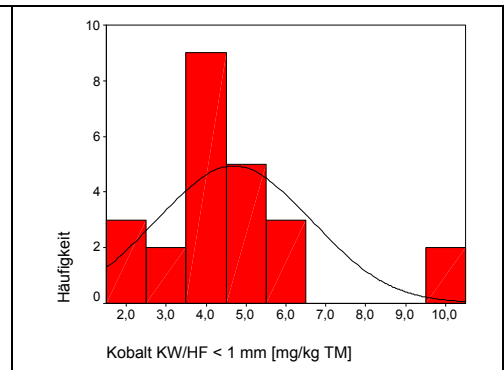


Abbildung 63: Histogramm Mischproben – Kobalt.

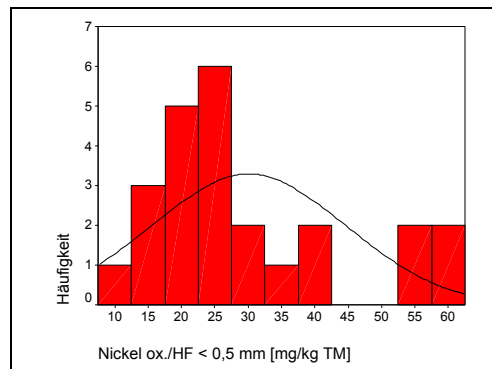


Abbildung 64: Histogramm Mischproben – Nickel.

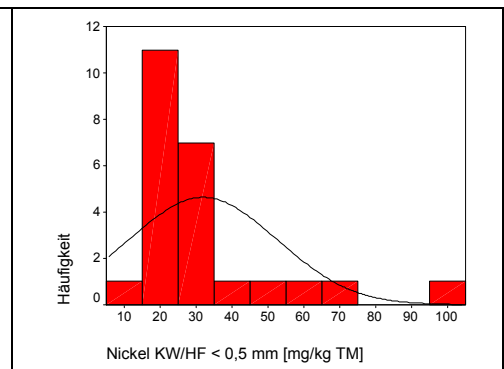


Abbildung 65: Histogramm Mischproben – Nickel.

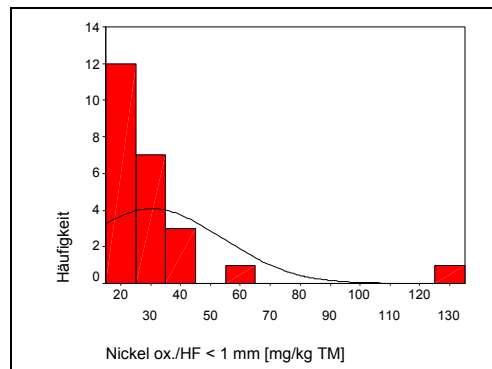


Abbildung 66: Histogramm Mischproben – Nickel (signifikante Abweichung von NV).

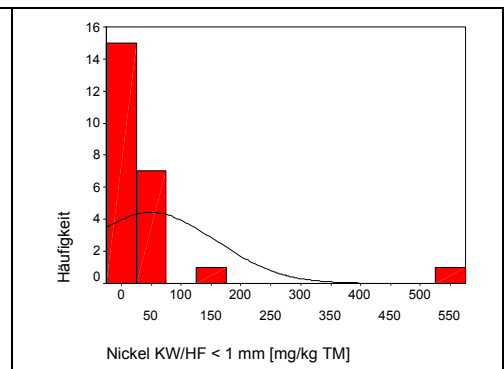


Abbildung 67: Histogramm Mischproben – Nickel (signifikante Abweichung von NV).

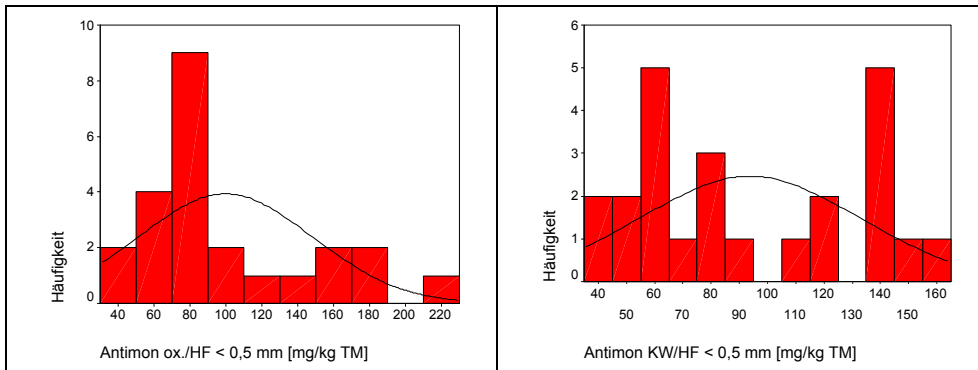


Abbildung 68: Histogramm Mischproben – Antimon.

Abbildung 69: Histogramm Mischproben – Antimon.

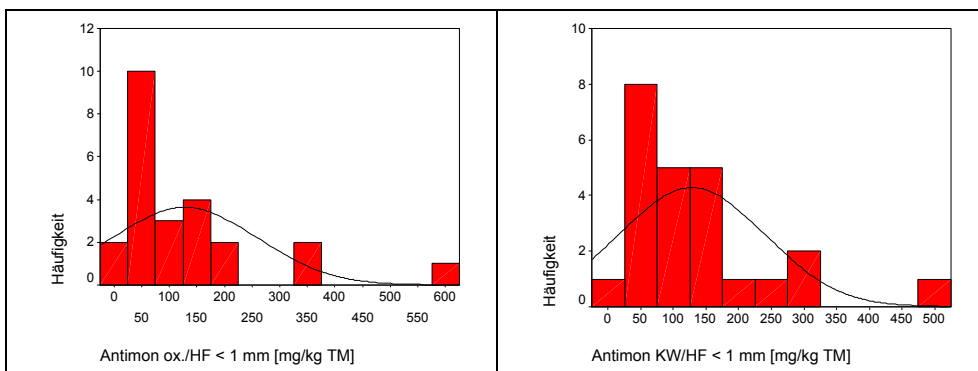


Abbildung 70: Histogramm Mischproben – Antimon.

Abbildung 71: Histogramm Mischproben – Antimon.

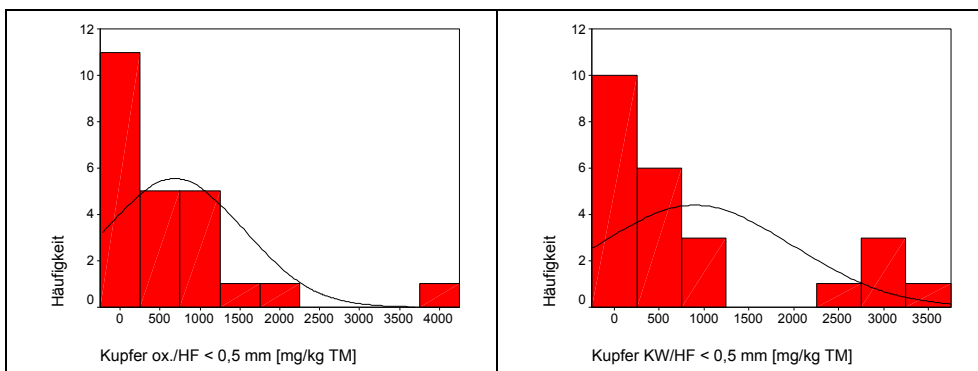


Abbildung 72: Histogramm Mischproben – Kupfer.

Abbildung 73: Histogramm Mischproben – Kupfer (signifikante Abweichung von NV).

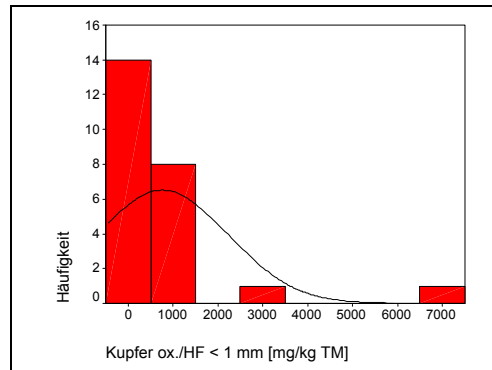


Abbildung 74: Histogramm Mischproben – Kupfer (signifikante Abweichung von NV).

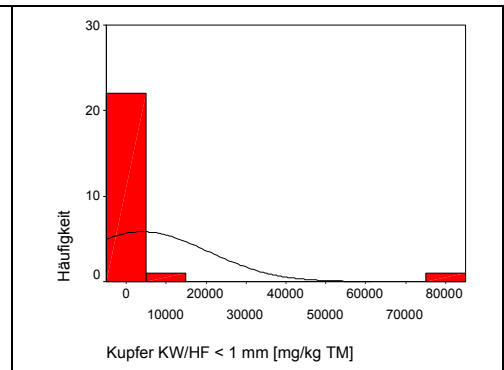


Abbildung 75: Histogramm Mischproben – Kupfer (signifikante Abweichung von NV).

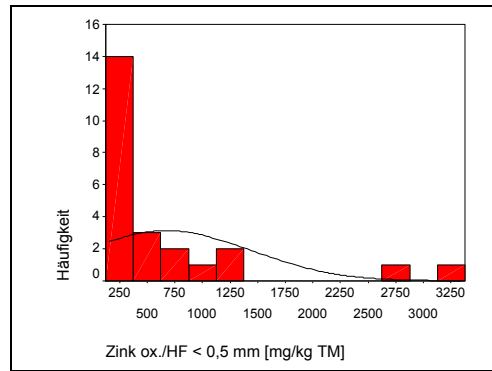


Abbildung 76: Histogramm Mischproben – Zink (signifikante Abweichung von NV).

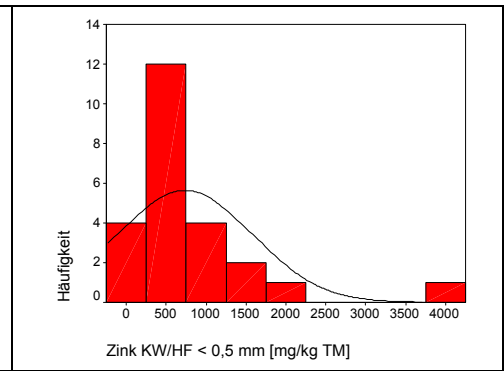


Abbildung 77: Histogramm Mischproben – Zink (NV; Signifikanz: 0,06).

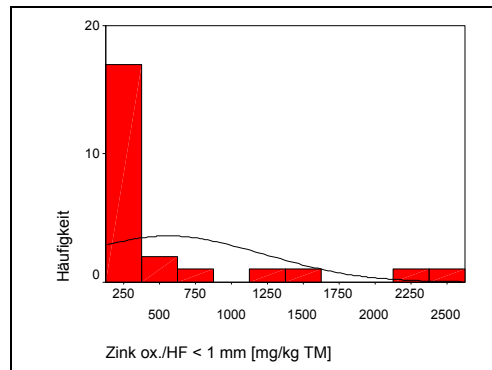


Abbildung 78: Histogramm Mischproben – Zink (signifikante Abweichung von NV).

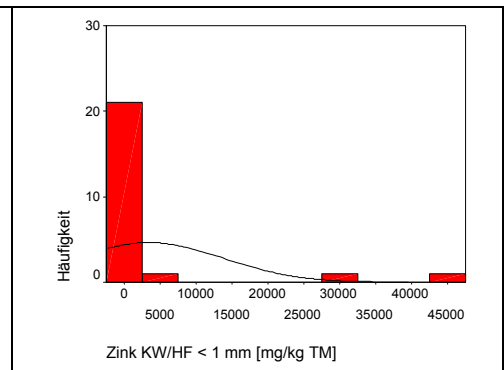


Abbildung 79: Histogramm Mischproben – Zink (signifikante Abweichung von NV).

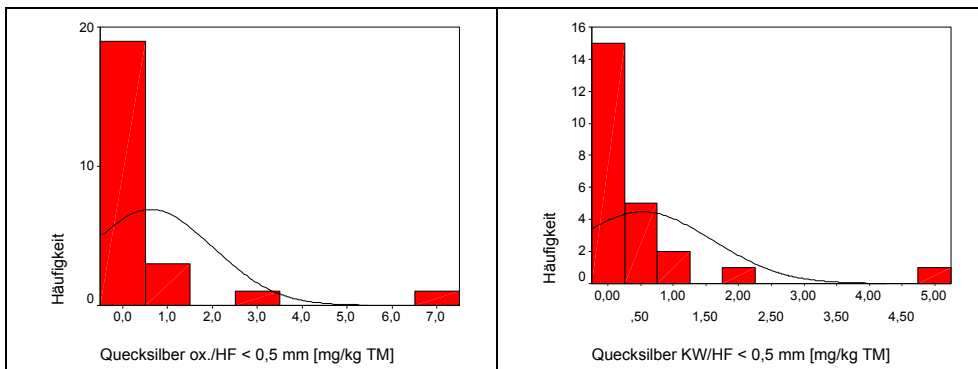


Abbildung 80: Histogramm Mischproben – Quecksilber (signifikante Abweichung von NV).

Abbildung 81: Histogramm Mischproben – Quecksilber (signifikante Abweichung von NV).

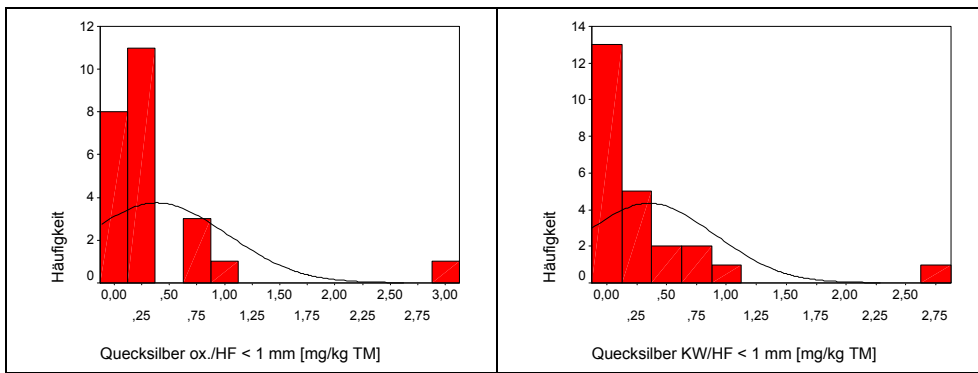


Abbildung 82: Histogramm Mischproben – Quecksilber (signifikante Abweichung von NV).

Abbildung 83: Histogramm Mischproben – Quecksilber (signifikante Abweichung von NV).



**Umweltbundesamt GmbH**

Spittelauer Lände 5  
1090 Wien/Österreich

Tel.: +43-(0)1-313 04  
Fax: +43-(0)1-313 04/4500

office@umweltbundesamt.at  
www.umweltbundesamt.at

Die Richtlinie für Ersatzbrennstoffe des Lebensministeriums sieht Regelungen für die Bestimmungsverfahren von Ersatzbrennstoffen vor, welche in die Novelle zur Abfallverbrennungsverordnung (AVV) einfließen sollen.

Das Umweltbundesamt hat dafür die Einflüsse der Feinaufbereitung und alternativer Säuremischungen für den Aufschluss von heterogenen Ersatzbrennstoffen für die umweltrelevanten Parameter Arsen, Blei, Cadmium, Chrom, Kobalt, Nickel, Antimon, Kupfer, Zink und Quecksilber getestet.

Es wurde geprüft, ob die aufwändigere Aufarbeitung mit Zentrifugalmühlen gerechtfertigt ist. Alternative Aufschlussverfahren, die im Abfallbereich und für feste Biobrennstoffe Anwendung finden, wurden miteinander verglichen und diskutiert. Für Kunststoffmischungen aus dem Abfallbereich wird eine weitere geeignete Säuremischung für die Novelle zur AVV vorgeschlagen.